



Российская Академия Наук

Санкт-Петербургский Федеральный
исследовательский центр
Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН)

ГЕЙДА

Александр Сергеевич

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Монография

Москва
2021

УДК 621.45.01
ББК 30.2
Г29

Работа выполнена в Санкт-Петербургском
Федеральном исследовательском центре Российской академии наук
(СПб ФИЦ РАН)

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор Лысенко И.В.,
ведущий научный сотрудник СПб ФИЦ РАН

Научный редактор:

член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ Юсупов Р.М., научный
руководитель направления СПИИРАН Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского Федерального
исследовательского центра Российской академии наук (СПб ФИЦ РАН)

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Лысенко И.В.,
ведущий научный сотрудник СПб ФИЦ РАН

доктор технических наук Фёдоров А.В.,
доцент факультета систем управления и робототехники
Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский университет ИТМО»

Г29 **Гейда А.С.**

Основы теории потенциала сложных технических систем: монография /
А.С. Гейда. – М.: РАН, 2021. – 408 с.

ISBN 978-5-907366-25-1

© Гейда А.С., 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие научного редактора	5
Введение.....	7
1. Проблема оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС.....	14
1.1. Анализ проблемы оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС	14
1.2. Постановка задач научного исследования	52
2. Основы концепции оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС	57
2.1. Метод разработки концепции оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС	57
2.2. Вербализация оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС	63
2.3. Теоретико-множественная формализация оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС	65
2.4. Концептуальная модель оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС в теоретико-множественной форме.....	67
2.5. Математические постановки задач исследования потенциала в теоретико-множественной форме	75
3. Основы методологии оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС	78
3.1. Разработка формальных моделей СТС и её среды.....	78
3.2. Разработка формальной постановки задач и функциональных моделей задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС.....	135
3.3. Примеры функциональных моделей	174
3.4. Общий случай изменяемого функционирования	178
3.5. Методы решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС	192
4. Методики и технологии решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС	223
4.1. Структура типовой методики оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС	223
4.2. Основы технологий решения задач исследования потенциала СТС.....	226
Заключение	238
Список литературы	240
Приложения	260
Приложение А. Анализ недостатков функционирования ОПК	261

Приложение В. Примеры способов совершенствования СТС ОПК путём изменения состава СТС	270
Приложение С. Примеры устранения недостатков ОПК путём модернизаций и инноваций СТС	271
Приложение Д. Примеры устранения недостатков путём изменения состава связей между элементами СТС и связей между СТС и её средой	273
Приложение Е. Примеры изменений характеристик связей между элементами СТС и характеристик связей между СТС и её средой.....	275
Приложение Ф. Примеры изменения последовательности актуализации связей между элементами СТС при её функционировании.....	276
Приложение Г. Примеры совершенствования путём изменения планов функционирования СТС	277
Приложение Н. Особенности вводимого свойства потенциала СТС — денотата понятия, особенности его концепта и знака	278
Приложение И. Концептуализация проблемы исследования потенциала	287
Приложение Ж. Вербальная модель проблемы исследования потенциала.....	311
Приложение К. Примеры графо-геометрического представления вербальной модели проблемы исследования потенциала сложных технических систем	358
Приложение Л. Расширение понятия графа — эшграф	363
Приложение М. Фрагмент моделей, построенных при решении примера	374
Приложение Н. Алгоритмы.....	387
Приложение О. Алгоритм расчёта пометок моделей при их обходах.....	392
Приложение Р. Примеры ввода исходных данных, хода и результатов расчётов.....	397

Предисловие научного редактора

Современный этап развития нашей страны и мирового сообщества характеризуется значительными изменениями как в экономической, так и в социальной сферах жизни людей. Эти изменения (которые обычно связывают с пятой технологической революцией, с информатизацией и цифровизацией) привели к появлению информационного общества, к возникновению новых задач, решение которых должно быть направлено на улучшение качества жизни и для решения которых — а также для решения других задач, возможных в будущем, — следует использовать имеющиеся и разработать новые средства, порождаемые повсеместным применением информационных технологий.

В связи с этим во многих областях теоретической и практической деятельности (относящейся, например, к экономике, промышленности, военному делу, политике, культуре) всё чаще говорят о «потенциале» чего-либо (об экономическом потенциале, о военном потенциале, о гуманитарном потенциале и др.) и о необходимости ставить и решать задачи повышения (или улучшения) потенциала: экономического потенциала страны, производственного потенциала промышленного предприятия, гуманитарного потенциала общества.

Несмотря на различие областей деятельности, к которым относятся эти задачи, всем им присуща некоторая общность: в них речь идёт о потенциале чего-либо (страны, предприятия, общества и т. п.). Следует обратить внимание ещё на одно общее, что им присуще: в этих задачах понятие «потенциал» не определяется вовсе или определяется, но отождествляется с запасами чего-либо (техники, рабочей силы, материалов, знаний и пр.) и (или) с возможностями их использования. К сожалению, при этом не вскрывается «механизм» преобразования запасов — и (или) возможностей — в те результаты (эффекты, цели), ради получения (достижения) которых необходим потенциал в том или ином количестве или ради получения (достижения) которых необходимо увеличение существующего потенциала (на столько-то или во столько-то раз). Кроме того, даже если такой механизм существует, не указывается, может ли он быть реализован — и как его реализовать — в условиях происходящих изменений в экономике и социуме, в том числе изменений, связанных с использованием информационных технологий. Не даётся ответ и на другой важный вопрос: в условиях ограниченности финансовых средств (в стране, на предприятии, у отдельного человека или его семьи) на что (на покупку каких ресурсов, или технологий, или на создание каких возможностей) эти средства следует потратить? Как изменение — увеличение или уменьшение — количества средств (например, финансовых) повлияет на потенциал и на успех его использования для решения существующих или будущих задач?

Пожалуй, наиболее остро в настоящее время ощущается потребность в ответе на эти и другие вопросы при постановке и решении задач повышения потенциала сложных технических систем (СТС), используемых в так называемых силовых министерствах и ведомствах, отвечающих, например,

за обороноспособность страны, за оборонно-промышленный комплекс (ОПК), за действия в чрезвычайных ситуациях.

Предлагаемая вашему вниманию монография посвящена поиску ответов на перечисленные актуальные вопросы.

В ней автор разрабатывает, в основах, теорию потенциала сложных технических систем в её концептуальной и методологической частях, взяв в качестве научного базиса теорию эффективности функционирования СТС и развивая её. Автор прилагает полученные результаты к решению задач оценивания и анализа потенциала СТС и к задаче синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом. Правда, надо отметить, что эти задачи, хоть и связаны с функционированием ОПК, всё же являются очень упрощёнными и предназначены лишь для того, чтобы продемонстрировать полезность полученных в разработанной теории результатов.

К сожалению, в монографии не уделено должного внимания вычислительным и информационно-аналитическим аспектам (методам) моделирования и решения указанных задач, которые, в дальнейшем их развитии, могли бы быть объединены в раздел теории под общим названием «вычислительные задачи теории потенциала СТС».

Указанные и, возможно, другие недостатки монографии, несомненно, будут учтены автором в будущих научных исследованиях и их приложениях.

Введение

Многие актуальные практические задачи в области совершенствования предприятий, организаций, стратегического планирования, развития оборонно-промышленного комплекса (ОПК), применения критических технологий, информатизации общества, цифровизации экономики, а также другие задачи социально-экономического развития страны и обеспечения безопасности государства формализуются как задачи совершенствования сложных объектов, систем разного вида. В рамках исследования рассматриваются сложные технические системы (СТС), в состав которых, кроме технических, могут входить подсистемы других видов, в частности — коллективы людей, предписания, организационные указания по выполнению действий, связанные различными видами отношений друг с другом и с техническими устройствами, в том числе — оперирующими информацией. Такие СТС могут классифицироваться, в зависимости от задач исследований, как технологические, организационно-технические системы. В предлагаемой монографии основное внимание уделено рассмотрению таких СТС, функционирование которых описывается как *проектное, в условиях возмущающих воздействий среды, приводящих к необходимости альтернативных сценариев использования СТС*.

Анализ практики применения современных систем (выполненный в работе на примере предприятий ОПК) показал, что она характеризуется значительным числом проявляющихся несоответствий наблюдаемых результатов использования систем требованиям к ним. Анализ причин и последствий проявления указанных недостатков, их классификация позволили сделать вывод о том, что их следует исследовать и устранять как недостатки, которые *вызываются несоответствием характеристик СТС регулярно меняющимся требованиям со стороны среды и её другими воздействиями на СТС*.

А именно — регулярно меняющиеся требования и другие воздействия среды СТС (*«изменяющиеся условия»*) ведут сначала к проявлению недостатков. Они фиксируются при выполнении информационных операций по проверке соответствия состояний СТС требованиям в связи с возможными изменениями условий. Новые условия могут приводить к необходимости разработки персоналом предприятий ОПК переходных процессов к новому функционированию. Эти переходные процессы затем ведут к усовершенствованному использованию СТС ОПК, по достижению, возможно, новой цели.

При этом операции по проверке соответствия состояний СТС требованиям и по разработке последующих переходных действий отнесены в монографии к *информационным операциям (таким, цель которых — получить информацию, в том числе — о дальнейших действиях)*. Их результат — описания состояний, предписания по реализации последующих операций — характеризуется как информационное состояние СТС после информационной операции. Переходные и другие действия могут носить разнообразный вид, от исследований и инноваций до переналадок СТС, они основаны на проектных решениях. *Проектное решение* — удовлетворяющее требованиям заин-

тересованных лиц описание и предложение по использованию объекта проектирования, необходимые для достижения целей, поставленных перед ним.

Среда СТС — это то, что не является СТС и взаимодействует с СТС. Её состояние — значение вектора результатов функционирования среды в заданный момент времени. Функционирование среды — выполнение средой СТС функций. Сценарий функционирования среды СТС — это комплекс действий среды СТС и способы выполнения каждого из них, зафиксированные до начала функционирования среды СТС. Проектные решения в изменяющихся условиях направлены на совершенствование функционирования СТС для получения лучших результатов её использования. Поэтому СТС и проектные решения изучаются в изменяющихся условиях функционирования. Такое функционирование — как взаимосвязанную совокупность действий — СТС ОПК следует оценивать по операционным свойствам такой совокупности действий (свойствам, описывающим результаты использования для практики). Совершенствование функционирования требует использования информационных действий разных видов, реализуемых в соответствии с той или иной технологией. Несоответствия, проявляющиеся в результате изменения требований к СТС со стороны среды, могут устраняться разными способами, а применяемые способы устранения недостатков зависят от способов формирования и реализации информационных действий. В работе выполнено исследование различных способов устранения недостатков — понимаемых в работе как улучшение, совершенствование — СТС ОПК, их последствий, выполнена их классификация.

Способы совершенствования СТС выбираются как *проектные решения* о характеристиках СТС и способах функционирования СТС. Реализация проектных решений осуществляется при выполнении переходных действий. Проектные решения следует выбирать научно обоснованно, на основе моделей, описывающих зависимости характеристик операционных свойств СТС (свойств, описывающих получение пользы в результате деятельности), совершенствуемых в изменяющихся условиях, от методов и алгоритмов формирования возможных проектных решений в виде способов действий разных типов и их характеристик, на основе которых формируется множество выбора в тех или иных условиях. Эти способы могут быть сформированы предложенным в работе приёмом описания возможных последовательностей изменений СТС. К ним относят изменения: состава, характеристик элементов, затем состава связей и так далее вплоть до изменений планов функционирования. Такое описание может быть продолжено и далее. Из практики известно, что в связи с регулярностью воздействий среды систематически возникает необходимость выполнения проверочных, а затем, возможно, — переходных операций различных видов. Она ведёт к реализации *информационных операций* и затем, в ряде случаев, к разработке проектных решений о способах действий, направленных на описанные выше виды изменений СТС.

В результате принятых проектных решений выполняются разработанные переходные — относящиеся к вспомогательным — действия и затем технологические операции для получения требуемых результатов (относящиеся к целевым). Переходные действия должны вести, с одной стороны, к усовер-

шенствованным, лучшим целевым эффектом функционирования (таким, что для их получения тратятся ресурсы — на реализацию целевых технологических операций) в изменяющихся условиях. Но, с другой стороны, указанные *переходные действия ведут и к дополнительным затратам обеспечивающих эффектов* — затратам ресурсов, времени — на своё выполнение.

Предложенное в работе *свойство СТС — её потенциал как комплексное операционное свойство, характеризующее приспособленность (т. е. пригодность, соответствие условиям) СТС к достижению изменяющейся — то есть действительной и одной из возможных, будущих — цели*, зависит от характеристик «целевого» и «переходного» функционирований СТС. Оно зависит и от выполняемых информационных действий по проверке состояний СТС и среды, выработке предписаний о выполнении технологических операций и их доведения исполнителям. Показатель этого свойства и должен оцениваться в зависимости от состава и характеристик системы и возможных действий. Введённое новое свойство СТС — её потенциал — комплексное операционное свойство, та сторона качества СТС, которая описывает приспособленность СТС к получению практических результатов использования СТС в изменяющихся условиях и должным образом не выделялась ранее. Совершенствование этого свойства должно позволить устранить ту часть имеющихся и возможных несоответствий, которые вызываются изменениями условий среды. Для решения задач совершенствования СТС — с использованием потенциала СТС — необходимо разработать основы концепции решения задач оценивания, анализа потенциала. Затем на основе этой концепции должны быть предложены основы методологии оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования характеристик СТС, обладающей требуемым потенциалом. Предложенные в монографии основы концепции и методологии *были разработаны впервые* и составляют *основы теории потенциала СТС*.

Теория потенциала СТС опирается на результаты, полученные многими авторскими коллективами и научными школами, исследующими СТС и их функционирование, в том числе совершенствование, использование информационных технологий при функционировании СТС.

К таким научным коллективам можно в первую очередь отнести научные школы член-корреспондента РАН Юсупова Р.М. (эффективность использования информационных технологий) [1, 2], профессоров Петухова Г.Б. (теория эффективности целенаправленных процессов и функционирования целеустремлённых систем) [3, 4], Лысенко И.В. (анализ и синтез систем обеспечения готовности) [5], Флейшмана Б.С. (теория потенциальной эффективности сложных систем) [6], Цвиркуна А.Д. (теория анализа и синтеза структур крупномасштабных систем) [7], Смирнова А.В. (интеллектуальное управление конфигурациями виртуальных и сетевых организаций) [8], Резникова Б.А., Калинина В.Н. (теория систем и управления) [9, 10], Соколова Б.В., Охтилева М.Ю., Павлова А.Н. (проактивное управление структурной динамикой сложных объектов) [10], Микони С.В. (квалиметрия моделей и полимодельных комплексов) [11], Голенко-Гинзбурга Д.И. (исследование альтернативных стохастических сетей) [12], Кульбы В.В. (сценарное исследование сложных систем), Шульца В.Л. (информационное управление) [13, 14], Овчинникова

В.А., Петрошенко А.В. (теория суперграфов и гиперсетевых моделей) [14], Никанорова С.П. (теория ступеней множеств) [15], Хованова Н.В. (анализ и синтез показателей при информационном дефиците) [16].

Среди зарубежных научных школ известны школы Дэвида Тиса (David Tease, dynamic capability) [17, 18], А. Сена (A. Sen, capabilities approach) [19], ван де Ветеринга (Van de Wetering, IT Capabilities) [20], Эрика Аслаксена (Eric W. Aslaksen, System design in functional domain) [21].

Однако концепции и методологии, позволяющих исследовать в комплексе: операционные свойства СТС в изменяющихся условиях; последующие в результате изменений среды целенаправленные изменения СТС и её функционирования и соответствующие эффекты функционирования; реализуемые в результате изменений информационные действия и их эффекты, а затем и эффекты зависящих от них переходных действий; реализацию переходных процессов к новому функционированию и их эффекты — предложено не было.

Такие концепция и методология должны позволить ввести, описать и затем использовать для решения практических задач, сформулированных как задачи оценивания, анализа по показателям потенциала СТС, а затем и синтеза СТС и её функционирования по показателям потенциала СТС введённое для учёта комплекса особенностей функционирования СТС новое комплексное операционное свойство потенциала СТС.

Необходимость решения задач исследования операционных (прагматических, праксеологических) свойств в условиях изменений, включая научно обоснованные, аналитические исследования комплексного операционного свойства потенциала, в том числе для стратегического аудита в РФ, была обоснована аудитором Счетной Палаты РФ А.А. Пискуновым и начальником инспекции Н.И. Нехорошкиным и описана автору в качестве перспективного направления возможных исследований.

Актуальность разработки основ теории потенциала СТС определяется тем, что новые требования практиков — проектировщиков, конструкторов, управленцев — к созданию СТС, обладающей требуемым потенциалом, с учётом изменений воздействий среды, не могут быть удовлетворены с помощью существующих теорий исследования СТС, в рамках которых не вскрываются связи между характеристиками СТС (и её функционирования), характеристиками среды (и их изменением), характеристиками информационных и последующих за ними переходных и целевых действий и характеристиками потенциала СТС.

Объект исследования — сложные технические системы, функционирующие в условиях изменений требований и других воздействий среды.

Предмет исследования — потенциал СТС, концепция, модели, методы, технологии и методики оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования характеристик СТС, обладающих требуемым потенциалом, в приложении к принятию проектных решений.

Цель исследования — разработка основ теории потенциала СТС, позволяющей решать актуальные практические задачи совершенствования СТС, расширения функциональных возможностей СТС для функционирования в изменяющихся условиях.

Научная проблема — разработка научных основ решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и принятия проектных решений в изменяющихся условиях. Результат такой разработки позволяет улучшить качество СТС как при создании, так и при использовании СТС по назначению, расширить функциональные возможности СТС при изменениях условий среды (приводящих к возможным изменениям цели функционирования СТС), увеличить длительность использования СТС по назначению, снизить затраты на модернизацию СТС. При этом улучшение качества СТС достигается благодаря улучшению такого свойства СТС, которое названо «потенциал СТС». Но в теории СТС отсутствуют концептуальные и методологические средства (в том числе тезаурус необходимых понятий и их дефиниции), с помощью которых могли бы быть корректно сформулированы и решены задачи оценивания, анализа потенциала СТС и создания или модернизации СТС по показателю потенциала СТС.

Сформулированная проблема предусматривает решение *следующих научных задач*:

1. Разработка концепции оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обладающих требуемым потенциалом.

2. Обоснование методов разработки концепции и методов решения задач совершенствования СТС, функционирование которых изменяется в результате воздействий среды.

3. Построение моделей для решения задач оценивания, анализа потенциала сложных технических систем и обоснования проектных решений, обеспечивающих требуемый потенциал СТС.

4. Описание методов решения задач оценивания, анализа потенциала сложных технических систем и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС.

5. Разработка технологий и методик решения прикладных задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС.

Научная новизна исследования обусловлена тем, что в нем:

1. Предложена концепция оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС, *отличающаяся*:

– развитием понятийного аппарата теории эффективности и теории систем для учёта возможных изменений цели функционирования СТС (из-за изменений среды);

– введением нового свойства СТС — её потенциала, необходимого для учёта возможных изменений цели функционирования СТС из-за изменений среды;

– установлением и исследованием связей введённого свойства СТС с уже известными и изученными свойствами СТС.

2. Описан новый метод разработки концепции и на её основе предложен метод решения задач совершенствования систем, функционирование которых изменяется в результате воздействий среды, *отличающиеся* развитием логико-лингвистической концепции Г. Фреге на основе введения схем понятий и связываемых с их помощью в комплекс графов эксплика-

ции: концептов понятий; схем понятий; теоретико-множественных форм понятий.

3. Разработан новый комплекс моделей функционирования СТС при принятии проектных решений в изменяющихся условиях, моделей среды СТС и их отношений, *позволяющий* описание возможных последовательностей альтернативных сетей операций функционирования СТС в зависимости от состояний среды, СТС и их связей.

4. Предложены новые методы расчёта показателей операционных свойств систем в изменяющихся условиях (в том числе показателей потенциала систем), методы решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений на основе показателей потенциала СТС, *отличающиеся* использованием новых моделей семейств помеченных альтернативных стохастических сетей и учётом их особенностей.

5. Обоснованы основы новых информационных технологий и методики решения ряда актуальных прикладных задач, *обеспечивающие* учёт особенностей функционирования СТС в изменяющихся условиях при принятии проектных решений.

Практическая ценность выполненного исследования определяется экспериментально проверенными результатами, полученными под руководством и с участием автора, при реализации более чем 30 НИР и ОКР в интересах предприятий и организаций различных отраслей, согласующимися с теоретическими выводами и практикой функционирования предприятий. Результаты, в частности, позволили существенно улучшить экономические эффекты модернизации производственной базы, снизить затраты ресурсов, повысить экономическую обоснованность принимаемых проектных решений.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе использованы методы системного анализа, исследования операций, теории графов, гиперграфов и метаграфов, теории вероятностей, теории случайных процессов, теории нечётких чисел, теории множеств и ступеней множеств, а также методы дискретной оптимизации, случайного поиска, методы хранения, обработки, использования комплексов графов.

Обоснованность и достоверность научных положений, основных выводов и результатов исследований обеспечиваются за счёт всестороннего анализа состояния исследований в предметной области, согласованности теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки полученных результатов исследований.

В частности, такая проверка выполнена на предприятиях и организациях ОПК, а также апробацией основных теоретических положений исследования в печатных трудах и докладах на российских и международных научных и научно-практических конференциях.

Апробация результатов исследований. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались в период с 1992 по 2020 год на более чем 20 международных и российских конференциях, в том числе на ведущих международных конференциях (класса А): «Americas Conference on Information Systems» (AMCIS) 2020, «The 21st ACM Conference on Economics and Computation» (EC'20); на регулярных международных конференциях

«Finnish-Russian University Cooperation in Telecommunications» (FRUCT) 21–28», «Interdisciplinary Information Management Talks» (IDIMT) 2019–2020; на международных конференциях «Computers Science and Information Technology (CSIT)», «International Conference on Industrial Engineering (ICIE)»; на регулярных российских конференциях «Региональная информатика», «Информационная безопасность регионов России», «Форум “От науки к бизнесу”», «Актуальные проблемы защиты и безопасности», «Информационные технологии в управлении», «Современные проблемы прикладной информатики», «Государство и бизнес», «Доветовские чтения», «Система распределённых ситуационных центров как основа цифровой трансформации государственного управления», «Имитационное моделирование. Теория и практика», «Системный анализ и информационные технологии», «Вопросы экономического управления в оборонно-промышленном комплексе России»; на регулярных семинарах по различным вопросам обороны, безопасности и функционирования оборонно-промышленного комплекса.

Публикации. Основные положения исследования опубликованы более чем в 180 работах, включая 47 публикаций, индексируемых РИНЦ, более чем 20 публикаций в рецензируемых научных изданиях из перечня Минобрнауки РФ (из них — 11 индексируемых SCOPUS, 3 — Web of Science). По результатам исследования изданы 3 коллективных монографии.

Реализация результатов исследования. Основные результаты исследований реализованы в более чем 30 НИР и ОКР, внедрены в деятельность ряда предприятий, организаций и подразделений Минпромторга РФ, Счётной палаты РФ, ФГУП ЦНИИМаш, ФГУП «НПО Техномаш», ГШ РФ, ГУГИ РФ, ГК «Роскосмос», АО «Российские космические системы». Проект, в котором автор является научным консультантом, поддержан как резидент фонда развития центра разработки и коммерциализации новых технологий «Сколково» в 2020 г.

Работы по направлению исследований поддержаны грантами РФФИ 20-08-00649, 16-08-00953 (научный руководитель); 19-08-00989, 13-08-00573 (участник).

Личный вклад автора в основных публикациях с соавторами кратко характеризуется следующим образом. В публикациях [22–26] вскрыты концептуальные аспекты проблемы исследования потенциала, в том числе предложены концепты и принципы исследования операционных свойств СТС с учётом совершенствования СТС в изменяющихся условиях; в [23, 27–32] предложены принципы расчёта показателей операционных свойств СТС и её функционирования, методы расчёта этих показателей и примеры расчёта этих показателей. В [33–35] описаны модели и методы моделирования в задачах исследования потенциала СТС. Примеры использования теории потенциала СТС для решения практических задач рассмотрены в [36–43]. В [44–46] рассмотрены методы и модели, позволяющие автоматизировать моделирование и решение задач исследования потенциала СТС. В [44, 47–51] обсуждены концепция, модели и методы, позволяющие оценивать операционные свойства использования информационных технологий, другие операционные свойства: *dynamic capabilities, organizational capabilities*. Приведены примеры оценивания.

ГЛАВА 1

ПРОБЛЕМА ОЦЕНИВАНИЯ, АНАЛИЗА ПОТЕНЦИАЛА СТС И ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОТЕНЦИАЛА СТС

1.1. Анализ проблемы оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС

1.1.1. Анализ недостатков функционирования современных сложных технических систем (на примере СТС ОПК)

Создание, совершенствование и применение по назначению (эксплуатация) изделий техники [1, 2] в настоящее время требуют решения ряда научно-прикладных проблем [52–54]. Одной из них является удовлетворение требований заказчиков (потребителей), предъявляемых к свойствам изделий техники (ТИ) и технических систем (ТС) [4, 55–57], в которых эти ТИ создаются и (или) эксплуатируются (в том числе — приводятся в готовность и применяются по назначению).

Практика свидетельствует [58–61], что при функционировании предприятий и организаций, выпускающих ТИ (далее ТИ называются также изделиями), и, в частности, при функционировании предприятий оборонно-промышленного комплекса — ОПК, рассматриваемых в качестве примера в монографии, *проявляются* разного вида *несоответствия* — недостатки, несовершенства — характеристик функционирования предприятий ОПК предъявляемым к ним *требованиям*.

Эти недостатки имеют разные проявления (например, срыв сроков изготовления ТИ, невыполнение работ в требуемом объеме и в требуемой номенклатуре выпускаемых ТИ, несоблюдение требований к характеристикам ТИ в результате изменений этих требований, несвоевременность разработки документации на производство усовершенствованных ТИ). Важнейшим проявлением недостатков функционирования ОПК представляются несоответствия характеристик выпускаемых ТИ тем требованиям, которые к ним предъявляются заказчиками (и которые фактически являются важнейшими требованиями заказчиков к использованию ОПК). При этом требования заказчиков и условия, в которых действует ОПК, могут меняться.

Примеры недостатков функционирования ОПК, причины их проявления, последствия их проявления и примеры мер по устранению недостатков приведены и проанализированы в **приложении А**.

1.1.2. Сложные технические системы — объект научного исследования

Перечисленные недостатки *функционирования ОПК* вызваны главным образом несоответствием характеристик *сложных технических систем*, входящих в состав предприятий ОПК и состоящих из технических устройств и расходных материалов (относимых обычно к «технологической базе предприятий ОПК» [62–67], а также работников, использующих эти технические устройства и расходные материалы для выпуска изделий ОПК. В связи с этим сложные технические системы, входящие в предприятия ОПК (и их функционирование, на примере ОПК), являются *объектом научного исследования* в монографии.

В теории систем [9, 68–70] под сложной технической системой (СТС) принято понимать совокупность элементов СТС и связей между ними, функционирующую для достижения заданной цели.

Несколько уточним это определение, сделав акцент на действиях элементов СТС и на связи между СТС и её средой, которые реализуются при функционировании СТС.

Под *сложной технической системой* будем понимать совокупность элементов СТС, реализующих заданные действия, связей между элементами СТС и связи между СТС и её средой, реализуемых при функционировании СТС для достижения заданной цели.

Под *целью* функционирования СТС будем понимать состояние (состояния) СТС (в будущем), в котором (которых) должны будут быть удовлетворены требования, предъявляемые средой СТС к эффектам (основным результатам) функционирования СТС.

Под *СТС ОПК* будем понимать такую СТС, элементы которой — и их действия — соответствуют частям ОПК; связи между элементами — взаимодействиям между частями ОПК; связь¹ между СТС и её средой соответствует взаимодействию между ОПК и заказчиками ТИ (а также между ОПК и другими частями среды ОПК, такими как, например, поставщики ТИ (энергии и веществ), необходимых для функционирования ОПК); функционирование соответствует функционированию ОПК; цель соответствует цели функционирования ОПК.

Отметим, что недостатки СТС ОПК проявляются при функционировании в изменяющейся среде (как говорят, «в условиях изменений»). Изменения среды могут иметь вид изменений: требований к результатам функционирования СТС и воздействий на СТС при функционировании. Они могут вызывать (актуализировать) необходимость переходных действий с тем чтобы усовершенствовать функционирование СТС, привести функционирование СТС в соответствие с изменившимися условиями и начать изменившееся функционирование. Такая актуализация, переходные действия и начало изменившегося функционирования возможны лишь с использованием тех или иных информационных действий (операций), по тем или иным — на-

¹ Связь между СТС и её средой может быть нескольких видов, поэтому далее иногда будем использовать понятие «связи между СТС и её средой», если того потребует улучшение ясности рассуждений.

пример, цифровым — информационным технологиям. Как следует из вышеприведённых результатов анализа недостатков СТС ОПК, важнейшей из возможных причин, которой в прежних исследованиях не уделялось внимания, является *изменение цели функционирования СТС ОПК*.

Изучение перечисленных недостатков функционирования ОПК (или, далее, недостатков функционирования СТС ОПК) приводит, во-первых, к необходимости ввести в изучение такое свойство как «конверсивность СТС» и, в частности, такое свойство как «конверсивность СТС ОПК». Это должно быть сделано для исследования недостатков СТС ОПК, описанных в 16-м примере, и для разработки способов их устранения.

Итак, под *конверсивностью СТС* будем понимать свойство СТС, характеризующее её приспособленность к изменению — при актуализации такой необходимости — для начала функционирования по достижению новой (последующей) цели, то есть той цели, которая пришла на смену исходной цели.

Такое изменение происходит за счёт реализации переходного функционирования, для осуществления которого должны иметься возможности (технологические, организационные, ресурсные, временные) изменений [71, 72]. Изменение СТС — из тех видов, что описаны ниже — может в ряде случаев приводить к изменению морфологической и (или) функциональной структуры СТС.

Под *морфологической структурой СТС* будем понимать совокупность отношений «принадлежности» между СТС и её элементами, а также между элементами СТС и «технологическими структурами (ТлСт) СТС», которые существуют или могут быть образованы из элементов СТС или из других ТлСт СТС.

Под *технологической структурой СТС* будем понимать совокупность отношений «принадлежности» между элементами СТС и существующими в ней «технологическими маршрутами (ТлМ)», а также между ТлМ СТС, которые существуют или могут быть образованы из элементов СТС или из других ТлМ СТС.

Под *технологическим маршрутом СТС* будем понимать последовательность элементов СТС, которую «проходит» ТИ при функционировании СТС.

Отметим, что элементы СТС могут объединяться в «рабочие места (РМ)» СТС и что, следовательно, РМ СТС могут входить в состав ТлМ СТС и ТлСт СТС.

Под *функциональной структурой СТС* будем понимать совокупность отношений «принадлежности» между функцией СТС и функциями её элементов, а также между функциями элементов СТС и «технологическими сетями (ТлСе) СТС», которые существуют или могут быть образованы из функций элементов СТС или из других ТлСе СТС.

При этом под *ТлСе СТС* будем понимать упорядоченное множество технологических операций (ТлОп), реализуемых при функционировании СТС, соответствующее множеству элементов (РМ) СТС и множеству связей между РМ СТС и между СТС и её средой.

Под *технологической операцией* будем понимать реализацию действия элементом СТС, реализацию связи между элементами СТС или между СТС

и её средой, которая (реализация) осуществляется в соответствии с технологической документацией.

Под *конверсивностью*² СТС ОПК будем понимать конверсивность такой сложной технической системы, которая является сложной технической системой ОПК.

Конверсивность СТС и эффективность [3] функционирования СТС для достижения каждой из — действительных и возможных — целей, взятые в совокупности, и позволяют судить о том, приспособлена ли СТС к тому, чтобы успешно достигать — действительные и возможные — цели.

Во-вторых, изучение перечисленных недостатков функционирования СТС ОПК позволяет указать ряд возможных способов их устранения.

Эти способы порождаются представлением ОПК в виде СТС, то есть имеют системную «природу». В связи с этим они могут (и должны) применяться как для совершенствования СТС ОПК в целом, так и для совершенствования любого элемента СТС ОПК (в частности, для устранения недостатков выпускаемых изделий, каждое из которых может быть представлено как сложная техническая система) [9, 73–75].

Поэтому далее будут описаны примеры способов устранения недостатков СТС — путём реализации *изменения СТС того или иного вида* — с пояснениями, при необходимости, относящими тот или иной способ либо к СТС ОПК, либо к выпускаемым изделиям (представляемым как СТС).

К таким способам (видам изменения СТС) следует отнести:

- 1) изменение состава СТС;
- 2) изменение характеристик элементов СТС;
- 3) изменение состава связей между элементами СТС;
- 4) изменение характеристик связей между элементами СТС и связи между СТС и её средой;
- 5) изменение последовательности актуализации связей между элементами СТС при её функционировании;
- 6) изменение планов функционирования СТС.

Как свидетельствует опыт совершенствования СТС ОПК [76, 77], перечисленные действия выполняются (по отдельности и в разных сочетаниях) самой СТС ОПК и (или) средой СТС ОПК.

1.1.3. Анализ способов совершенствования (устранения недостатков) СТС

Примеры способов совершенствования СТС ОПК для устранения указанных выше недостатков.

1. Изменение состава СТС реализуется путём изменения вида элементов, входящих в состав СТС, и (или) путём изменения числа элементов одного вида.

² От латинского *conversio* [Крысин Л.П. Толковый словарь иноязычных слов. — М.: Изд-во Эксмо, 2005. — 944 с. — С. 381. — Конверсия (во 2-м значении) — перевод промышленных предприятий с производства одной продукции на производство качественно новой продукции. К. заводов оборонной промышленности.] Отсюда: конверсивность — приспособленность к конверсии.

Примеры устранения недостатков ОПК этим способом приведены в приложении (**Приложение В**).

2. Изменение характеристик элементов СТС может осуществляться по-разному, например путём модернизаций и инноваций СТС.

Примеры устранения недостатков ОПК путём модернизаций и инноваций СТС приведены в приложении (**Приложение С**).

3. Изменение состава связей между элементами СТС и связей между СТС и её средой. Такие изменения проявляются в создании новых связей и (или) в уничтожении старых связей.

Примеры устранения недостатков ОПК путём изменения состава связей между элементами СТС и связей между СТС и её средой приведены в приложении (**Приложение D**).

Первая часть этого способа — изменение состава связей между элементами СТС.

При этом под *связью между элементами СТС* будем понимать обмен³ веществом и (или) энергией между элементами СТС, находящимися в этой связи. Как следует из данного определения, связь между элементами СТС — это *действие элементов СТС, которые называются участниками (ингредиентами) этого действия.*

Вторая часть указанного выше способа изменения СТС — изменение связи (точнее, состава связей) между СТС и её средой.

Под *связью между СТС и её средой* будем понимать, по аналогии с введённым выше понятием «связь между элементами СТС», обмен веществом и (или) энергией между СТС и её средой.

Эта связь — не что иное, как действие СТС на её среду и, наоборот, действие среды СТС на СТС; то есть она (связь) является их *взаимодействием.*

Действие СТС на её среду направлено на достижение цели, назначенной для СТС, точнее — действие реализуется СТС для передачи полученных при её функционировании «целевых» результатов в среду СТС. Оно реализуется одним или несколькими элементами СТС, но «подготавливается» реализацией действий элементами СТС и реализацией связей (действий) между элементами СТС. Таким образом, достижение назначенной для СТС цели осуществляется благодаря реализации действий элементами СТС и благодаря реализации как связей между элементами СТС, так и связей между элементами (элементом) СТС и средой СТС. Поэтому введём следующее определение.

Функционированием СТС будем называть осуществление действий элементами СТС, направленное на достижение назначенной цели СТС.

*Вторая часть этого способа состоит в уничтожении старых связей. Примеры такого устранения недостатков также приведены в приложении (**Приложение D**).*

³ Заметим, что выделяют ещё один вид того, чем могут обмениваться участники обмена: информацию. Далее будет введено определение понятия «информация», из которого будет следовать, что информация передаётся (принимается) в форме вещества (документа: инструкции, доклада и др.) и (или) энергии (например, радиосигнала).

4. Изменение характеристик связей между элементами СТС и характеристик связи между СТС и её средой.

Изменение характеристик указанных связей реализуется, например, путём изменения способа действий, соответствующих этим связям.

При этом под *способом действия* (или видом действия) будем понимать описание действия.

Описанием действия будем называть совокупность характеристик ингредиентов действия, правил выполнения действия и результатов (или эффектов) действия, удовлетворяющую закономерностям действия.

Примеры устранения недостатков путём изменения характеристик связей между элементами СТС и характеристик связи между СТС и её средой приведены в приложении (**Приложение Е**).

При этом устранение недостатков этим способом, путём внедрения новых технологий, сопряжено как с негативными (обеспечивающими), так и с позитивными — которые получают за счёт обеспечивающих — результатами.

К *негативным результатам* следует отнести затраты ресурсов разного вида и времени [78], необходимые для изменения СТС ОПК и подготовки СТС к функционированию в соответствии с новыми способами создания изделий. Например, затраты на создание документации и перевод документации в цифровой вид; на изменение квалификации и состава персонала СТС ОПК; на изменение технических устройств (технологической базы СТС ОПК); на ввод СТС ОПК в эксплуатацию.

К *позитивным результатам* следует отнести: уменьшение затрат ресурсов и времени на создание изделий; удовлетворение требований заказчиков изделий; появление возможности успешно конвертировать функционирование (иначе — выполнить *конверсию* функционирования) СТС ОПК.

5. Изменение последовательности актуализации связей между элементами СТС при её функционировании. Это изменение реализуется путём изменения технологических сетей (ТлСе) работ и технологических маршрутов (ТлМ) создания изделий, реализуемых при функционировании СТС.

Примеры такого устранения недостатков приведены в приложении (**Приложение F**).

6. Изменение планов функционирования СТС. Примеры такого устранения недостатков приведены в приложении (**Приложение G**).

Как следует из рассмотренных примеров устранения недостатков, многие из них связаны с внедрением современных информационных технологий.

Под *современной информационной технологией* будем понимать информационную технологию, возникшую недавно (например, в течение последнего века).

Под *информационной технологией* будем понимать технологию оперирования информацией.

Под *информацией* будем понимать форму — например, запись на каком-нибудь «носителе информации» — существования идей или мыслей — представлений, понятий, суждений — в материальном мире (то есть вне сознания).

Под *технологической информационной операцией (ТИО)* будем понимать технологическую операцию, предназначенную для получения, хранения (в том числе — для защиты), преобразования и передачи информации в соответствии с информационной технологией.

В связи с введением понятия ТИО будем называть *технологическими неинформационными операциями (ТНИО)* те технологические операции, которые не являются технологическими информационными операциями.

К числу современных (цифровых) информационных технологий, внедряемых в рамках цифровизации предприятий ОПК, относят [79, 80]: промышленный интернет вещей; использование дополненной реальности в производственном процессе, аддитивное производство, 3D-печать и сканирование объектов, автоматизированные транспортные средства и дроны, сенсоры и датчики, осуществляющие оперативный мониторинг движения товаров и услуг, цифровое управление логистикой, цифровые системы отбора материальных запасов со световой индикацией, использование цифрового представления изделия при проектировании, производстве, испытаниях, эксплуатации, машинное обучение, цифровые регламенты основных процессов, инструменты бережливого производства, роботизацию и автоматизацию производственных процессов.

К современным информационным технологиям, чаще всего используемым при планировании функционирования предприятий в нашей стране и за рубежом, относятся, например, следующие технологии [30]: технология PPBS планирования, программирования и бюджетирования; технология РМ проектного управления; технология СММІ оценивания зрелости и совершенствования СТС; технологии ВРМ, ЕРМ, ВІ управления эффективностью функционирования СТС; технология JCIDS интеграции и развития операционных возможностей. Эти и ряд других цифровых технологий [80–83] позволяют обрабатывать огромное количество информации быстро и безошибочно с помощью технических устройств (вычислительной техники). Поэтому они широко используются в нашей стране, в частности — для планирования целевых программ (например, при разработке ФЦП развития СТС ОПК, ГПВ и ГОЗ [64]), которые, в соответствии с [40, 84–86], являются одним из важнейших средств реализации крупномасштабных, наиболее важных для государства научно-технических проектов.

Следует отметить, что, при многих достоинствах, современным информационным технологиям присущ ряд недостатков, среди которых отметим три наиболее существенных.

Во-первых, они не приспособлены для решения задач, в которых целевые показатели должны учитывать возможность изменения целей функционирования СТС. Например, при оценивании эффективности функционирования СТС с применением ВРМ, ЕРМ, ВІ не учитывают то, что цель функционирования СТС может меняться.

Это означает, что при планировании и выборе плана не учитывают появление необходимости выполнить конверсию функционирования СТС — потратив на это время, финансовые и другие ресурсы — для эффективного достижения новой цели и, таким образом, не рассматривают план функцио-

нирования СТС, включающий действия (и затраты) по конверсии. Это может привести к ошибкам на этапе планирования, то есть к выбору и реализации на практике плана, не обеспечивающего наибольшую, из возможных, эффективность функционирования СТС.

Во-вторых, современные информационные технологии, как правило, не позволяют описать зависимость целевого показателя от характеристик элементов СТС, связей и их состава в СТС. Не описываются связи информационных и неинформационных эффектов. Так, в технологиях РРBS, РМ при оценивании целевых показателей не учитывается их зависимость от состава элементов СТС, участвующих в действиях, и от характеристик этих элементов. В технологиях СММІ и JCIDS не предусматривается зависимости целевых показателей от каких-либо характеристик СТС и её функционирования. Не вскрываются зависимости эффектов от используемых информационных операций.

В-третьих, рассматриваемые информационные технологии, как правило, не содержат указания на способ моделирования зависимости целевого показателя от тех характеристик СТС, которые могут быть изменены для устранения недостатков функционирования СТС, в том числе и зависимости от характеристик используемых информационных устройств.

Например, в технологиях ВРМ, ЕРМ, ВІ не указан порядок того, как следует описать зависимость эффектов функционирования системы от характеристик СТС. Соответственно, не указано и то, как описать зависимость показателя эффективности функционирования СТС от характеристик СТС, и не указано, как описать зависимость результатов конверсии СТС от характеристик СТС. Из вышеперечисленного следует, что современные информационные технологии, используемые при планировании функционирования СТС, требуют доработки. Это позволит улучшить использование шестого способа устранения недостатков СТС.

Из вышеизложенных примеров следует *ряд выводов*.

Во-первых, выявленные недостатки функционирования СТС ОПК могут быть отнесены к одной из двух групп, как на классификационной схеме недостатков СТС ОПК и их функционирования (рисунок 1).



Рисунок 1. Классификация недостатков СТС ОПК и их функционирования

Первая группа включает недостатки, обнаруженные при использовании предприятий ОПК и изделий, применение (функционирование) которых на-

правлено на достижение *одной* неизменной цели. В эту группу входят недостатки, описанные под номерами 1–3, 15 (для предприятий ОПК) и 6–11, 15 (для изделий).

Вторая группа включает недостатки, обнаруженные при необходимости прекратить функционирование (применение) предприятия ОПК и применение изделий, направленное на достижение *исходной* цели, и перейти к функционированию для достижения *новой* цели (которая может быть «сложной»). В эту группу входят недостатки, описанные под номером 4, 5, 16, 17 (для предприятий ОПК) и 12–14 (для изделий). В каждой из двух групп недостатки разделены на шесть классов: *i*-й класс включает недостатки, устраняемые *i*-м способом.

Недостатки функционирования ОПК следует исследовать и устранять, на основе того, что они вызываются несоответствием характеристик СТС ОПК регулярно меняющимся требованиям со стороны среды и другими воздействиями среды на эти СТС. Такое устранение недостатков носит характер совершенствования той стороны качества СТС (ранее в должной мере не исследуемой), которая проявляется в условиях изменений.

Классификация *способов устранения* недостатков СТС показана на схеме (рисунок 2). Способы классифицированы как действия различной направленности по совершенствованию СТС. Заметим, что характеристики способов устранения недостатков формируют множество выбора в решаемых задачах.



Рисунок 2. Классификация способов устранения недостатков СТС

Классификация недостатков СТС показана на схеме (рисунок 3).

Во-вторых, как видно из приведённых примеров, недостатки (несоответствия) — это, по сути, отличие фактических результатов (фактических эффектов) функционирования СТС от требуемых — для достижения поставленной цели — результатов (от требуемых эффектов). *Эффект* (или итог) действия (функционирования) — результат действия (функционирования), к которому предъявлены требования [1, 2]. Классификация эффектов функционирования СТС — на примере СТС ОПК — показана на схеме (рисунок 4). Как видно — они, как и недостатки, разделены на две группы.



Рисунок 3. Схема классификации недостатков СТС ОПК

Первая группа включает эффекты, проявляющиеся при функционировании СТС для достижения одной неизменной цели. В эту группу входят эффекты, соответствующие недостаткам, описанным под номерами 1–3, 15, 17 (для предприятий ОПК) и 6–11, 15, 17 (для изделий).

Как это принято в теории эффективности целенаправленных процессов [3, 87–90], эффекты первой группы разбиты на две подгруппы: 1) целевые эффекты и 2) обеспечивающие эффекты функционирования СТС для достижения одной неизменной цели. При этом примеры целевых эффектов первой группы, не удовлетворяющих предъявленным к ним требованиям, соответствуют недостаткам, описанным под номерами 1, 3 (для предприятий ОПК) и 6–11 (для изделий).

Так, в описании под номером 1 указаны два целевых эффекта — количество выполненных предприятиями ОПК заданий (41,9 % от требуемого количества) и объём выполненных работ (64,9 % от требуемого объёма). В описании под номером 7 указаны шесть целевых эффектов изделия — авиадвигателя ПАК-ФА, главный из которых — тяга авиадвигателя (15–15,5 тонн) и остальные пять не удовлетворяли предъявленным к ним требованиям заказчика.

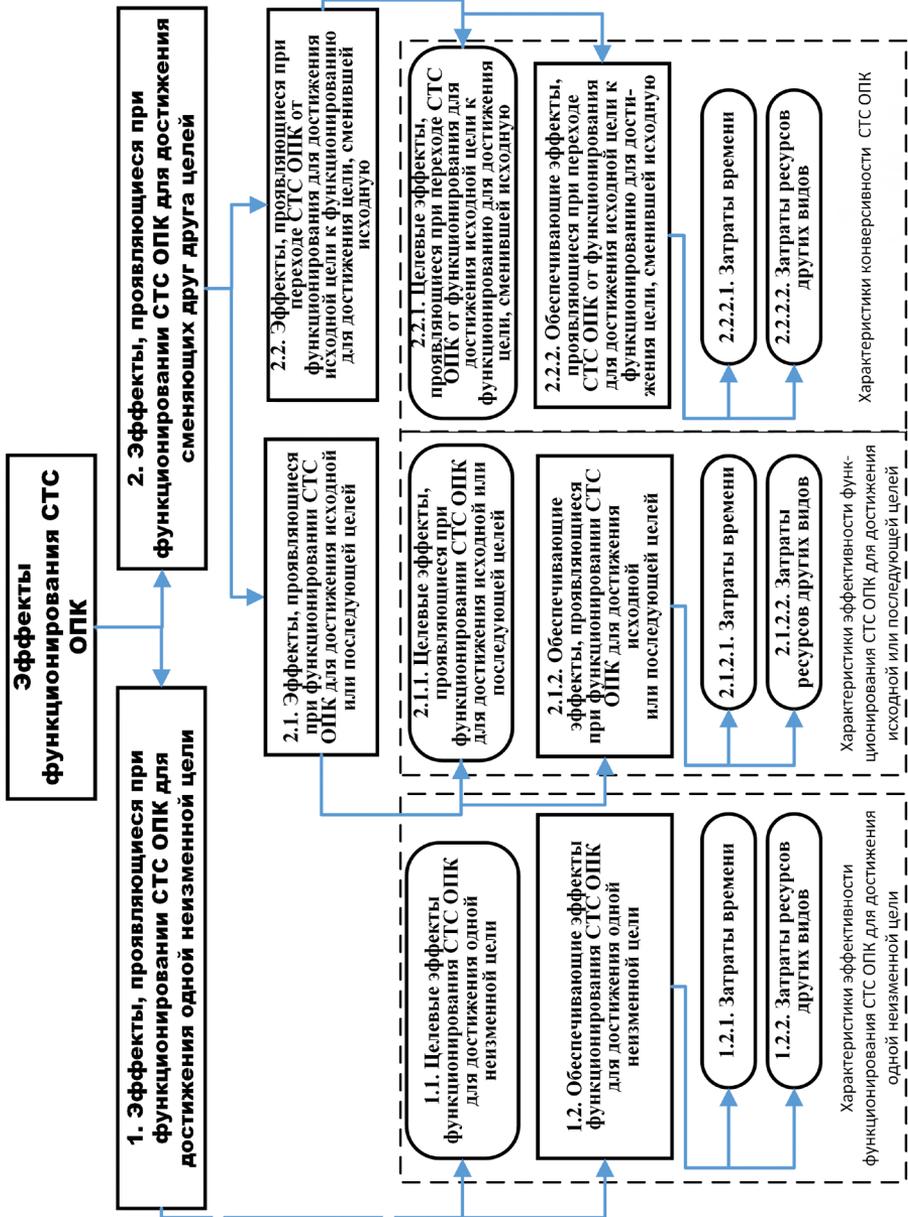


Рисунок 4. Классификация эффектов функционализации СТС

Обеспечивающие эффекты функционирования СТС — на примере СТС ОПК — для достижения одной неизменной цели в соответствии с [5, 91–93] тоже разделены на две подгруппы: 1) эффекты — затраты времени и 2) эффекты — затраты ресурсов другого вида на функционирование СТС для достижения одной неизменной цели.

При этом примеры обеспечивающих эффектов первой группы, не удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям, соответствуют недостаткам, описанным под номером 2 (для предприятий ОПК) и 6, 9, 15 (для изделий).

Так, в описании под номером 2 указан один обеспечивающий эффект — сроки выполнения ГОЗ объединённой судостроительной компанией (в 2011 году они соблюдены не были: затраты времени превысили требования).

Вторая группа включает эффекты, проявляющиеся при функционировании СТС ОПК для достижения сменяющихся друг друга целей. В эту группу входят эффекты, соответствующие недостаткам, описанным под номерами 4, 5, 11, 15, 16, 17 (для предприятий ОПК) и 7–10, 14, 17 (для изделий).

Вторая группа включает две подгруппы эффектов, каждая из которых тоже делится на две подгруппы: 1) целевых эффектов и 2) обеспечивающих эффектов.

При этом целевые и обеспечивающие эффекты первой подгруппы характеризуют *установившийся процесс*: процесс функционирования СТС ОПК для достижения заданных исходной или сменившей её целей. Этот процесс будем далее называть «процессом целевого функционирования».

В отличие от них целевые и обеспечивающие эффекты второй подгруппы характеризуют *переходный процесс*: процесс перехода СТС ОПК от исходного установившегося процесса — процесса функционирования СТС ОПК для достижения *исходной* цели — к сменившему его новому установившемуся процессу (переход к функционированию СТС ОПК для достижения цели, *сменившей* исходную цель). Переходный процесс будем далее называть «процессом *конверсионного* функционирования».

Заметим, что деление процессов функционирования на два вида — целевое функционирование и конверсионное функционирование — условно: все исследуемые процессы функционирования СТС являются целевыми.

Первая подгруппа второй группы включает эффекты, проявляющиеся при функционировании СТС ОПК для достижения исходной или последующей целей. В эту подгруппу входят эффекты, соответствующие недостаткам, описанным под номерами 4, 5 (для предприятий ОПК) и 7, 10–14 (для изделий).

При этом примеры целевых эффектов первой подгруппы второй группы, не удовлетворяющих предъявленных к ним требованиям, соответствуют недостаткам, описанным под номерами 4, 15, 16, 17 (для предприятий ОПК) и 7, 10–13 (для изделий).

Так, в описании под номером 4 указаны два целевых эффекта — количество заданий предприятий ОПК (476 заданий в части НИОКР были откорректированы) и объём ГОЗ (23 % откорректировано). В описании под номером 7 указан целевой эффект — глубина унификации зенитной ракетной системы (унифицирована на 50 %).

Обеспечивающие эффекты функционирования СТС ОПК для достижения исходной или последующей целей тоже разделены на две подгруппы: 1) эффекты — затраты времени и 2) эффекты — затраты ресурсов другого вида на функционирование СТС ОПК для достижения исходной или последующей целей.

При этом примеры обеспечивающих эффектов, не удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям, соответствуют недостаткам, описанным под номерами 5, 11, 15, 16, 17 (для предприятий ОПК) и 12–14 (для изделий).

Так, в описании под номером 5 указан один обеспечивающий эффект — стоимость комплектующих изделий и материалов (с 2007 по 2011 г. наблюдался десятикратный рост стоимости). В описании под номером 12 указаны три обеспечивающих эффекта — массогабаритные и энергетические характеристики КА и стоимость запуска КА.

Вторая подгруппа второй группы включает эффекты, проявляющиеся при реализации переходного процесса.

В эту подгруппу входят эффекты, соответствующие недостаткам, описанным под номерами 15, 16, 17 (для предприятий ОПК) и 10–14 (для изделий).

При этом примеры целевых эффектов, не удовлетворяющих предъявленным к ним требованиям, соответствуют недостаткам, описанным под номерами 15, 16, 17 (для предприятий ОПК) и 10–14 (для изделий).

Так, в описании под номером 15 указан целевой эффект — поставляемая документация (в виде, описываемом современными стандартами ИПИ-технологий). В описании под номерами 10, 14 указан целевой эффект — глубины унификации платформ (космической и машин сухопутных войск), которые не удовлетворяли предъявленным к ним требованиям заказчика.

Обеспечивающие эффекты, проявляющиеся при реализации переходного процесса, тоже разделены на две подгруппы: 1) эффекты — затраты времени и 2) эффекты — затраты ресурсов другого вида.

При этом примеры обеспечивающих эффектов, не удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям, соответствуют недостаткам, описанным под номерами 15, 16, 17 (для предприятий ОПК) и 12, 13 (для изделий).

Так, в описании под номером 16 указаны два обеспечивающих эффекта — сроки выполнения организациями ОПК поставок и объёмы финансирования в соответствии с планами финансирования (наблюдались срывы этих сроков и объёмов, что привело к изменению целей функционирования и возможным его сбоям при функционировании предприятий ОПК).

Эффекты, характеризующие процесс функционирования СТС ОПК для достижения исходной цели или цели, сменившей исходную, — это характеристики известного свойства — эффективности функционирования СТС [1–4, 16, 74, 88–90, 94–102].

Эффекты, характеризующие переходный процесс, — это характеристики конверсивности СТС (в частности, СТС ОПК) — нового свойства СТС, которое прежде не выделялось и не исследовалось. Отметим также, что указанные на схеме (рисунок 4) эффекты функционирования СТС ОПК составляют лишь часть множества тех характеристик (СТС ОПК и её среды), которые должны использоваться для оценивания эффективности и конверсивности.

Недостатки, как свидетельствует практика, устраняются описанными способами, перечисленными на схеме (рисунок 2) и формирующими множество выбора в решаемых задачах. Они должны устраняться своевременно, так как они могут приводить к трудностям при решении задач, которые правительство России ставит перед ОПК [103, 104] и которые решаются в интересах потребителей (заказчиков) изделий ОПК и поставщиков ресурсов для ОПК [104]. Решение этих задач, как правило, имеет проектный вид.

Особенности заказчиков и поставщиков приводят к отличиям тех задач, которые должны корректно ставиться и решаться в интересах государства и должны учитывать эти особенности заказчиков и поставщиков. Классификация заказчиков и поставщиков показана на схеме (рисунок 5).

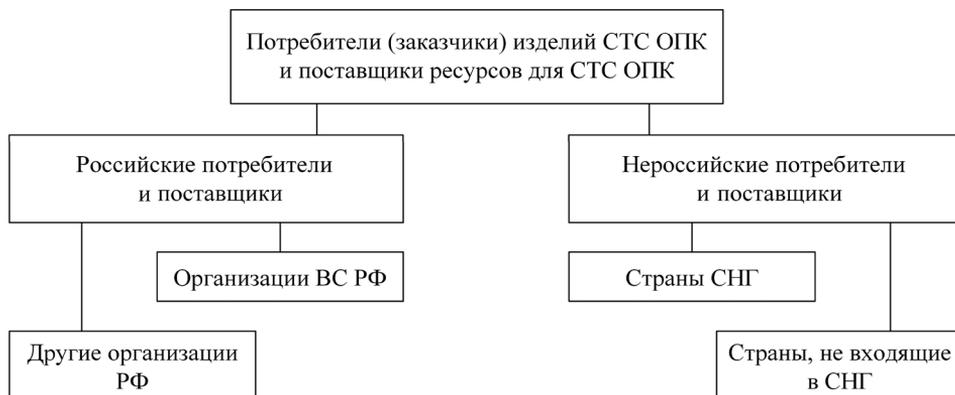


Рисунок 5. Схема классификации потребителей (заказчиков) изделий СТС ОПК и поставщиков ресурсов для СТС ОПК

1.1.4. Особенности совершенствования (устранения недостатков) СТС

Устранение недостатков функционирования СТС ОПК носит характер *совершенствования функционирования СТС ОПК*. Оно имеет ряд особенностей, которые должны учитываться при постановке и решении соответствующих научно-прикладных задач. Укажем три из них.

Первая особенность заключается в том, что при установившемся функционировании СТС ОПК возникают *случайные события*, которые могут вести к несоответствиям характеристик функционирования требованиям и в результате — к финансовым и временным потерям. Так, в декабре 2010 года запуск связки из трёх «Глонасс-М» с Байконура закончился неудачей, и космические аппараты упали в Тихий океан. Благодаря наличию резерва число космических аппаратов орбитальной группировки не опустилось ниже требуемых значений, однако был причинён материальный ущерб. Так, согласно [109], 1,38 млрд руб. стоит сама ракета, 436 млн — разгонный блок «Бриз-М», 846 млн — каждый спутник «Глонасс-М», 170 млн — головной обтекатель, 50 млн — транспортировка всех компонентов на Байконур и 550 млн — пусковые услуги.

Вторая особенность заключается в возникновении *случайных событий*, которые могут приводить к необходимости прекратить функционирование СТС ОПК для достижения *исходной* цели и перейти к функционированию СТС ОПК для достижения *новой* цели, сменившей исходную (то есть случайных событий, приводящих к необходимости осуществить переходный процесс — конверсию СТС ОПК).

Третья особенность заключается в том, что достижение цели при функционировании исследуемых СТС носит проектный характер, а для реализации переходных функционирований необходимо принимать проектные решения (о способах действий, направленных на описанные виды изменений СТС).

Проектное решение — удовлетворяющее требованиям заинтересованных лиц описание и предложение по использованию объекта проектирования, необходимые для достижения целей, поставленных перед ним. В изменяющихся условиях проектные решения направлены на совершенствование функционирования СТС для получения лучших результатов использования СТС. Поэтому СТС и проектные решения изучаются в изменяющихся условиях функционирования.

Актуальность научно обоснованной постановки и корректного решения *задач совершенствования* функционирования СТС в изменяющихся условиях, с опорой на математические методы исследований и современные информационные технологии, осознаётся практиками и теоретиками [101–104].

Актуальность подтверждается тем, что на протяжении 2000–2019 годов правительством РФ финансировались НИР и ОКР (направленные на решение указанных задач), в выполнении ряда которых участвовали сотрудники СПИИРАН [110–136]. Необходимость совершенствования функционирования СТС ОПК приводит к необходимости ставить и решать задачи совершенствования характеристик СТС ОПК. Эти задачи должны ставиться и решаться как задачи выбора (из возможных) способа (способов) устранения недостатков СТС. Последнее предполагает исследование возможных способов (даваемых ими эффектов). Исследование возможных способов устранения недостатков СТС состоит в постановке и решении задач трёх видов [4, 70, 91, 92]: задачи оценивания СТС, задачи анализа СТС и задачи синтеза СТС.

При этом цель постановки и решения задачи *оценивания* СТС — получение ответа на вопрос: насколько совершенна — в заданном смысле — СТС, если значения её характеристик (и характеристик её среды) зафиксированы?

Цель постановки и решения задачи *анализа* СТС — получение ответа на вопрос: по какому закону и как изменение значений характеристик СТС и (или) характеристик её среды влияет на совершенство СТС?

Цель постановки и решения задачи *синтеза* (обоснования характеристик СТС, позволяющих достичь лучший потенциал) СТС — получение ответа на вопрос: какими должны быть значения характеристик СТС и (или) характеристик её среды, чтобы совершенство СТС было соответствующим (в заданном смысле). Примеры НИР, ОКР и решаемых в них задач показаны на схеме (рисунок 6). При этом практиками и теоретиками признаются разумными такие способы совершенствования характеристик СТС ОПК, которые соответствуют понятиям: модернизация, цифровизация, инновация, унификация, реализация целевых программ и др. [52, 86, 105, 125, 137–147].

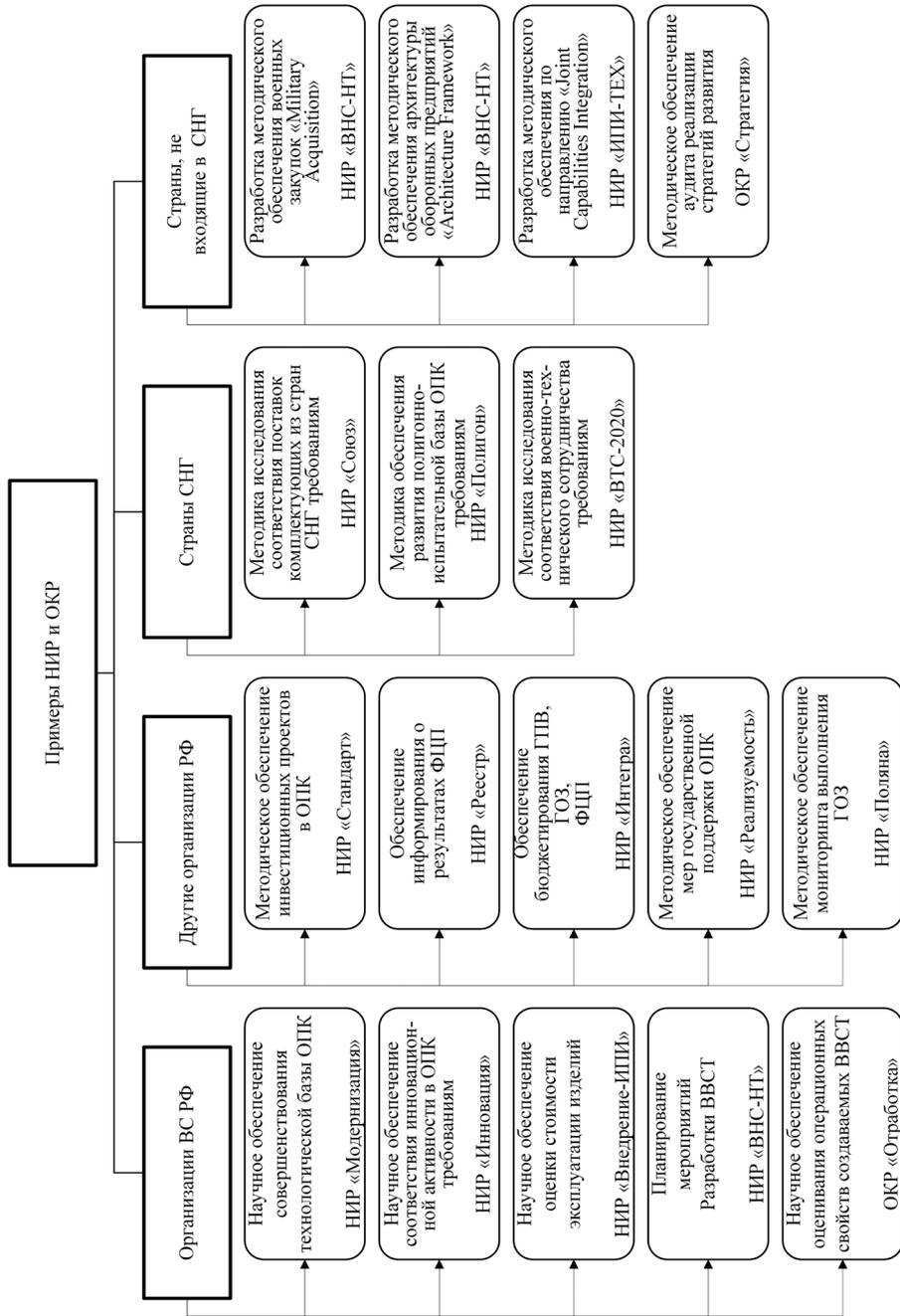


Рисунок 6. Схема классификации НИР и ОКР

1.1.5. Примеры задач совершенствования СТС

Рассмотрим примеры решавшихся с участием сотрудников СПИИРАН задач. К ним относятся:

1) задача исследования СТС ОПК в условиях модернизации технологической базы предприятий ОПК [52, 55, 70, 87, 91, 105, 113, 124–130, 135, 148–153];

2) задача исследования системы СТС силовых ведомств (СВ) и СТС ОПК в условиях планирования и реализации целевых программ (ЦП) [112, 115–117, 120, 122, 123, 133, 134, 136], направленных на улучшение её характеристик (в том числе — на улучшение характеристик выпускаемых изделий и на удовлетворение требований заказчиков изделий).

Рассмотрим *пример первой задачи*.

Задача исследования СТС ОПК в условиях модернизации технологической базы предприятий ОПК.

Как отмечалось, технологическая база ОПК — это совокупность технических устройств (станков, инструментов, приспособлений и т. п.), используемых при функционировании предприятий ОПК.

Модернизация (техники) — это приведение техники к современным требованиям ([154], с. 497).

Под *модернизацией СТС ОПК* будем понимать приведение СТС ОПК к современным требованиям путём изменения её элементов и (или) связей между ними.

Необходимость модернизации технических устройств, являющихся элементами СТС ОПК, вызвана рядом причин.

Во-первых, характеристики элементов СТС ОПК не позволяли выпускать изделия, удовлетворяющие требованиям заказчиков (это отмечено в [110] и при описании недостатков СТС ОПК: недостатков под номерами 1, 3, 6–11, 15). В частности, они не позволяли внедрить современные технологии выпуска изделий, с помощью которых, по мнению специалистов, можно было бы удовлетворить требования заказчиков.

Во-вторых, характеристики элементов СТС ОПК не позволяли обеспечить функционирование СТС ОПК (и выпуск изделий), при котором расход времени и ресурсов другого вида не превышали бы предоставленных количеств (это отмечено в [110, 120, 121, 153] и при описании недостатков под номерами 2, 5, 16).

В-третьих, характеристики элементов СТС ОПК не позволяли обеспечить переход СТС ОПК от функционирования для достижения исходной цели к функционированию для достижения новой цели, т. е. не позволяли обеспечить конверсию СТС ОПК (т. е. перевод СТС ОПК в состояние, требуемое, чтобы начать функционирование для достижения новой цели). При этом конверсия могла бы быть технически реализована, и расходы времени и ресурсов другого вида не превышали бы предоставленных количеств, в том числе в условиях, возможно, многократной смены целей функционирования СТС ОПК (это отмечено в [112, 113, 115, 116, 120, 121, 123, 126] и при описании недостатков под номерами 4, 13, 14). Эти причины требовали выполнить на практике модернизацию СТС ОПК.

Задача модернизации СТС ОПК, с точки зрения практиков, состоит в следующем. Какие элементы СТС ОПК должны быть выведены из её состава и заменены новыми (с помощью покупки)? Характеристики каких элементов СТС ОПК должны быть улучшены (с помощью ремонта)? Какие элементы СТС ОПК должны быть оставлены в её составе без изменения? В какие сроки должны быть выполнены эти мероприятия, чтобы не было срывов в производстве ТИ по заданиям ГПВ и программ ВТС (ПВТС)? Как повлияет на мероприятия по модернизации элементов СТС ОПК и на сроки их выполнения то, что в процессе модернизации возможны изменения ГПВ и, соответственно, необходимость выполнить конверсию СТС ОПК? Как повлияет на мероприятия по модернизации элементов СТС ОПК и на сроки их выполнения то, что в процессе модернизации возможны изменения графика поставки ресурсов и услуг (ГПР) в СТС ОПК? Какие документы (в том числе — законодательные и другие акты) должны быть разработаны и изданы?

При этом следует учесть, что:

1. Изменение элементов СТС ОПК может потребовать внести изменения в технологию выпуска изделий и, как правило, во время внесения изменений изделия не выпускаются.

2. Такое изменение может быть выполнено лишь за счёт расходования имеющихся в СТС ОПК ограниченных ресурсов разных видов: времени, денег, специалистов и др.

3. Изменение элементов СТС ОПК должно улучшить конверсивность СТС ОПК.

4. Такое изменение должно обеспечить снижение количества времени и ресурсов другого вида, расходуемых при функционировании СТС ОПК.

5. Изменение элементов СТС ОПК должно обеспечить выпуск изделий с характеристиками, удовлетворяющими требованиям заказчиков.

6. Мероприятия по модернизации СТС ОПК могут быть направлены не только на совершенствование элементов СТС ОПК, но и на изменение состава элементов СТС ОПК, на создание новых элементов СТС ОПК и на изменение технологии (например, путём совершенствования технологической базы ОПК, изменения кооперации исполнителей заказов и (или) их реорганизации в государственные корпорации. Это отмечено в [114, 119, 133, 134, 136, 155] и при описании недостатков СТС ОПК: недостатков под номерами 9–11, 15).

7. Реализация мероприятий по модернизации СТС ОПК может препятствовать функционированию СТС ОПК, но не должна вести к прекращению выпуска изделий и (или) к срыву выполнения заданий ГОЗ (это отмечено в [119, 133, 134] и при описании недостатков СТС ОПК: недостатков под номерами 5, 15, 16).

8. При функционировании СТС ОПК и во время реализации мероприятий по модернизации СТС ОПК возможно изменение заданий ГОЗ, что может привести к изменению как мероприятий по модернизации СТС ОПК, так и функционирования СТС ОПК (это отмечено в [111, 112, 120–123, 125, 133, 134] и при описании недостатков СТС ОПК: недостатков под номерами 1, 4).

9. При таком функционировании возможно изменение сроков и объёмов поставки финансовых и других ресурсов и услуг (например, из-за нарушения ГПР поставщиком), требуемых для выполнения их мероприятий. Это также может привести к изменению как мероприятий по модернизации СТС ОПК, так и функционирования СТС ОПК.

С точки зрения теоретиков, задача модернизации СТС ОПК предстаёт как задача исследования СТС ОПК в условиях модернизации.

Постановка этой задачи на вербальном уровне её описания состоит в следующем.

Пусть:

1. *Задано исходное состояние СТС ОПК.*

Прежде чем дать описание «исходного состояния СТС ОПК», отметим, что это понятие связано с важнейшим понятием в исследовании сложных технических систем: «состояние СТС», которое, в свою очередь, является видовым по отношению к понятию «состояние объекта исследований». Определим эти понятия.

Состоянием объекта исследований (ОИ) будем называть совокупность значений тех характеристик свойств ОИ, которые (характеристики) интересуют исследователя.

Состоянием СТС будем называть совокупность значений характеристик свойств СТС как объекта исследований.

Состоянием СТС в заданный момент времени будем называть совокупность значений характеристик свойств СТС, зафиксированных (измеренных, описанных) в заданный момент времени.

В зависимости от вида заданного момента времени различают виды состояния СТС. Например, исходное, «текущее», завершающее и т. п.

Исходным состоянием СТС будем называть состояние СТС в исходный момент времени, например в момент начала функционирования СТС.

Исходным состоянием СТС ОПК будем называть состояние СТС ОПК в момент начала функционирования СТС ОПК.

Перейдём к описанию исходного состояния СТС ОПК:

1.1. Указано, какие виды элементов входят в состав СТС ОПК (заданы характеристики каждого элемента: какие технологические операции (ТлОп) по изготовлению изделия (ТИ) и какими способами на нём могут быть выполнены), сколько элементов каждого вида входит в состав СТС ОПК, какие технологические маршруты они образуют. Иначе: заданы «актуальные» значения морфологической и функциональной структур СТС.

1.2. Задан план ТлОп, которые должны быть выполнены на элементах СТС ОПК для реализации мероприятий ГПВ, ПВТС и ГПР в соответствии с ГОЗ. Для СТС ОПК это значит, что заданы технологические маршруты (ТлМ) и соответствующие им рабочие места (РМ), включающие элементы СТС ОПК, на которых должны выполняться соответствующие ТлОп. При этом положим: 1. ТлМ состоит из одного или нескольких рабочих мест СТС ОПК. Под рабочим местом (РМ) понимается используемая при функционировании СТС часть пространства с находящимися в нём такими элементами СТС, что в нём совершается трудовая деятельность работника или группы работников, совместно выполняющих одну технологическую опера-

цию [156]. 2. Элемент СТС ОПК, который занят изготовлением какого-либо ТИ, не может быть использован для изготовления другого ТИ до тех пор, пока элемент СТС ОПК не завершит длящуюся на нём ТлОп.

1.3. Указано, какие ТлОп по реализации мероприятий ГПВ, ПВТС и ГПР и на каких элементах СТС ОПК длятся, то есть не завершены к моменту задания состояния СТС ОПК. Указано, сколько требуется ресурсов (времени, денег и пр.) для завершения этих ТлОп.

1.4. Указано, какие мероприятия ГПВ и ПВТС не могут быть выполнены на элементах СТС ОПК, а какие — могут быть выполнены и на каких элементах СТС ОПК.

1.5. Заданы характеристики конверсии СТС ОПК:

1.5.1. Для каждого элемента СТС ОПК и каждой ТлОп, которая на нём может выполняться для достижения заданной цели (при «целевом» функционировании), задано, сколько ресурсов разного вида должно быть использовано для того, чтобы выполнить на элементе СТС ОПК «конверсионную» ТлОп. В результате задано, сколько ресурсов необходимо, чтобы привести элемент СТС ОПК в готовность к началу выполнения на нём ТлОп, не предусмотренной графиком (планом) функционирования СТС ОПК по достижению прежней цели (в том числе сначала завершить выполнение элементом той ТлОп, которая им выполнялась, а затем осуществить указанное выше приведение элемента в готовность). Указанная необходимость может возникнуть из-за изменения ГОЗ.

1.5.2. В случае изменения ГОЗ указано, какие ресурсы должны быть истратчены, чтобы соответствующие «длящиеся» в СТС ОПК мероприятия ГОЗ — соответствующие им ТлОп — были завершены соответствующими элементами СТС ОПК, чтобы эти элементы СТС ОПК могли быть приведены в состояние готовности к началу на них другого (нового) мероприятия ГОЗ (иначе: чтобы могло быть выполнено «конверсионное» функционирование СТС ОПК).

1.6. Заданы характеристики модернизации СТС ОПК:

Задано, какие мероприятия по модернизации СТС ОПК могли бы быть в ней выполнены (могли войти в состав ЦП ОПК) и какие затраты времени и ресурсов другого вида могли бы понадобиться, чтобы выполнить эти мероприятия:

1.6.1. Отремонтировать соответствующие элементы СТС ОПК. После чего привести их в готовность к началу выполнения на них ТлОп, соответствующих мероприятиям ГПВ и ПВТС.

1.6.2. Демонтировать соответствующие элементы СТС (вывести их из состава СТС ОПК), закупить новые элементы СТС ОПК, смонтировать новые элементы СТС ОПК и ввести их в эксплуатацию в составе СТС ОПК. После чего тоже привести их в готовность к началу выполнения на них ТлОп, соответствующих мероприятиям ГПВ и ПВТС.

2. Задано исходное состояние среды СТС ОПК:

2.1. Заданы ГПВ, программы ВТС (ПВТС), графики (программы) поставки в СТС ОПК ресурсов и услуг (ГПР) и ГОЗ. При этом ГПВ, ПВТС и ГПР заданы на своих горизонтах планирования (горизонт ПВТС и горизонт ГПР не могут быть больше горизонта ГПВ), а ГОЗ — на горизонте

в 3 года — текущий год и два последующих года — и пролонгирован на оставшуюся часть горизонта планирования ГПВ. ГОЗ включает мероприятия ГПВ, ПВТС и ГПР. *Мероприятие ГПВ (ПВТС)* — это действие по изготовлению какого-либо изделия (ТИ) или по его поставке заказчику ТИ, или по оказанию СТС ОПК услуг заказчику ТИ. *Мероприятие ГПР* — это действие по поставке ресурсов (в том числе — ТИ) и по оказанию услуг, которые необходимы для функционирования и (или) модернизации СТС РПК. Это значит, что заданы планы финансирования мероприятий ГПВ, ПВТС и ГПР в форме ГОЗ. Если момент задания исходного состояния СТС ОПК и её среды находится внутри планового годового интервала, то в этом случае описание (задание) ГОЗ должно включать: план финансирования для незавершённой части года ГОЗ (части года, левой границей которой является момент задания исходного состояния СТС ОПК и её среды) и план финансирования последующих лет реализации ГОЗ.

2.2. Заданы случайные события изменения (корректировки) ГОЗ. При этом примем, что изменение ГОЗ должно быть реализовано с начала следующего (в этом случае — второго) планового года реализации ГОЗ. Для каждого изменённого мероприятия ГОЗ должны быть указаны его новые характеристики: сроки реализации и предоставляемые ресурсы.

2.3. Задано, что изменение планов (цели) функционирования СТС ОПК — которое является действием среды СТС ОПК на СТС ОПК — осуществляется мгновенно (то есть это мероприятие длится бесконечно малое время, и его длительностью можно пренебречь, не вызывая недопустимые для практиков погрешности решения задачи).

2.4. Задано, что средства на конверсию СТС ОПК берутся из ГОЗ.

2.5. Задан график ежегодного финансирования мероприятий по модернизации и горизонт модернизации СТС ОПК. Примем, что этот график предусматривает ограничение на выделяемые ежегодно из бюджета РФ средства.

2.6. Заданы штрафы: за нарушение сроков реализации ПВТС и ГПР.

3. Задано исходное состояние связи между СТС ОПК и её средой:

3.1. Задано, какие мероприятия осуществляются по поставке изделий (услуг) из СТС ОПК в её среду, заданы характеристики (сроки и пр.) завершения этих мероприятий.

3.2. Задано, какие мероприятия осуществляются по поставке ресурсов и услуг разных видов в СТС ОПК из её среды, заданы характеристики (сроки и пр.) завершения этих мероприятий.

Требуется ответить на вопросы:

1) по какому показателю следует оценивать приспособленность СТС ОПК к успешному выполнению заданий ГОЗ на горизонте их планирования?

2) как мероприятия по модернизации СТС ОПК и сроки их реализации влияют на приспособленность СТС ОПК к успешному выполнению заданий ГОЗ на горизонте их планирования?

3) какие мероприятия по модернизации СТС ОПК и в какие сроки должны быть осуществлены, чтобы в результате их реализации СТС ОПК обладала максимально возможной приспособленностью к успешному выполнению заданий ГОЗ на горизонте их планирования?

Решение этой задачи должно выполняться на основе современных информационных технологий и вычислительной техники. Это требует разработки математической модели задачи.

Разработка математической модели задачи предполагает, с точки зрения теоретиков, получение ответов на ряд вопросов.

Указанные вопросы порождаются необходимостью уточнить смыслы и значения понятий, которые должны использоваться:

1) для описания СТС ОПК, среды СТС ОПК и связи между ними — то есть для разработки модели исследуемого объекта (СТС ОПК), его среды и их взаимодействия при функционировании СТС ОПК;

2) для разработки модели поставленной задачи — на основе модели, указанной в п. 1, и с учётом того, что при функционировании СТС ОПК должны использоваться современные информационные технологии.

Вот эти вопросы.

1. По какому показателю и по каким свойствам СТС ОПК следует судить о её приспособленности к тому, чтобы успешно выполнить задания ГОЗ на горизонте их планирования в условиях возможного изменения цели функционирования СТС ОПК?

Как этот показатель зависит от:

2. ЦП ОПК (т. е. от мероприятий по модернизации СТС ОПК, включённых в состав ЦП ОПК, от сроков их выполнения, от их финансирования и от прочих их характеристик) в условиях возможного изменения ЦП ОПК?

3. ГОЗ (т. е. от характеристик мероприятий, включённых в ГОЗ: от требуемых характеристик ТИ и предоставляемых услуг (которые являются *требуемыми* целевыми результатами функционирования СТС ОПК), от *требуемых* сроков реализации мероприятий и от характеристик финансирования мероприятий (в том числе — от *заданных ограничений* на объёмы финансирования мероприятий) в условиях возможного изменения ГОЗ?

4. Характеристик *возможного изменения цели функционирования* СТС ОПК?

5. Характеристик элементов СТС ОПК и от характеристик связей между элементами СТС ОПК (иначе — от характеристик морфологической и функциональной структур СТС ОПК)?

6. Характеристик связи между СТС ОПК и её средой?

7. Характеристик *конверсивности* СТС ОПК?

8. И наконец, как при разработке указанных зависимостей учесть, что при функционировании СТС ОПК используются цифровые информационные технологии?

Рассмотрим *пример второй задачи*.

Задача исследования системы СТС СВ и СТС ОПК в условиях планирования и реализации целевых программ, направленных на улучшение её характеристик⁴.

Программа (от греч. pro — прежде, вперед, и grapho — пишу) — краткое изложение того, что должно быть исполнено [157].

⁴ В том числе — на улучшение характеристик изделий и на удовлетворение требований заказчиков изделий СТС ОПК.

Видами программ являются: государственные программы (в частности, ГПВ), федеральные целевые программы (ФЦП) (в частности, ФЦП «Развитие оборонно-промышленного комплекса до 2020 г.», далее — «ФЦП-2020»), ведомственные программы и пр. [27, 28, 158–163].

Эти программы связаны с затратами бюджетных средств разных видов (федеральных, региональных и других), выделяемых для реализации их мероприятий [85].

Необходимость реализации *целевых* программ вызвана тем, что их планирование и осуществление облегчает управление выделением и расходованием финансовых и других государственных средств.

В рассматриваемом ниже примере приводятся такие целевые программы [64], мероприятия которых реализуются одновременно в СТС ОПК и поэтому должны разрабатываться совместно на основе единой системы исходных данных [65, 77].

Пример носит упрощённый характер, но позволяет учесть наиболее важные для целей исследования особенности задачи, решаемой практиками.

К этим особенностям, в частности, относится взаимовлияние нескольких программ (ГПВ, «ФЦП-2020», программ военно-технического сотрудничества — ПВТС — например, «Программы военно-экономического сотрудничества государств — членов ОДКБ», и ГПР) и ГОЗ [84], который является средством финансирования мероприятий ГПВ, ПВТС и ГПР.

Порядок разработки и реализации федеральных целевых программ (в том числе — «ФЦП-2020») определён Постановлением Правительства РФ от 26 июня 1995 г. № 594 «О реализации Федерального закона “О поставках для государственных нужд”» и Постановлением Правительства РФ от 25 декабря 2004 г. № 842. В соответствии с п. 1 последнего федеральные целевые программы представляют собой увязанный по задачам, ресурсам и срокам осуществления комплекс научно-исследовательских, опытно-конструкторских, производственных, социально-экономических, организационно-хозяйственных и других мероприятий, обеспечивающих эффективное решение системных проблем в области государственного, экономического, экологического, социального и культурного развития Российской Федерации. В примере рассматриваются целевые программы, реализуемые для совершенствования функционирования нескольких СТС.

К этим СТС относятся:

1. СТС силовых ведомств (в примере лишь два силовых ведомства: Госзаказчик-ведомство 1 и Госзаказчик-ведомство 2), которые являются заказчиками изделий (и услуг). Эти изделия должны быть результатом реализации соответствующих мероприятий, включаемых по заявкам силовых ведомств в ГПВ. В примере показана упрощённая структура ГПВ. В неё входят по одной целевой подпрограмме (ЦПП) для каждого силового ведомства (ЦПП1 и ЦПП2, соответственно), включающие специфические — по целевым результатам — мероприятия, и одна ФЦП, которая включает общие — по целевым результатам — мероприятия для обоих силовых ведомств (ФЦП12).

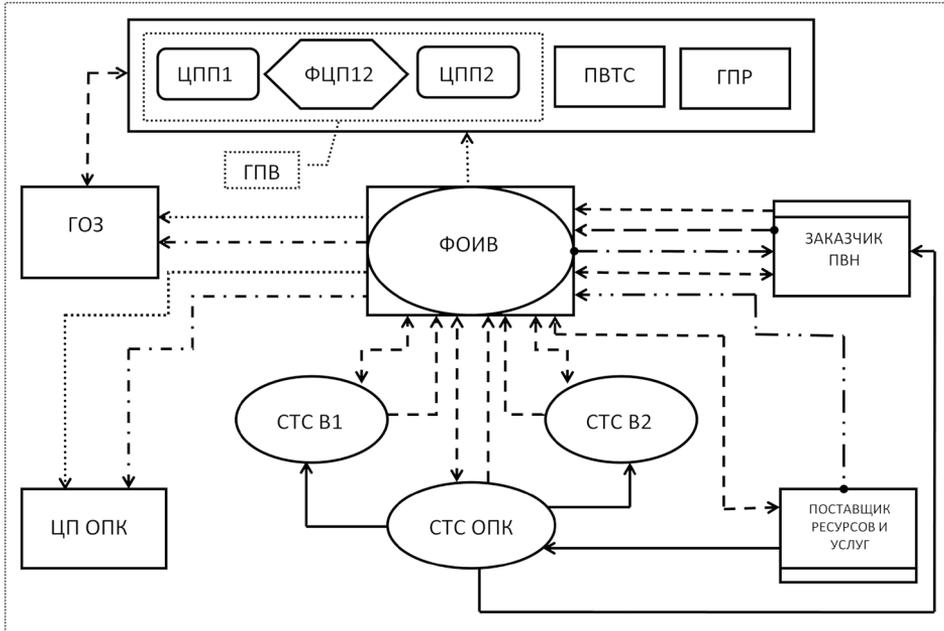


Рисунок 7. Связи (отношения) в системе СТС СВ и СТС ОПК и в её среде

2. СТС ОПК — это СТС, выпускающая изделия для выполнения мероприятий ГПВ и ПВТС — средством финансирования которых является ГОЗ — и на модернизацию которой направлена ЦП ОПК. Её частным примером является «ФЦП-2020», финансируемая напрямую из государственного бюджета РФ. В ЦП ОПК включаются мероприятия по заявкам СТС ОПК.

Планирование и реализация целевых программ требуют взаимодействия заказчиков изделий (и услуг), выпускаемых при функционировании СТС ОПК, ОПК и поставщиков ресурсов разного вида для ОПК. Схема их взаимодействия показана на рисунке 7. Стрелки на рисунке 7 обозначают связи (отношения), смысл которых указан в таблице 1.

Таблица 1. Описание стрелок на рисунке

Вид стрелки	Смысл передаваемой связи (отношения)
----->	Подача заявки на включение мероприятий в планы и программы
<----->	Согласование требований и возможности их удовлетворить, доведение итоговых документов
.....->	Разработка планов и программ
————->	Поставка материальных ресурсов (услуг), предусмотренных планами и программами
----->	Поставка финансовых ресурсов из бюджета РФ
•----->	Поставка финансовых ресурсов в бюджет РФ заказчиком ПВН
•----->	Уплата штрафа из бюджета РФ по требованию заказчика ПВН
•----->	Уплата штрафа в бюджет РФ поставщиком ресурсов и услуг

Заметим, что СТС СВ и СТС ОПК образуют систему СТС СВ и СТС ОПК (ССТС СВ ОПК). Другие взаимодействующие с ними агенты, показанные на рисунке 7, принадлежат *среде* ССТС СВ ОПК.

При этом следует учесть, что:

1. В отличие от *первой* задачи (точнее — в отличие от СТС ОПК) в состав ССТС СВ ОПК входят три СТС. Каждая из них функционирует, стремясь лучшим образом достичь *своей* цели. Особенность этих устремлений такова:

- для СТС СВ — успешное достижение поставленных актуальных и (или) возможных целей, связанных с решением специальных (силовых) задач;
- для СТС ОПК — успешное достижение поставленных актуальных и (или) возможных целей, связанных с решением задач, представленных в виде ГОЗ, в условиях реализации ЦП ОПК.

2. СТС СВ должна функционировать так, чтобы в любой момент, если потребуется, она могла из текущего состояния перейти в состояние полной готовности к началу решения специальных задач и затем успешно решить эти задачи.

3. СТС ОПК должна функционировать так, чтобы успешно осуществлялись требуемые поставки ТИ (услуг) в СТС СВ и заказчику ПВН, и так, чтобы при этом выполнялась требуемая модернизация СТС ОПК.

4. ССТС СВ ОПК должна функционировать так, чтобы успешно достигать поставленных актуальных и (или) возможных целей, связанных как с решением специальных (силовых) задач (при функционировании СТС СВ1 и СТС СВ2), так и с решением задач по удовлетворению требований заказчика ПВН.

5. Изменения в выполняемые ЦП (или разработка новых ЦП) должны вноситься с учётом того, что ССТС СВ ОПК функционирует непрерывно.

6. Заявки об изменении ГПВ вносят СТС СВ1 и СТС СВ2. При этом мероприятия по заявкам СТС СВ объединяются либо в целевые подпрограммы (ЦПП), реализуемые в интересах соответствующей СТС СВ (например, ЦПП1⁵ — в интересах СТС СВ1, ЦПП2 — в интересах СТС СВ2), либо объединяются в федеральную целевую подпрограмму, реализуемую в интересах обеих СТС СВ (например, ФЦП12).

7. Заявки об изменении ЦП ОПК вносит СТС ОПК (она же вносит заявки об изменении ГПР, по согласованию с поставщиком ресурсов и услуг); заявки об изменении ПВТС вносит заказчик ПВН.

8. Реализация мероприятий ЦП ОПК оказывает влияние на СТС ОПК так, как это описано в *первой* задаче.

9. Изменение ГОЗ, ГПВ, ПВТС, ГПР и ЦП ОПК может происходить по причинам, приведённым в *первой* задаче, а также в связи с внесением указанных выше заявок.

10. При функционировании ССТС СВ ОПК может возникнуть необходимость выполнить её конверсию.

11. Срыв выполнения заданий ПВТС приводит к предъявлению заказчиком ПВН штрафных санкций и к потере бюджетом РФ финансовых ресурсов.

⁵ На рисунке 7.

12. Возможное нарушение ГПР (задержка поставки) приводит к предъявлению поставщику штрафных санкций.

13. Предоставление финансовых ресурсов для ГОЗ (ГПВ, ПВТС и ГПР) и для ЦП ОПК задаётся соответствующими графиками, ограничивающими возможность реализации мероприятий ГПВ, ПВТС, ГПР и мероприятий по модернизации СТС ОПК на соответствующих горизонтах планирования; графики могут изменяться.

С точки зрения практиков задача планирования и реализации целевых программ заключается в следующем:

Какие мероприятия должны быть включены (или исключены) в состав целевых программ (ГОЗ — следовательно — ГПВ, ПВТС, ГПР и ЦП ОПК) для того, чтобы обеспечить максимально возможную приспособленность ССТС СВ ОПК к успешному достижению цели её функционирования?

Какие результаты (эффекты) они (мероприятия ЦП) должны дать?

Когда мероприятия целевых программ должны начинаться и заканчиваться?

Сколько и каких ресурсов должно быть выделено для успешного выполнения мероприятий по конверсии, если при реализации целевых программ возникнет в этом необходимость?

Какие документы (в том числе — законодательные и другие акты) должны быть разработаны и изданы для реализации ЦП?

Задача планирования и реализации целевых программ, *с точки зрения теоретиков*, предстаёт как задача исследования ССТС СВ ОПК в условиях планирования и реализации целевых программ. Она декомпозируется на две задачи [4, 5, 94, 96–99]:

1. Задача исследования ССТС СВ ОПК в условиях «текущего планирования» целевых программ: эта задача должна ставиться и решаться до начала планируемых мероприятий целевых программ.

2. Задача исследования ССТС СВ ОПК в условиях мониторинга реализации целевых программ:

2.1. Задача фиксации состояния ССТС СВ ОПК, состояния среды ССТС СВ ОПК и состояния связи между ССТС СВ ОПК и её средой, достигнутых к назначенному моменту времени (например, с начала реализации целевых программ).

2.2. Задача исследования ССТС СВ ОПК в условиях «оперативного планирования» (перепланирования), при необходимости, мероприятий целевых программ, которые должны осуществляться из достигнутых и зафиксированных состояний: ССТС СВ ОПК, среды ССТС СВ ОПК и связи между ССТС СВ ОПК и её средой.

Отметим две особенности задачи исследования ССТС СВ ОПК в условиях планирования и реализации ЦП.

Первая особенность заключается в том, что задача 2.1 требует ответа на вопрос о том, что следует понимать под «состоянием ССТС СВ ОПК», «состоянием её среды» и «состоянием связи между ССТС СВ ОПК и её средой», чтобы, используя смысл этих понятий, во-первых, можно было на практике зафиксировать (измерить) их значения, и, во-вторых, использовать эти смыслы и значения при решении задачи 2.2.

Вторая особенность заключается в том, что задача 2.2 — это не что иное, как задача 1, но: 1) решаемая при ином «исходном» состоянии ССТС СВ ОПК, её среды и связи между ними, а именно — при том, которое зафиксировано в результате решения задачи 2.1; и 2) решаемая после начала реализации планируемой ЦП.

Так как задача 2.1 — это задача, которая должна решаться и для решения задачи 1 (текущего планирования ЦП), и для решения задачи 2.2 (оперативного планирования ЦП), и так как задача 2.2 является обобщением задачи 1, далее рассмотрим лишь постановку задачи 2.2.

Постановка задачи исследования ССТС СВ ОПК в условиях оперативного планирования ЦП на вербальном уровне её описания состоит в следующем.

Пусть:

1. *Задано* исходное состояние ССТС СВ ОПК:

1.1. *Задано* исходное состояние СТС СВ1:

- под состоянием СТС СВ1 будем понимать состояние готовности СТС СВ1 (иначе — состояние готовности элементов СТС СВ1) к тому, чтобы начать выполнение поставленной перед СТС СВ1 задачи и успешно её выполнить;

- исходное состояние СТС СВ1 — это состояние СТС СВ1 в исходный момент времени.

1.2. *Задано* исходное состояние СТС СВ2:

- под состоянием СТС СВ2 будем понимать состояние готовности СТС СВ2 (иначе — состояние готовности элементов СТС СВ2) к тому, чтобы начать выполнение поставленной перед СТС СВ2 задачи и успешно её выполнить;

- исходное состояние СТС СВ1 — это состояние СТС СВ1 в исходный момент времени.

1.3. *Задано* исходное состояние СТС ОПК.

1.4. *Задано* исходное состояние связи между СТС ОПК и СТС СВ1: связь между СТС ОПК и СТС СВ⁶ (каждая из которых — элемент ССТС СВ ОПК) — это связь между элементами одной СТС, понимаемая в вышеприведённом смысле.

1.5. *Задано* исходное состояние связи между СТС ОПК и СТС СВ2.

2. *Задано* исходное состояние среды ССТС СВ ОПК:

2.1. *Задано* исходное состояние ГПВ: под состоянием ГПВ⁷ (в некоторый момент времени) будем понимать характеристики мероприятий ГПВ, которые ещё не реализованы к указанному моменту времени.

2.1.1. *Задано* исходное состояние СПП1.

2.1.2. *Задано* исходное состояние СПП2.

2.1.3. *Задано* исходное состояние ФЦП2.

2.2. *Задано* исходное состояние ПВТС.

2.3. *Задано* исходное состояние ГПР.

2.4. *Задано* исходное состояние ЦП ОПК.

⁶ Так же, как и связь между СТС ОПК и СТС СВ2.

⁷ Так же, как и под состоянием других программ.

2.5. Задано исходное состояние ГОЗ: под состоянием ГОЗ (в некоторый момент времени) будем понимать характеристики мероприятий ГОЗ, которые ещё не реализованы к указанному моменту времени.

2.6. Заданы перечень и характеристики мероприятий по приведению:

2.6.1. СТС СВ1 в требуемое состояние готовности; заданы характеристики мероприятий по действиям СТС СВ1 из этого состояния для успешного решения поставленной задачи.

2.6.2. СТС СВ2 в требуемое состояние готовности; заданы характеристики мероприятий по действиям СТС СВ2 из этого состояния для успешного решения поставленной задачи.

2.7. Заданы заявки на изменение ГПВ, ПВТС, ГПР и ЦП ОПК:

2.7.1. Заданы заявки на изменение ГПВ:

2.7.1.1. Задана заявка СТС СВ1, содержащая перечень мероприятий, которые должны быть включены в СПП1, и перечень мероприятий, которые должны быть исключены из неё.

2.7.1.2. Задана заявка СТС СВ1, содержащая перечень мероприятий, которые должны быть включены в ФЦП12, и перечень мероприятий, которые должны быть исключены из неё.

2.7.1.3. Задана заявка СТС СВ2, содержащая перечень мероприятий, которые должны быть включены в СПП2, и перечень мероприятий, которые должны быть исключены из неё.

2.7.1.4. Задана заявка СТС СВ2, содержащая перечень мероприятий, которые должны быть включены в ФЦП12, и перечень мероприятий, которые должны быть исключены из неё.

2.7.2. Задана заявка заказчика ПВН, содержащая перечень мероприятий, которые должны быть включены в ПВТС, и перечень мероприятий, которые должны быть исключены из неё.

2.7.3. Задана заявка СТС ОПК, содержащая перечень мероприятий, которые должны быть включены в ГПР, и перечень мероприятий, которые должны быть исключены из него.

2.7.4. Задана заявка СТС ОПК, содержащая перечень мероприятий, которые должны быть включены в ЦП ОПК, и перечень мероприятий, которые должны быть исключены из неё.

3. Задано исходное состояние связи между ССТС СВ ОПК и её средой:

3.1. Задано, какие осуществляются мероприятия средой для приведения СТС СВ1 в требуемое (средой) состояние готовности к решению поставленных задач; заданы характеристики (сроки и пр.) завершения этих мероприятий.

3.2. Задано, какие осуществляются мероприятия средой для приведения СТС СВ2 в требуемое (средой) состояние готовности к решению поставленных задач; заданы характеристики (сроки и пр.) завершения этих мероприятий.

3.3. Задано, какие осуществляются мероприятия по поставке изделий (услуг) из СТС ОПК заказчику ПВН, заданы характеристики (сроки и пр.) завершения этих мероприятий.

3.4. Задано, какие осуществляются мероприятия по поставке ресурсов и услуг разных видов в СТС ОПК поставщиком ресурсов и услуг, заданы характеристики (сроки и пр.) завершения этих мероприятий.

Требуется ответить на вопросы:

1. По какому показателю следует оценивать приспособленность ССТС СВ ОПК к успешному достижению поставленных актуальных и (или) возможных целей, связанных как с решением специальных (силовых) задач, — при функционировании СТС СВ1 и СТС СВ2 — так и с решением задач по удовлетворению требований заказчика ПВН?

2. Как внесение (исключение) мероприятий в ЦП (ГОЗ — следовательно — ГПВ, ПВТС и ГПР — и ЦП ОПК), по соответствующим заявкам, и сроки их реализации влияют на приспособленность ССТС СВ ОПК к успешному достижению поставленных актуальных и (или) возможных целей, связанных как с решением специальных (силовых) задач, — при функционировании СТС СВ1 и СТС СВ2 — так и с решением задач по удовлетворению требований заказчика ПВН?

3. Какие мероприятия следует включить в ЦП (исключить из ЦП), по соответствующим заявкам, и в какие сроки они должны быть осуществлены, чтобы в результате их реализации ССТС СВ ОПК обладала максимально возможной приспособленностью к успешному достижению поставленных актуальных и (или) возможных целей, связанных как с решением специальных (силовых) задач, — при функционировании СТС СВ1 и СТС СВ2 — так и с решением задач по удовлетворению требований заказчика ПВН?

1.1.6. Потенциал СТС — предмет научного исследования: анализ особенностей концепта и денотата понятия «потенциал объекта исследований» и теоретических проблем его изучения, вызванных этими особенностями

Как видно из примеров задач, об СТС как объекте исследований в этих задачах следует судить, во-первых, выделяя присущее СТС комплексное свойство, отражающее комплекс изменяющихся функционирований СТС, в том числе — функционирований, обеспечивающих достижение целей. В частности, это функционирования СТС для смены действительной цели, для перехода от функционирования для достижения действительной цели к функционированию для достижения одной из возможных целей, её сменившей, если такая необходимость появится, это функционирования для перехода к состояниям СТС, обеспечивающим последующее функционирование по достижению изменяющихся (действительной или возможных) целей.

Во-вторых, это свойство должно отражать то, что может вызывать изменения функционирования — воздействия среды на СТС, в том числе воздействия, ведущие к смене цели с действительной на одну из возможных, возможные неблагоприятные воздействия среды на функционирование СТС и функционирования в результате таких воздействий (должно учитывать риски и их последствия).

Наконец, в-третьих, это свойство должно отражать информационные действия СТС и среды, ведущие к рассматриваемым изменениям функционирования СТС.

Особенности вводимого свойства потенциала СТС — денотата понятия, особенности его концепта и знака, понятия, близкие по смыслу к потенциалу СТС, недостатки исследования при использовании указанных понятий, анализ литературы представлены в приложении (**Приложение Н**).

Необходимо предложить концепцию исследования потенциала системы так, чтобы избежать указанных недостатков.

Свойство потенциала СТС отличается комплексностью описания действий при достижении той или иной цели деятельности с СТС, комплексностью описания отношений на границе СТС и среды в различных условиях, комплексностью описания целей использования СТС и, в результате, комплексностью описания функционирования СТС с использованием СТС, учётом информационных и неинформационных действий при функционировании СТС. За счёт систематического использования и раскрытия особенностей потенциала СТС реализуется принцип комплексного исследования функционирования СТС. Понятие потенциала введено с учётом концептуального подобия между существующими понятиями о потенциале объектов разной природы как характеристиками изменений, которые прогнозируются у объекта в той или иной точке пространства под действием какого-либо другого объекта (объектов) в другой точке. В случае потенциала системы концептуальной аналогией следует считать изменения на границе исследуемой системы и её среды. При этом субъект, использующий систему (достигающий цели), и эти цели использования находятся в среде исследуемой системы.

С помощью концепции потенциала системы представляется возможным устранить описанные недостатки и связать в единый комплекс:

1. Возможности актуализации различных целей функционирования системы из комплекса возможных целей, в зависимости от условий среды.
2. Комплекс процессов целевого функционирования (для достижения цели) и остальных процессов, обеспечивающих целевое функционирование.
3. Эффективность целевого функционирования системы для достижения каждой из возможных целей, при условии её актуализации.
4. Комплекс состояний СТС при целевых и остальных (обеспечивающих) функционированиях для достижения той или иной цели.
5. Возможные (как благоприятные, так и неблагоприятные) результаты при функционировании системы.
6. Информационные и неинформационные действия, реализуемые при функционировании СТС.
7. Информационные и неинформационные результаты при функционировании СТС.

Как следует из изложенного, задачи исследования — оценивания, анализа и синтеза — потенциала следует решать путём применения математических методов решения задач исследования потенциала, позволяющих решать задачи оценивания, анализа СТС, синтеза СТС и её функционирования по показателям потенциала, использовать современные (цифровые) информационные технологии для решения этих задач.

Указанные методы применяются к *моделям задач исследования потенциала*, при этом говорят, что задачи исследования потенциала решают «на

математических моделях». Эти математические модели, как следует из изложенных выше основных особенностей моделирования в решаемых задачах, должны:

1. Быть оперируемыми и комплексируемыми. Так, они должны позволять описывать образование комплексных эффектов из элементарных путём выполнения операций с моделями образования элементарных эффектов.

2. Быть комбинируемыми. Так, модели должны раскрывать влияние отдельных изменений в среде из множества возможных на элементарные эффекты, а затем объединение полученных результатов в возможные изменения комплексного эффекта.

3. Позволять автоматизированное построение. Так, при построении они должны позволять формализованный переход от концептуальных моделей к математическим.

4. Обеспечивать автоматизированные преобразования. Так, автоматизируемые преобразования должны обеспечиваться при внесении уточнений, доработок, изменений моделей, в том числе автоматизированно.

5. Быть приспособленными к обработке на ЭВМ. Модели должны представляться так, чтобы для их обработки на ЭВМ имелся удобный и, желательно, хорошо развитый математический и программный аппарат (инструментальные средства обработки на ЭВМ).

6. Математические модели задач исследования потенциала должны обладать необходимыми прогнозными свойствами и, для того чтобы обеспечивать комплексность моделирования, должны строиться с учётом возможных случайностей разной природы.

7. Разрабатываемые для решения задач исследования потенциала математические методы оперирования моделями должны позволить оценить, выполнить анализ, а затем синтез СТС и её функционирования с использованием разрабатываемых моделей. Эти методы должны позволить увязать в комплекс прогнозные показатели операционных свойств систем, улучшаемых при совершенствовании СТС ОПК в зависимости от тех или иных характеристик комплексов действий по совершенствованию СТС ОПК, а затем позволить перейти к методам планирования совершенствования СТС ОПК по характеристикам показателей потенциала. Чтобы такие модели и методы обладали прогностическими возможностями, они должны основываться на последовательной обработке сведений, полученных из известных физических, химических, биологических закономерностей преобразования вещества и энергии в процессе функционирования СТС ОПК, поскольку такие сведения и обладают требуемыми прогностическими возможностями.

Однако таких — обладающих указанными свойствами — концепции и методологии решения задач исследования потенциала, как и понятия о свойстве потенциала СТС, необходимого для решения задач исследования потенциала, *ещё не было предложено*. Чтобы спрогнозировать, а затем исследовать потенциал СТС, характеристики СТС ОПК и действия с её использованием должны быть исследованы с опорой на известный комплекс сведений о физических, химических, биологических и других закономерностях преобразования вещества и энергии, обладающих необходимыми прогнозными свойствами. Предполагается, что эти сведения имеются в до-

статочной мере. Совокупность указанных сведений о составе элементов СТС и возможных закономерностях связей между элементами при функционировании СТС описывается технологией функционирования СТС. Технология функционирования СТС включает ряд составляющих, в том числе — информационную технологию. Принято допущение, что технология функционирования СТС задана в качестве исходных данных, описывающих возможные способы реализации технологических операций (возможные в разных условиях состояния начала, соответствующие им в разных условиях состояния окончания) и отношения — возможные отношения, их характеристики — между возможными способами реализации ГлОп в возможных условиях. На этой основе необходимо разработать модели, обладающие указанными выше свойствами, и перейти, с их помощью, от способов взаимодействия элементов СТС, путём комплексирования проявлений эффектов, к описанию функциональных зависимостей, связывающих характеристики эффектов функционирования СТС в разных условиях, при изменяющихся — в соответствии с изменяющейся целью — требованиях к эффектам. Далее за счёт использования моделей, описывающих меры соответствия эффектов изменяющимся требованиям, следует описать функциональные зависимости, описывающие расчёты показателей потенциала СТС. Полученные функциональные модели могут быть преобразованы в программные модели, описывающие оценивание показателей с использованием вычислительной техники.

В результате будет решена задача оценивания потенциала СТС.

Затем следует выполнить анализ зависимостей потенциала СТС от характеристик СТС и её функционирования на основе использования полученных при решении задачи оценивания результатов. Это позволит решить задачу анализа потенциала СТС. На основе полученных результатов следует выполнить синтез характеристик СТС и её функционирования по показателям потенциала СТС. Это даст возможность решить задачу синтеза СТС, обладающей требуемым (лучшим) потенциалом.

Для использования понятия о потенциале СТС при преодолении недостатков, с которыми сталкивается исследователь при решении задач оценивания, анализа потенциала СТС и синтеза СТС, обладающих требуемым потенциалом, необходимо ввести такой комплекс концептов и принципов исследования потенциала СТС, чтобы этот комплекс позволил реализовать **концептуальный этап** исследования потенциала СТС (концептуализацию проблемы) со следующими результатами:

1. Научно обоснованно описать функционирование СТС с учётом возможностей воздействия среды, изменения целей при функционировании СТС и вызванных ими изменений СТС, её функционирования.

2. Перейти от практических задач исследования потенциала к концептуальным описаниям задач оценивания, анализа показателей потенциала и синтеза СТС, обладающих требуемым потенциалом.

3. Уточнить концептуальные описания задач оценивания, анализа показателей потенциала и синтеза СТС, обладающих требуемым потенциалом, так, чтобы на их основе возможно было достаточно просто породить соответствующие математические модели задач исследования потенциала.

Затем, на основе концептуального этапа исследований, следует реализовать **методологический этап исследований (методологизацию проблемы)** — так, чтобы получить следующие результаты:

1. Реализовать переход от концептуальных описаний задач оценивания, анализа показателей потенциала и синтеза СТС к математическим моделям этих задач.

2. Перейти от математических моделей задач оценивания, анализа потенциала и синтеза по показателям потенциала к математическим моделям решения соответствующих задач.

3. Решить полученные математические задачи и интерпретировать полученные результаты для практики.

При реализации концептуального этапа исследований возникают источники проблемности, связанные с тем, что необходимо ввести и увязать в комплекс:

1. Концепты возможных изменений среды СТС. При этом проблемность введения таких концептов вызвана тем, что ранее многие из указанных концептов не использовались, их связи с концептуальными моделями среды СТС и концептами возможных действий по изменению СТС, её функционирований в результате воздействий среды описаны не в полной мере. Например, изменяющиеся цели.

2. Концепты возможных изменений СТС и её функционирования в результате возможных воздействий среды при функционировании СТС. При этом проблемность введения таких концептов также вызвана тем, что ранее многие из указанных концептов не использовались, их связи с концептами действий по изменению СТС в результате воздействий среды описаны не в полной мере. Например, концепты последовательности возможных состояний и переходов в результате воздействий среды СТС, концепт «конверсия».

3. Концепты видов действий по изменению СТС в результате воздействий среды, в частности действий среды по изменению цели СТС, информационных и неинформационных действий, вызванных изменениями среды, последовательностей и зависимостей информационных и неинформационных действий от состояний в результате воздействий среды, описаны не в полной мере. При этом проблемность введения таких концептов вызвана тем, что как концепты информационных, неинформационных действий, так и концепты связей информационных и неинформационных действий, информационных и неинформационных эффектов, информационных и неинформационных состояний не введены или изучены недостаточно хорошо.

4. Концепты свойств, по которым следует судить об операционных свойствах СТС в изменяющихся условиях среды, описаны не в полной мере. При этом проблемность введения таких концептов вызывается отсутствием устоявшегося понимания того, что это за свойства, чем они вызываются и как проявляются, какими должны быть их показатели и как они должны оцениваться. Например — концепт «показатель потенциала СТС».

5. Концепты задач исследования операционных свойств СТС, характеризующих СТС в изменяющихся условиях среды. При этом проблемность введения таких концептов вызывается как отсутствием устоявшегося понимания того, что такое операционное свойство СТС в изменяющихся ус-

ловиях среды, так и отсутствием устоявшегося понимания того, что такое концептуальная модель задач (оценивания, анализа и синтеза), зачем они нужны, какие свойства требуются от концептуальной модели задачи.

Например — концепт «задача оценивания потенциала СТС». Такие концепты и связи между ними, составляющие в своей совокупности концептуальную модель проблемы, ещё не описаны или описаны недостаточно хорошо для того, чтобы решать имеющиеся практические задачи как *задачи исследования потенциала СТС*.

При реализации *методологического этапа исследований* возникают источники проблемности, связанные с разработкой, на основе концептуальной модели проблемы, математических моделей решаемых задач, методов оперирования ими и методик решения задач. Следует разработать:

1. Комплекс математических моделей, основанных на концептуальных моделях решаемых задач и позволяющих выполнить аналитическое, прогнозное оценивание показателей потенциала СТС.

Проблемность разработки таких моделей связана с новыми концептуальными моделями, которые они должны отражать, в результате чего отсутствуют необходимые для прогнозного оценивания комплексы формальных моделей, которые позволили бы оценивать показатели потенциала СТС. В связи со значительностью возможных функционирований СТС и, соответственно, числом требуемых моделей функционирований, необходимых для оценивания показателей потенциала СТС, целесообразно автоматизировать разработку моделей. Однако комплекс таких моделей, который позволял бы использовать ИТ для упрощения разработки необходимых для решения задач оценивания моделей, не создан. Не разработаны и методы решения задач оценивания потенциала СТС, информационные технологии (инструментальные средства) решения таких задач.

2. Комплекс математических моделей, основанных на концептуальных моделях решаемых задач и математических моделях задач оценивания потенциала СТС и позволяющих выполнить анализ показателей потенциала СТС. Проблемность разработки таких моделей связана с тем, что эти модели, на которых основаны модели задач анализа, — новые, учитывающие возможности изменений СТС и её функционирования в результате воздействий среды СТС при функционировании. Новизной обладает и исследуемое свойство потенциала СТС, характеризующее результаты функционирования при воздействиях среды СТС.

3. Комплекс математических моделей, включающий совокупность моделей задач оценивания потенциала СТС, задач анализа потенциала СТС и задач синтеза характеристик СТС, обладающих требуемым потенциалом.

Проблемность разработки таких моделей связана с новыми моделями, на которых основаны модели задач синтеза, с новизной исследуемого свойства потенциала СТС, со значительным числом и сложностью оцениваемых альтернатив и строящихся моделей. Создание таких моделей рассматриваемых задач — трудоёмкий процесс.

1. Комплекс методов моделирования и автоматизации моделирования, основанных на использовании концептуальных моделей решаемых задач и последовательном использовании уже построенных моделей. Проблем-

ность разработки таких методов связана с тем, что строится значительное число новых моделей, с последовательным усложнением строящихся моделей в решаемых задачах и с тем, что методы построения таких моделей ещё не созданы. Указанные методы построения моделей целесообразно автоматизировать, однако способы автоматизации построения моделей в строящихся задачах в настоящее время развиты недостаточно.

2. Комплекс методов решения задач, основанных на моделях решаемых задач и методах построения моделей, способы автоматизации использования разработанных методов. Проблемность разработки таких методов связана со сложностью и новизной решаемых задач (оценивания, анализа потенциала и синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом). Применение указанных методов решения задач целесообразно автоматизировать, однако способы такой автоматизации в настоящее время развиты недостаточно.

3. Комплекс методик решения задач, основанных на моделях решаемых задач и методах построения моделей.

Проблемность разработки таких методик связана со сложностью и новизной решаемых задач (оценивания, анализа и синтеза), новизной моделей и методов, значительным объёмом используемых данных.

1. Комплекс инструментальных средств решения задач. Проблемность разработки таких средств связана со сложностью и новизной решаемых задач (оценивания, анализа и синтеза), новизной моделей и методов и с необходимостью автоматизации использования моделей, методов и методик. Полученный комплекс моделей должен быть таким, чтобы модели задач можно было бы строить автоматизированно, а ответ на вопрос задачи можно было бы получать, решая соответствующую математическую задачу. Такое решение математической задачи может быть представлено как получение модели решения задачи на основе модели задачи. В результате за счёт оперирования моделями можно реализовать автоматизацию как построения моделей, так и получения решений задач, а следовательно, автоматизировать решение задач. Однако концепции автоматизированного моделирования СТС и процессов их функционирования, задач исследования СТС и процессов их функционирования ещё не создано. Не разработаны модели, приспособленные для автоматизированного построения при решении рассматриваемых задач, отсутствуют методы такого автоматизированного моделирования.

Для решения указанных задач строящиеся модели, методы и методики, реализуемые для решения задач инструментальные средства должны быть связаны в единый комплекс моделей задач исследования СТС.

Выполненный анализ [28, 158] свидетельствует, что имеется ряд способов автоматизации моделирования в рассматриваемых задачах. Эти способы автоматизации могут быть описаны за счёт использования свойств модели задачи как системы (моделей), аналогично тому, как способы совершенствования СТС и её функционирования были описаны ранее с использованием представления СТС (и её функционирования) как системы. Указанные способы автоматизации основываются на использовании общих элементов системы моделей и общих отношений разного вида между моделями, образующими модель задачи (в том числе отображений между такими моделями).

Опишем такие общие модели и отношения между ними, используемые при построении модели задачи и её использовании. Это общие:

1. Данные, используемые для построения моделей задач, включая решаемую (как правило, хранятся в базах данных предприятий).

2. Элементы модели задачи, описывающие элементарные действия как в различных объектах исследования разных задач, так и в среде. Такие модели (базовые модели) имеются, поскольку число природных закономерностей, на которых основано функционирование СТС, ограничено.

3. Отношения между моделями элементарных действий и исходными данными в решаемой задаче. В результате таких отношений порождаются классы элементарных моделей действий, отличающихся лишь значениями характеристик моделей (получены по исходным данным).

4. Модели, строящиеся в решаемой задаче с использованием базовых моделей. Такие модели имеются в составе, например, объекта задачи, поскольку число различных механизмов функционирования СТС ограничено. Например, общие модели формирования основных эффектов. Такие модели имеются, поскольку варианты формирования эффектов ограничены.

5. Отношения (отображения) для порождения (построения) различных частей модели решаемой задачи (различных моделей), строящихся на основе базовых моделей. Такие процедуры для порождения, например элементов объекта задачи, имеются, поскольку все модели объекта задачи, кроме моделей, описывающих проявления закономерностей в результате действий (элементарных действий), основываются на введении отношений разного вида с использованием уже построенных подмоделей. Например, эффекты одного вида имеют, как правило, один механизм своего образования и передачи.

6. Модели (как элементарные, так и другие), описывающие объекты моделирования разных задач. Такие модели имеются, поскольку число объектов исследования, задач, моделируемых действий и механизмов комбинирования результатов ограничено.

7. Отношения между моделями из моделей разных задач. Так, такие отношения имеются, например, в разных задачах исследования потенциала при использовании общих схем моделирования и решении задач, при использовании подобных моделей и методов моделирования.

Указанные способы автоматизации могут (и должны) комбинироваться для достижения лучших результатов моделирования. Такими результатами являются: получение моделей, позволяющих решить поставленную задачу (задачи), затраты времени не больше заданного на решение, затраты других ресурсов не более заданных величин. К сожалению, концепции, модели и методы автоматизированного оперирования элементами моделей задач, использующие указанные способы автоматизации моделирования, основанные на представлении модели задачи как системы, такие, что получаемые в результате модели задач позволяли бы переходить к автоматизированному решению задач исследования потенциала СТС, отсутствуют. Основные аспекты проблемности и примеры источников проблемности при исследовании потенциала СТС систематизированы на схемах (рисунок 8, рисунок 9). Примеры источников проблемности (рисунок 9) показаны по аспектам, приведённым на схеме аспектов проблемности (рисунок 8). Ис-

следование (понимаемое как решение задач оценивания, анализа потенциала СТС, обоснования характеристик СТС с использованием показателей) потенциала СТС связано с рядом источников проблемности, вызванных отсутствием необходимых элементов теории потенциала СТС, а именно: концепций, принципов — результатов концептуализации проблемы — и моделей, методов, методик и реализующих их информационных технологий — результатов методологизации проблемы.

Решаемые задачи исследования: оценивания, анализа потенциала СТС ОПК и обоснования характеристик СТС ОПК с использованием показателей потенциала — актуальные прикладные задачи, имеющие государственное значение.

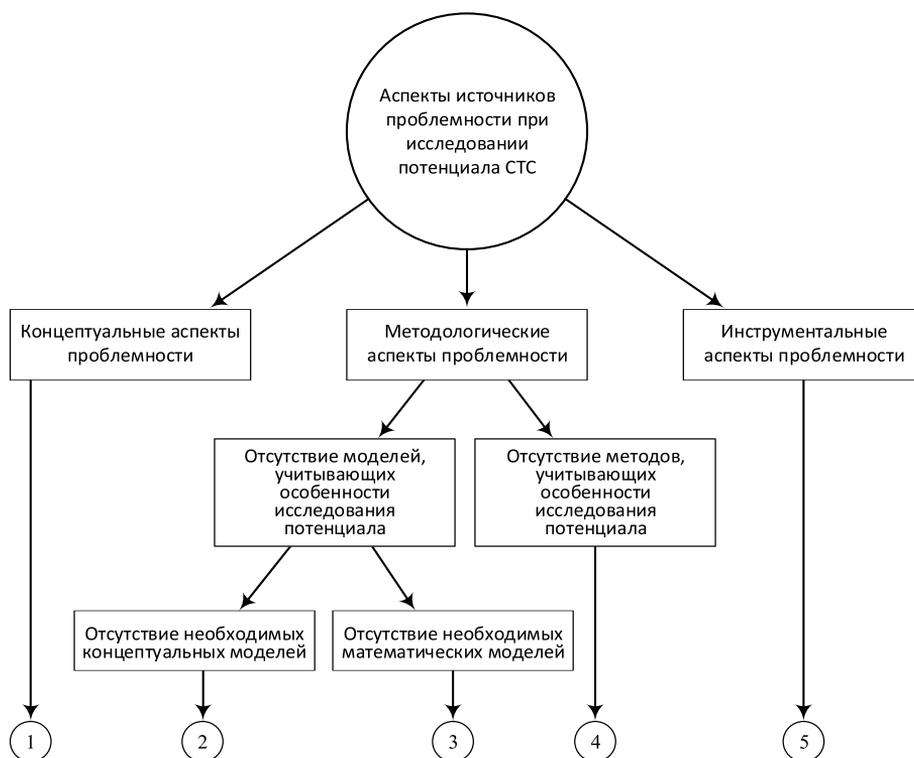


Рисунок 8. Аспекты источников проблемности при исследовании потенциала СТС

Так, федеральными органами исполнительной власти РФ ставится задача совершенствовать СТС ОПК, разрабатывать и планировать, осуществлять комплекс целевых программ совершенствования СТС ОПК.

Актуальность практических задач, которые решаются с использованием теории потенциала СТС, с одной стороны, и отсутствие или недостаточность необходимых частей теории потенциала, наличие источников проблемности при разработке указанных частей теории потенциала СТС, с другой стороны, свидетельствуют об актуальности решения научной проблемы разработки основ теории потенциала СТС.

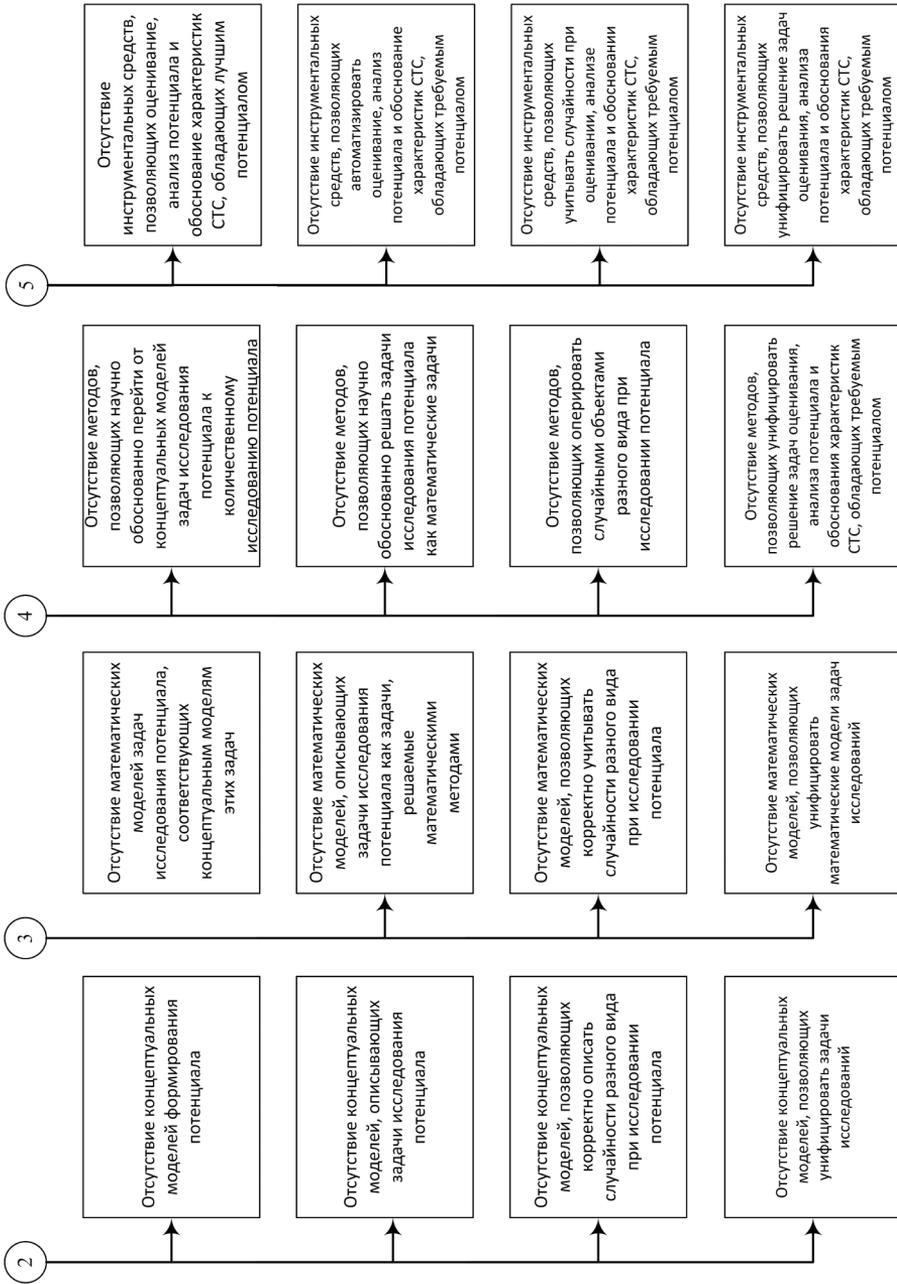


Рисунок 9. Примеры источников проблемности при исследовании потенциала СТС (по аспектам)

1.2. Постановка задач научного исследования

Задачи исследований определяются по результатам выявленных особенностей задач исследования потенциала СТС, решаемых с помощью разрабатываемой теории исследования потенциала. Условно разделим их на 4 группы.

Первая группа задач исследований — разработка основ теории потенциала в концептуальном аспекте. Концептуальная часть теории потенциала направлена на разработку концептов и принципов, а затем, на их основе, — концептуальной модели исследования потенциала. Концептуальная модель должна позволить определить потенциал СТС так, чтобы на основе введённого вербально понятия можно было перейти к вербальному описанию прогнозного оценивания показателей потенциала в зависимости от характеристик функционирования СТС, которые могут быть изменены, а затем — к вербальному описанию решения задач анализа (определения того, как будет меняться показатель потенциала при изменении характеристик) и синтеза (определения того, какие характеристики обеспечивают лучшее значение показателя потенциала). При этом следует определить свойство и показатели потенциала СТС так, чтобы концептуальная схема оценивания показателя потенциала на вербальном уровне описания обладала универсальностью и позволяла оценивать различные операционные свойства СТС и процессов их функционирования, с одной стороны, и позволяла переходить к математическому описанию от вербального — с другой.

Для этого следует разработать такой метод построения и использования концептуальной модели и такую *концептуальную схему* оценивания операционных свойств СТС и их функционирования, которые основывались бы на закономерностях проявления этих свойств и связывали концепты и принципы теории потенциала так, чтобы было возможно перейти к математическим моделям функционирования СТС в изменяющейся среде, оценить операционные свойства СТС и процессов их функционирования с использованием математических моделей, основанных на разработанной концептуальной схеме, а затем — перейти к моделям (комплексным моделям) задач анализа потенциала и синтеза СТС, обладающих требуемым потенциалом.

Закономерности, описываемые для построения требуемых концептуальных моделей, — закономерности проявления изменяющихся связей на границе СТС и среды (характеристики, зависимости характеристик), механизмы формирования таких связей — структуры, задающие зависимости — и закономерности описания соответствия результатов изменяющегося функционирования изменяющимся целям использования СТС (меры соответствия результатов требованиям).

Благодаря использованию концептуальной схемы и закономерностей исследования потенциала определяется то, какие характеристики следует изменять для того, чтобы улучшить потенциал СТС, и какие характеристики не следует изменять, какие технологические операции функционирования СТС и среды следует выделять и как, на основании чего, при исследовании следует рассчитывать показатели потенциала СТС — так, чтобы они связывали изменяемые характеристики с показателями потенциала. Затем кон-

цептуальная схема должна позволить определить детали задач исследования (оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования характеристик СТС с использованием показателей) потенциала. А именно — из каких задач состоит комплекс задач исследования потенциала и каким образом, благодаря чему и какими методами предполагается решать комплекс таких задач так, чтобы решение задач могло быть выполнено на основе научно обоснованного прогноза и по возможности с применением имеющихся средств вычислительной техники для автоматизации решения задач. Поскольку такое (на основе научно обоснованного прогноза и с использованием средств вычислительной техники) решение задач требует разработки комплекса моделей и методов их построения, должны быть определены соответствия между видами задач исследования потенциала СТС и видами моделей и методов, которые необходимо построить и использовать для решения задач, входящих в комплекс задач.

Комплекс моделей, разрабатываемых для решения комплекса задач, следует определить так, чтобы модели, строящиеся для решения одной задачи, могли быть использованы для решения других задач комплекса, при этом методы моделирования должны позволить использовать уже имеющиеся модели. При этом если построение частей модели, используя уже построенные модели, без внесения изменений в эти части моделей невозможно, то объём изменений должен быть небольшим.

Принципы моделирования и принципы использования методов решения задач должны быть сформулированы так, чтобы их систематическое применение позволило комплексно описать части СТС и среды, комплекс функционирования СТС, комплекс целей СТС, а затем описать вопросы задач исследования потенциала СТС.

Такое описание следует реализовать комплексно, как целостную модель задач исследования потенциала, систематически специфицируемую с использованием принципов методологизации. Это должно позволить систематически специфицировать модели до тех пор, пока не будет получено описание задачи, основанное на описании известных природных закономерностей и позволяющее решить задачи исследований.

При описании концептуальной модели задачи должны исследоваться все разнообразные отношения между элементами СТС при функционировании в изменяющихся условиях — так, чтобы на концептуальном уровне был вскрыт комплекс зависимостей, ведущих к формированию целей, к проявлению результатов функционирования и к достижению целей. Результатом вскрытия этих зависимостей должно стать формирование концептуальной модели, позволяющей переходить от концептуальной модели задач исследований к решению задач исследования потенциала на основе математических моделей. В итоге этап концептуализации должен завершаться построением концептуальных моделей задач исследования потенциала, таких, что на основе этих концептуальных моделей может быть в дальнейшем осуществлён переход к математическим моделям задач исследования потенциала и дальнейшее их решение как математических задач, на основе соответствующих методов решения математических задач. Это модели задач исследования в теоретико-множественной форме.

На основе использования моделей задач в теоретико-множественной форме упрощается переход к математическим моделям задач в теоретико-графовой, функциональной, программной форме и последующее решение задач формальными методами. Переход от практических задач к математическим должен быть описан концептуально так, чтобы был обоснован последующий возврат к решению практической задачи как математической. Указанный возврат заключается в интерпретации полученного как решения, математического объекта — результата решения математической задачи — как решения оригинальной (практической) задачи.

При постановке задач исследований целесообразно рассмотреть и *автоматизацию моделирования*. Эту автоматизацию предложено реализовать опираясь на представление моделей задач как комплекса моделей. В него входят комплексы моделей разных видов (одного объекта моделирования), комплексы моделей разных объектов моделирования (для одной задачи), комплексы моделей разных задач, комплексы других используемых моделей и комплексы методов построения новых моделей — моделирующих действий. В комплекс моделирующих действий входят действия: по порождению концептуальных моделей на основе имеющихся сведений; по порождению одних видов моделей с использованием других видов моделей; действий по порождению моделирующих действий. Такое комплексное представление моделей и моделирующих действий направлено на автоматизацию построения моделей решаемых задач и автоматизацию последующего использования построенных моделей при решении задач.

Разработка основ теории потенциала в концептуальном аспекте должна завершаться концептуальной постановкой задач исследования потенциала в теоретико-множественной форме. Эта постановка задач должна содержать описание задач разных видов на теоретико-множественном уровне формализации, виды необходимых моделей, описание возможных способов использования моделей, так чтобы в результате могло быть получено решение задачи.

Вторая группа задач исследований — разработка основ методологии исследования потенциала.

Методология исследования потенциала должна основываться на систематическом использовании принципов решения математических задач исследования потенциала, соответствующих практическим задачам исследования потенциала СТС. Задачу и её элементы необходимо исследовать *в отношениях с используемыми моделями*. Благодаря исследованию таких отношений возможно упрощение решения задач, повторное использование моделей — так чтобы получаемый в результате комплекс моделей стал математической моделью задачи и позволял переходить к решению этой задачи как математической. Этот способ представления задачи особенно актуален при решении задач рассматриваемого класса, поскольку при их решении необходимо учесть особенность задач исследования операционных свойств СТС, состоящую в том, что функционирование СТС и его совершенствование представляют собой, как правило, проекты — уникальные функционирования СТС, направленные на решение заданных целей. Достижение целей проектов ограничено во времени. Проекты, как правило, не повто-

ряются, — хотя бы потому, что в другое время будут другие условия среды СТС. Модель задачи тоже оказывается уникальной, а её разработка связана с большими затратами ресурсов, в том числе и времени. При необходимости учёта изменений среды и воздействий среды на изменение функционирования уникальный характер функционирования становится ещё более характерным. Однако особенность СТС состоит ещё и в том, что, несмотря на уникальность решаемых проектных задач, элементы СТС и элементы функционирования (технологические операции) не уникальны. Таким образом, благодаря комплексному исследованию проектной деятельности в СТС возможно свести совокупность уникальных задач исследования СТС в изменяющихся условиях к комплексам из типовых взаимосвязанных частей.

Затем, благодаря использованию методов моделирования — в том числе, возможно, автоматизированных методов, — следует породить модели задач, которые могут быть преобразованы в решение (т. е. решены) известным методом.

В итоге моделирование должно завершаться порождением комплексного представления задачи как вопроса по поводу деятельности — в виде математической модели задачи, такой, что полученная модель задачи позволяла бы найти решение задачи и затем интерпретировать его (вернуться от математической задачи к задаче практической).

Третья группа задач исследований — разработка технологий (в том числе информационных) и методик решения прикладных задач исследования (оценивания, анализа и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала).

С учётом особенностей этапов исследований и особенностей концептуальной, методологической, информационно-аналитической частей проблемы сформулируем *основные задачи исследований*. Они состоят в следующем:

Разработать основы теории потенциала СТС в концептуальном аспекте, в том числе:

1. Концепцию оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обеспечивающих требуемый потенциал СТС. В концепции должен быть предложен понятийный аппарат теории потенциала, основанный на понятийном аппарате теории эффективности и теории систем для учёта возможных изменений функционирования систем в результате изменений среды. Должно быть обосновано новое свойство СТС — её потенциал, характеризующий изменяемое функционирование, и описаны связи этого нового свойства с уже изученными свойствами.

2. Предложить метод разработки концепции и, на её основе, методы решения задач совершенствования СТС, функционирование которых изменяется в результате воздействий среды. Методы развивают логико-лингвистическую концепцию Г. Фреге на основе введения схем понятий. С использованием схем понятий связываются в комплекс: графы экспликации концептов понятий; графы экспликации схем понятий; графы экспликации теоретико-множественных форм понятий.

3. Комплекс моделей функционирования СТС в изменяющихся условиях, моделей среды СТС и их отношений, позволяющих реализовать оцени-

вание, анализ потенциала СТС и обоснование соответствующих проектных решений. Модели позволяют описать аналитически возможные последовательности альтернативных сетей функционирования СТС в зависимости от состояний среды, СТС и их связей.

4. Методы оценивания, анализа потенциала сложных технических систем и обоснования соответствующих проектных решений. Методы используют предложенные новые модели семейств помеченных альтернативных стохастических сетей и учитывают их особенности для упрощения решения задач.

5. Технологии и методики решения прикладных задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС. С их помощью учитываются особенности функционирования СТС в изменяющихся условиях для принятия проектных решений.

Разработать основы теории потенциала СТС в методологическом аспекте, в том числе:

1. Концептуальную модель оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обладающих требуемым потенциалом.

2. Комплекс математических моделей оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обладающих требуемым потенциалом.

3. Методы оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обладающих требуемым потенциалом.

Разработать технологии и методики оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обладающих требуемым потенциалом, в том числе:

1. Методы подготовки исходных данных, интерпретации решения задач исследования потенциала, основы методов автоматизации моделирования при решении задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обладающих требуемым потенциалом.

2. Решения практических задач на базе оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обладающих требуемым потенциалом.

3. Элементы информационных технологий и прототипы инструментальных средств для решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обладающих требуемым потенциалом.

ГЛАВА 2

ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ ОЦЕНИВАНИЯ, АНАЛИЗА ПОТЕНЦИАЛА СТС И ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОТЕНЦИАЛА СТС

2.1. Метод разработки концепции оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС

Разрабатывая теорию потенциала, необходимо сначала предложить метод разработки концепции исследования (выполнить *концептуализацию теории потенциала*). Затем, на её основе, следует разработать метод решения задач совершенствования СТС, функционирование которых изменяется в результате изменений среды (*выполнить методологизацию теории потенциала*). Это должно позволить избежать критических ошибок.

Концептуализация состоит в разработке концепции исследования потенциала. Под *исследованием потенциала* далее понимается оценивание, анализ потенциала СТС и обоснование проектных решений с использованием показателей потенциала СТС.

Концепция должна позволить ответить на вопрос — как надо исследовать потенциал СТС.

Для разработки такой концепции предложен метод концептуализации. Он основан на логико-семантической теории Г. Фреге [164] и включает 3 составляющих метода концептуализации [165–170], отвечающих на вопрос, как следует исследовать потенциал.

В эти составляющие метода концептуализации входят:

- метод вербализации проблемы исследования потенциала;
- метод графо-геометрической схематизации проблемы исследования потенциала;
- метод теоретико-множественной формализации проблемы исследования потенциала.

Эти методы как этапы научного исследования позволяют выполнить сначала вербализацию (дефиницию) — установление с помощью определений (т. е. раскрытия путём дефиниций) связей между понятием «проблема исследования потенциала» и другими понятиями. Вербализация необходима, чтобы раскрыть смысл понятия «проблема исследования потенциала». Затем, для упрощения перехода к исчислению значения раскрытого понятия, денотата в виде теоретико-множественной модели, реализуется схематизация проблемы исследования потенциала. Схематизация реализуется с использованием диаграмм и инструментальных средств представления знаний в виде диаграмм. В частности, используется представление на основе диа-

грамм Microsoft® Visio©, SemTation® SemTalk© и Mind Maps© (MindJet®, ConceptDraw®). Эти представления позволяют, в частности, представлять и обрабатывать полученные в результате схематизации схемы концептов с использованием средств оперирования знаниями, представленными в машинно-ориентированных форматах. При этом на основе семантического треугольника Г. Фреге в работе введён четырёхугольник, позволяющий без ошибок перейти от концепта к денотату. Он включает в качестве новой вершины схему понятия (диаграмму). Введённый четырёхугольник проиллюстрирован на схеме (рисунок 10).

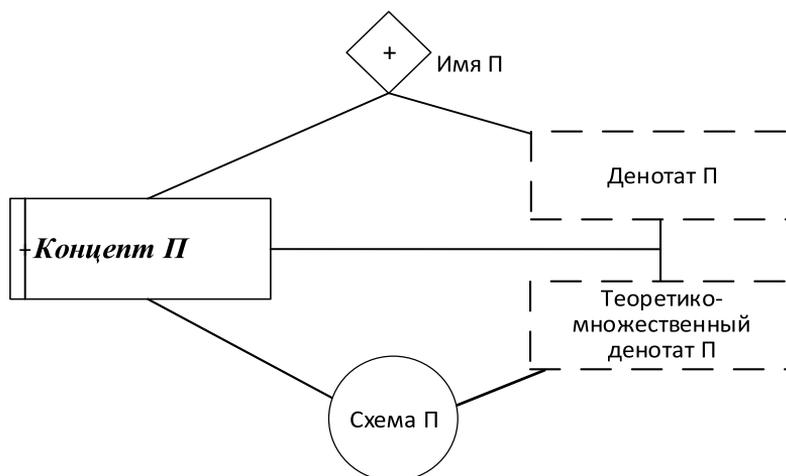


Рисунок 10. Графическая модель концептуализации понятия «четырёхугольник концептуализации понятия»

Схема денотата определяемого (данного) понятия (схема денотата понятия) — это граф (геометрический, алгебраический), описывающий связь денотата определяемого понятия и денотатов определяющих понятий, входящих в высказывание — определение данного понятия.

Порождение схем — схематизация проблемы. Результат схематизации — граф экспликации графо-геометрических схем, позволяющий проще перейти к денотату в виде теоретико-множественной модели.

Таким образом, четвёртое и заключительное понятие в четырёхугольнике — денотат. Для его порождения производится теоретико-множественная формализация проблемы.

Это реализовано третьим методом, методом теоретико-множественной формализации проблемы.

В результате строится граф теоретико-множественных форм.

Каждый из методов (метод — совокупность правил, принципов его реализации) даёт, по соответствующему результату, всего 3 результата концептуализации. Понятия делятся на виды понятий — координированные и субординированные, в соответствии с подходами И. Канта [171].

Координированные понятия — понятия, объединение которых (агрегат) задаёт понятие экстенционально (способ концептуализации в ширину).

Субординированные понятия — понятия, объединение которых задаёт понятие интенционально (способ концептуализации в глубину).

Разные виды понятий, координированные и субординированные экспликацией, — связь понятий. Эксплицирование — установление экспликации.

Используется диаграмматическая нотация для концептуализации координированных и субординированных понятий. Экспликация реализуется интенционально или экстенционально. При этом преимущество отдано интенциональному виду определения.

Принципы концептуализации проблемы обоснованы и систематизированы в приложении (**Приложение I**).

Концептуализация исследования потенциала сложных технических систем (СТС) — это действие, целью которого является концептуальная модель исследования потенциала.

Выполнение концептуализации требует разработки *метода концептуализации проблемы исследования потенциала СТС*.

Метод концептуализации исследования потенциала СТС — это теоретический метод познания, включающий ряд принципов, проясняющих способ действия, в данном случае — способ разработки концептуальной модели проблемы исследования потенциала СТС.

Метод концептуализации проблемы исследования потенциала СТС включает следующие принципы:

- 1) принцип *научности*;
- 2) принцип *праксеологичности*;
- 3) принцип *системности*.

Метод разработки моделей экспликации десигнатов понятий — это теоретический метод познания, включающий ряд принципов, проясняющих способ действия. Он включает следующие принципы.

1. Принцип *логической основательности*.
2. Принцип *необходимой ясности*.
3. Принцип *целостности*.
4. Принцип *системности*.
5. Принцип *целесообразной абстрактности*.
6. Принцип *аналитичности*.
7. Принцип *факторизованности*.
8. Принцип *идентифицированности*.
9. Принцип *полноты и неизбыточности*.
10. Принцип *примата изменчивого над стационарным*.
11. Принцип *примата функционального над нефункциональным*.
12. Принцип *примата стохастического над нестохастическим*.
13. Принцип *связности информационного и неинформационного*.
14. Принцип *примата интенционального над экстенциональным*.
15. Принцип *алгебраической направленности*.
16. Принцип *примата числового над нечисловым*.
17. Принцип *графо-геометрической определённости*.
18. Принцип *связности задач проблемы*.

Метод разработки моделей экспликации схем порождения денотатов понятий включает следующие принципы:

1. Принцип *системности*.
2. Принцип *изоморфности*.
3. Принцип *идентифицированности*.
4. Принцип *базисности*.
5. Принцип *однородности*.
6. Принцип *факторизованности*.
7. Принцип *идентифицированности*.
8. Принцип *унифицированности*.
9. Принцип *динамизированности*.
10. Принцип *дистрибутивности*.
11. Принцип *транзитивности*.
12. Принцип *консеквентности*.
13. Принцип *связности* задач проблемы.

Метод разработки моделей экспликации денотатов понятий включает следующие основные принципы:

1. Принцип *системности*.
2. Принцип *изоморфности*.
3. Принцип *идентифицированности*.
4. Принцип *базисности*.
5. Принцип *однородности*.
6. Принцип *факторизованности*.
7. Принцип *динамизированности*.
8. Принцип *алгебраической неясности*.
9. Принцип *транзитивности*.
10. Принцип *консеквентности*.
11. Принцип *примата числового над нечисловым*.
12. Принцип *математико-прикладной ориентированности*.
13. Принцип *связности* задач проблемы.

Методологизация проблемы исследования потенциала сложных технических систем — это действие, целью которого является *математическая модель* исследования потенциала как совокупность моделей трёх задач, входящих в содержание исследования потенциала. Этим задачам придана математико-прикладная форма. Кроме задач в указанной форме целью методологизации являются *методы* (а также *алгоритмы и методики*) решения указанных задач с использованием прикладной математики.

Метод перехода от логико-предикатной формы модели проблемы исследования потенциала СТС к её прикладной математической форме (то есть к прикладным математическим моделям задач, составляющих содержание проблемы) включает следующие принципы:

1. Принцип *редукции* логико-предикатной модели.
2. Принцип *декомпозиции* логико-предикатной модели «Задача...».
3. Принцип *арифметизации* логико-предикатной модели.
4. Принцип *системной композиции* математической модели «Задача...» как задачи прикладной математики.

Изложенные принципы позволят упростить преобразование концептуальной модели «Задача...» в математическую модель «Задача...», для решения которой следует разработать метод решения, основываясь на идеях прикладной математики.

В результате концептуализации с использованием разработанных принципов по окончании графо-геометрической схематизации проблемы исследования потенциала порождается графо-геометрический граф, а по окон-

чании теоретико-множественной формализации проблемы порождается концептуальная модель в виде алгебраического графа (в теоретико-множественной форме). Последнюю получают как итог концептуализации, на основе дерева экспликации теоретико-множественных форм. Схема действий и их результатов при концептуализации проблемы исследования потенциала показана ниже (рисунок 11).

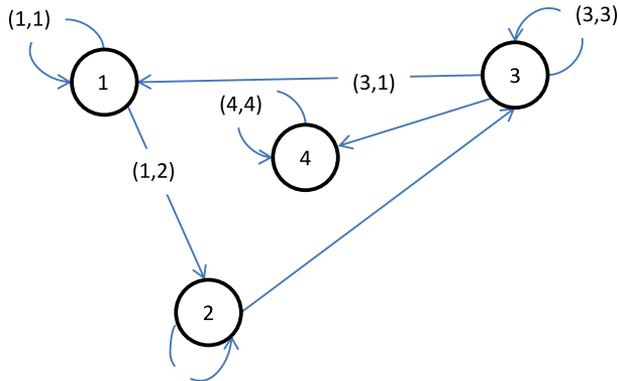


Рисунок 11. Схема действий и их результатов при концептуализации проблемы исследования потенциала

На схеме переходам соответствуют следующие действия при концептуализации:

- (1,1) — разработка графа экспликации концептов понятий;
- (2,2) — разработка графа экспликации схем порождения денотатов понятий;
- (3,3) — разработка графа экспликации денотатов понятий;
- (4,4) — прекращение разработки графов экспликации концептов, схем и денотатов понятий (остановка), формирование теоретико-множественной модели концепции исследования потенциала СТС;
- (1,2) — переход к разработке графа экспликации схем;
- (2,3) — переход к разработке графа экспликации денотатов;
- (3,1) — переход к разработке графа экспликации концептов понятий;
- (3,4) — переход к разработке теоретико-множественной модели концепции.

Метод вербализации концептов понятий проиллюстрирован схемой (рисунок 12).



Рисунок 12. Метод вербализации концептов понятий

Метод разработки графа экспликации концептов понятий проиллюстрирован схемами (рисунок 13).



Рисунок 13. Метод разработки графа экспликации концептов понятий

Метод разработки графа экспликации схем проиллюстрирован схемой (рисунок 14).

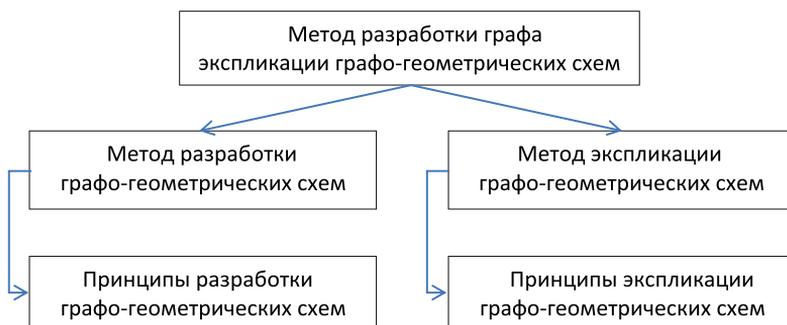


Рисунок 14. Метод разработки графа экспликации схем

Метод разработки графа экспликации теоретико-множественных форм проиллюстрирован схемой (рисунок 15).

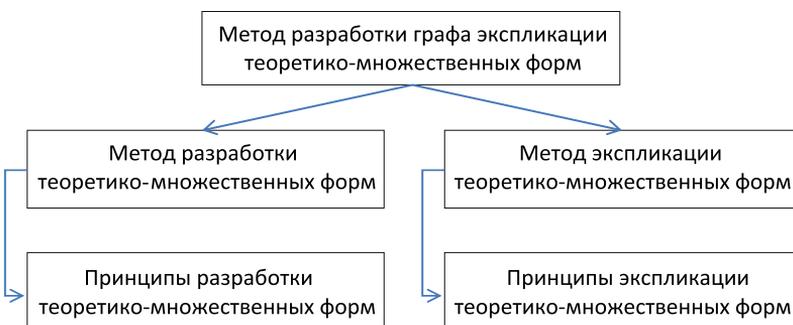


Рисунок 15. Метод разработки графа экспликации теоретико-множественных форм

Построенная концептуальная модель, в свою очередь, позволила проще перейти к методологизации исследования потенциала, а именно — к построению параметрических, функциональных и программных моделей исследования потенциала. Такие модели предложено строить на этапе методологизации путём оперирования разработанными теоретико-графовыми

концептуальными моделями. Оперирование реализуется параметризацией, функционализацией, программной спецификацией теоретико-графовых моделей.

В результате достигаются согласованные с этапом концептуализации модели, обладающие лучшими свойствами, чем если бы концептуализация реализовывалась по другим схемам.

2.2. Вербализация оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС

2.2.1. Разработка метода вербализации проблемы исследования потенциала сложных технических систем

Вербализация проблемы исследования потенциала, т. е. вербализация решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС, реализуется в соответствии с предложенными методами, с соблюдением принципов концептуализации.

Для систематизации вербализации использовано представление элементов вербальной модели на основе Mind Maps®. В результате получена вербальная модель проблемы исследования потенциала СТС в текстовом и графическом виде. Эта модель описывает то, как следует решать задачи исследования потенциала на вербальном уровне.

Пример графо-геометрического представления вербальной модели проблемы исследования потенциала СТС приведён в **приложении К**.

2.2.2. Вербальная модель проблемы исследования потенциала сложных технических систем

С использованием предложенного метода выполнена вербализация проблемы исследования потенциала сложных технических систем.

Полученная вербальная модель проблемы исследования потенциала СТС представлена в виде предметного указателя, задающего структуру определений и описания элементов указателя с использованием соответствующих определений. Результат приведён в **приложении J**.

Вербальные постановки типовых задач исследования потенциала приведены ниже.

Вербальная постановка задачи оценивания потенциала.

Дано: Технология функционирования системы в различных условиях, в том числе информационная технология функционирования системы; возможные изменения среды.

Определить: Значения показателя (показателей) потенциала СТС и определить, достаточно (достаточно) ли это (эти) значение (значения).

При: заданных планах функционирования системы в заданных возможных условиях изменения среды.

Технология функционирования системы включает совокупность сведений о том, как реализуются действия в системе: описания возможных способов выполнения операций, в том числе информационных, описание возможных состояний начала и окончания реализации операции каждым способом, описание характеристик переходов между состояниями при выполнении операций каждым способом, описание зависимостей между операциями, выполняемыми разными способами.

Вербальная постановка задачи анализа потенциала.

Дано: Технология функционирования системы, в том числе информационная технология функционирования системы; возможные изменения среды; результаты решения задач оценивания потенциала; возможные диапазоны значений переменных.

Определить: закономерности изменений значений функций, связывающих значения показателя (показателей) потенциала с заданными переменными в заданных диапазонах их значений.

При: заданных характеристиках СТС, заданных планах функционирования системы и заданных (например, в виде календарных графиков) возможных изменениях среды.

Под планом понимаются заданные, предписанные способы выполнения операций и моменты начала операций выбранными способами, а под переменными — номера возможных способов и номера возможных моментов начала операций выбранными способами.

Вербальная постановка задачи обоснования характеристик функционирования системы, обеспечивающих лучшие значения потенциала системы.

Дано: Технология функционирования системы, в том числе информационная технология функционирования системы; множество возможных значений переменных, характеризующих функционирование системы для достижения изменяющихся целей.

Найти: Решение в виде планов функционирования, обеспечивающих наилучшие значения показателя (показателей) потенциала системы.

При: заданных характеристиках системы и заданных возможных изменениях среды.

Вербальная постановка задачи обоснования проектных решений, обеспечивающих лучшие значения показателя потенциала системы.

Дано: Технология функционирования системы, в том числе информационная технология функционирования системы; множество возможных значений переменных, характеризующих проектные решения, зависимости возможных функционирований системы от характеристик проектных решений.

Найти: Проектные решения и планы функционирования системы, обеспечивающие наилучшие значения показателя (показателей) потенциала системы, совершенствуемой в результате реализации проектных решений.

При: заданных возможных проектных решениях, изменениях среды.

Фрагмент графо-геометрического представления вербальной модели проблемы исследования потенциала сложных технических систем приведён в приложении (**Приложение К**).

2.3. Теоретико-множественная формализация оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС

2.3.1. Разработка метода теоретико-множественной формализации проблемы исследования потенциала сложных технических систем

Метод теоретико-множественной формализации состоит в назначении основным концептам и отношениям схем соответствующих теоретико-множественных форм — множеств, векторов, отношений, отображений, функций — и в увязывании математических объектов таким образом, чтобы в результате теоретико-множественной формализации был получен комплекс экспликаций теоретико-множественных форм проблемы, позволяющий описать проблему так, чтобы от теоретико-множественных форм можно было перейти затем к параметрической и функциональной формализации на основе разработанных математических объектов.

Для такого перехода предложено описывать теоретико-множественные формы так, чтобы они соответствовали связанным требуемыми отношениями элементам (вершинам, дугам, рёбрам, гипердугам) разработанных схем.

Это даёт возможность перейти от теоретико-множественных форм к теоретико-графовым моделям проблемы исследования потенциала.

Формализация реализуется с использованием разработанных на этапе вербализации интеллект-карт (MindMaps) представления концептов и построенных диаграмматических моделей (результатов схематизации) проблемы исследования потенциала СТС в Microsoft® Visio© и SemTation® SemTalk©.

Указанное представление позволяет перейти к разработке концептуальных моделей в теоретико-множественной форме.

2.3.2. Разработка графо-геометрической модели экспликации денотатов проблемы исследования потенциала сложных технических систем

Для реализации теоретико-множественной формализации используется теоретико-графовая модель экспликации основных теоретико-множественных форм денотатов проблемы.

В результате основные теоретико-множественные формы связывают так, чтобы благодаря обходу графа, соответствующего указанным формам, и благодаря выполнению функциональных преобразований при выполнении обхода могли бы быть получены требуемые для решения задач оценивания, анализа и обоснования характеристик результаты.

Для упрощения теоретико-множественной формализации разработана нотация семейств альтернативных стохастических сетей операций.

Её спецификация (рисунок 16, рисунок 17) и пример (рисунок 18) приведены ниже.

1.		Элемент СТС, РМ
2.		Состояние элемента, СТС, связи
3.		Модель
4.		Цель
5.		Значение предиката
6.		Неинформационное действие
7.		Информационное действие
8.		Событие
9.		Значение отображения
10.		Точка графика отображения
11.		Элемент, который требуется рассчитать
12.		Документация
13.		Требуемое состояние

Рисунок 16. Предлагаемые элементы нотации

Связи между элементами		
1.		Ассоциация
2.		Причинно-следственная связь, отображение, последовательность, результат
3.		Использование
4.		Обмен
5.		Предназначение, долженствование, требование
6.		Композиция элементов
7.		Приспособленность
8.		Экспликация

Рисунок 17. Связи между элементами предложенной нотации

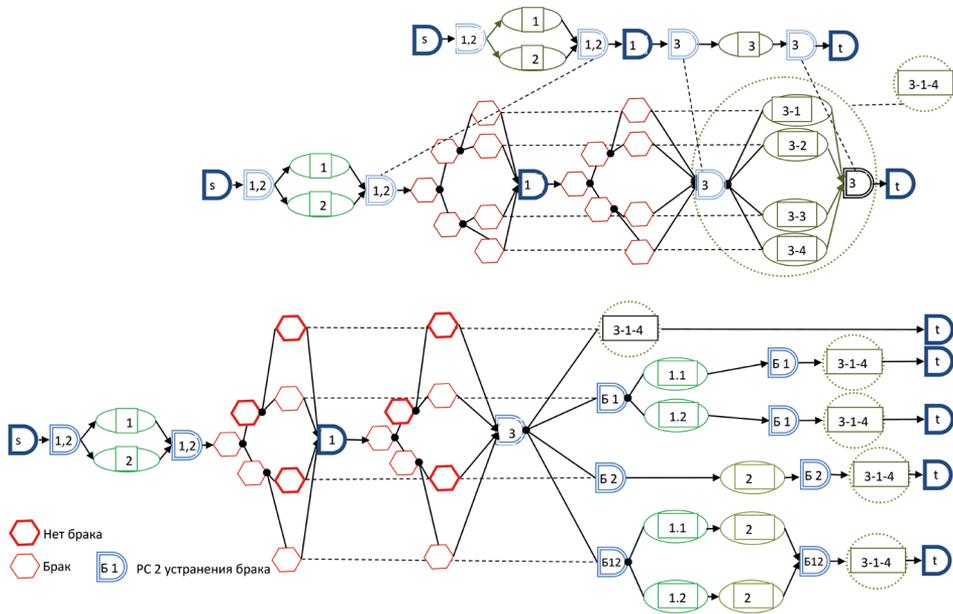


Рисунок 18. Пример использования нотации альтернативных стохастических сетей операций

На основе указанных графо-геометрических моделей затем формулируются функциональные модели семейств альтернативных стохастических сетей.

2.4. Концептуальная модель оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС в теоретико-множественной форме

Приведём основные теоретико-множественные объекты, описывающие систему и её среду и использующиеся в постановках задач:

O^S — множество элементов СТС (которое, возможно, имеет структуру с подмножествами).

O^e — множество элементов среды СТС (которое, возможно, имеет структуру с подмножествами).

$O := O^e \cup O^S$ — множество элементов СТС и элементов среды.

$M^e \subseteq O^e \times O^e$ — множество отношений (реляционная структура, граф) между элементами среды (возможно, имеющее структуру с подмножествами).

$M^S \subseteq O^S \times O^S$ — множество отношений (реляционная структура, граф) между элементами системы (возможно, имеющее структуру с подмножествами).

$C(O^e)$ — множество характеристик элементов среды (возможно, имеющее структуру подмножеств) — пометка графа, описывающего состав элементов среды.

$C(O^s)$ — множество характеристик элементов системы (возможно, имеющее структуру подмножеств) — пометка графа, описывающего состав элементов системы.

$C := C(O^s) \cup C(O^e)$ — множество характеристик элементов системы и среды.

$S^e \in \mathcal{B}(C(O^e))$ — множество возможных состояний элементов среды (возможно, имеющее структуру подмножеств).

$S^s \in \mathcal{B}(C(O^s))$ — множество возможных состояний элементов системы (возможно, имеющее структуру подмножеств).

$S := S^s \cup S^e$ — множество возможных состояний как системы, так и среды системы.

u — универсальный многомерный подиндекс (подпоследовательность целых чисел), принимающий различные многомерные переменные и константные значения для описываемых им элементов заданных им множеств.

$M := \{\tau_u\} \subseteq S \times S$ — множество возможных переходов τ_u между состояниями системы и среды (возможно, имеющее структуру подмножеств).

$A_u \subseteq M$ — результат действия системы и среды, совокупность возможных переходов τ_u в результате действия.

$A_u \subseteq M$ — множество возможных переходов в результате действий системы и среды.

I_u — описание (предписание) действия — информация о том, как действие может выполняться и какие результаты могут быть получены в результате выполнения действия при разных условиях; I_u позволяет связать вместе элементы теоретико-множественной модели для предсказания результатов функционирования и его возможных изменений.

$i_u \in I_u$ — альтернативные сведения, которые могут быть использованы для того, чтобы спланировать и затем выполнить действие A_u . Альтернативные сведения i_u могут описывать элементы, состояния, способы действий: $i_u \subseteq i_u^o, i_u^{sb}, i_u^{se}, i_u^p, i_u^a$, где i_u^o — сведения об элементах (частях рабочих мест), которые планируется использовать для реализации действия A_u .

I_u^{se} — сведения о возможных конечных состояниях в результате возможного планируемого действия A_u , i_u^{sb} — информация о начальных состояниях, которые предполагаются при реализации действия A_u .

I_u^p — сведения о планируемых инструкциях, предписаниях, описаниях реализации действия A_u .

I_u^a — сведения о возможных альтернативных способах действия, т. е. о том, какие конечные состояния могут быть реализованы после реализации запланированных предписаний (описаний, инструкций) из планируемых начальных состояний, и меры возможности таких реализаций.

$I_u \subseteq I_u^o \times I_u^{sb} \times I_u^{se} \times I_u^p \times I_u^a$, где I_u^o — сведения о возможных альтернативных элементах (частях рабочих мест), которые могут быть использованы для реализации действия A_u , I_u^{sb} — сведения о возможных альтернативных начальных состояниях реализации действия A_u , I_u^{se} — сведения о возможных альтернативных конечных состояниях действия A_u (из заданного началь-

го состояния), I_u^p — сведения об альтернативных предписаниях, инструкциях, описаниях о реализации действия A_u . I_u^a — сведения о возможных альтернативных способах действия, т. е. о том, какие конечные состояния могут быть реализованы из каких начальных состояний (какие возможны переходы τ_u из начального состояния).

$u \in U$, где U — универсальный индекс, переменный многомерный целочисленный массив, подпоследовательности которого («измерения») соответствуют универсальным многомерным подиндексам.

$a_u \subseteq A_u$ — способ действия A_u , совокупность переходов, возможных из заданного начального состояния при реализации действия A_u в соответствии с заданными инструкциями, предписаниями и описаниями из множества возможных.

$M^{as} \subseteq S^s \times S^s$ — множество возможных переходов между состояниями системы (имеющее структуру подмножеств), ассоциировано с множествами действий системы.

$M^{ae} \subseteq S^e \times S^e$ — множество возможных переходов между состояниями среды (имеющее структуру подмножеств), ассоциировано с множествами действий среды системы.

$M^{ce} \subseteq S^e \times S^s$ — множество возможных переходов между состояниями среды и состояниями системы (имеющее структуру подмножеств), ассоциировано с множествами действий среды, направленных на систему.

$M^{cs} \subseteq S^s \times S^e$ — множество возможных переходов между состояниями системы и состояниями среды (имеющее структуру подмножеств), ассоциировано с множествами действий системы, направленных на среду.

$M = a_u, M \supseteq M^{as} \cup M^{ae} \cup M^{ce} \cup M^{cs}$ — множество возможных переходов между состояниями как системы, так и среды.

$C(a_u)$ — характеристики способа действия a_u .

$C(M) := C(a_u)$ — множество характеристик способов действия (множество характеристик переходов между состояниями).

$C := C(M) \cup C(O)$ — множество характеристик способов действия и используемых в этих действиях элементов рабочих мест. $A := A_u$ — множество возможных действий (и соответствующих им способов действий).

$I_u := i_u$ — сведения о действии A_u в виде альтернатив i_u , которые могут быть запланированы для реализации.

$I := I_u$ — сведения о множестве альтернатив возможных действий, $I \supset C$.

$T := (I, I(A \times A))$ — технология деятельности — информация I о возможных альтернативах действий, способах действий и возможных альтернативах последовательностей действий, способах действий $I(A \times A)$.

Теоретико-множественная модель действия A_u определена как возможные результаты реализации альтернативных описаний i_u (отображение описаний «в действительность») $i_u: i_u \rightarrow A_u$.

$i_u^* \in I_u$ — сведения о действии, выбранном для реализации функционирования (для реализации отображения «в действительность»).

I_u^* — комплекс сведений о действиях (составе действий), выбранных для реализации при конкретном функционировании.

$A^* \subseteq I_u^*$ — множество способов действий, запланированных для реализации при конкретном функционировании.

$i_u(A^* \times A^*)$ — сведения о возможных последовательностях действий при функционировании (тех, что возможно выбрать) в условиях, когда способы действий действий зафиксированы.

$i_u^*(A^* \times A^*)$ — сведения о последовательности действий, отобранных (выбранных) для функционирования в условиях, когда способы действий зафиксированы.

$I_u(A^* \times A^*)$ — сведения о множестве возможных альтернативных последовательностей действий, которые могут быть выбраны (запланированы) для реализации при функционировании в условиях, когда способы действий A^* — и их состав — уже запланированы.

$I_u^*(A^* \times A^*)$ — сведения о множестве возможных альтернативных последовательностей действий, выбранных (запланированных) для реализации при функционировании в условиях, когда способы действий уже запланированы.

$\Pi_u^e := i_u^e(A^e \times A^e), I_u^e$ — множество возможных альтернативных планов функционирования среды, включая сведения о планируемых результатах реализации таких планов (требуемые средой на границе) $I^{er}, Pi_u^e := \pi_u^e$.

$\pi_u^e := i_u^{e*}(A^{e*} \times A^{e*}), I_u^{e*}$ — заданный календарный план действий среды, включая сведения, описывающие предполагаемые результаты реализации такого плана на границе системы и среды (требуемые средой состояния на границе), I^{er*} .

\hat{E}_u — событие, состоящее в том, что план π_u^e будет реализован и сведения о предполагаемых результатах реализации плана (состояния среды) I_u^{er*} будут получены в результате такой реализации.

I_u/\hat{E}_u — возможные последовательности i_u при условии, что событие \hat{E}_u произошло.

$\Pi_u^s := i_u^s(A^s \times A^s), I_u^s$ — возможные альтернативы календарных планов функционирования системы, включая сведения, необходимые для получения планируемых результатов (инструкции, описания) $I^{sr}, pi_u^s := \pi_u^s$.

$\pi_u^s := i_u^{s*}(A^{s*} \times A^{s*}), I_u^{s*}$ — заданный (выбранный) календарный план функционирования системы, включая сведения, необходимые для получения планируемых результатов (инструкции, описания, предписания) I^{sr*} .

\hat{A}_u — событие, состоящее в том, что календарный план π_u^s/\hat{E} функционирования системы будет реализован и сведения I^{es*} получены, при условии того, что произошло событие \hat{E} .

$\pi_u^s(\pi_u^e) := i_u(A^* \times A^*), i_u$ — календарный план функционирования системы для заданных неизменных условий среды, что привели к событию \hat{E} , $\pi_u^s \in Pi_u^s/\hat{E}$.

$T_1 \dots T_i \dots T_n$ — множество из n моментов, в которые возможно альтернирование функционирования системы.

$i = i_1 \dots i_i \dots i_n$ — множество из n альтернатив информационных операций на границе системы и среды в момент T_i ; каждая $i_i \in I_i$ ведёт к одному из возможных альтернированных функционирования системы.

$\hat{A}_i / (\hat{A}_{i-1} \dots \hat{A}_1), i = \overline{1, |I_n|}$ — последовательность условных событий, состоящих в том, что в момент T_i событие \hat{A}_i произойдёт (при условии того, что предыдущее случилось в момент $T_{i-1} \dots T_1$).

\hat{A}_{un} — событие, состоящее в том, что $\pi_u^s / (\hat{E} \cup \hat{A}_1 \dots \hat{A}_i \dots \hat{A}_n)$ будет реализован и сведения I^{es*} получены. Рассматривается при условии, что событие \hat{E} произошло и что последовательность из событий $\hat{A}_1 \dots \hat{A}_i \dots \hat{A}_n$ была реализована в моменты $T = T_1 \dots T_i \dots T_n$ соответственно.

$P(\hat{A}_u) = P(\hat{A}_1) \dots P(\hat{A}_i) \dots P(\hat{A}_n), \sum_{i=1}^{|I|} \hat{A}_i = 1; S_i^s(i, pi_u^s, \pi_u^e)$ — состояние системы в момент T_i как результат альтернативной реализации функционирования $i_i \in I_i$.

$S_i^s(i, pi_u^s, \pi_u^e) / \hat{A}_i$ — реализация состояния системы в момент T_i как результат альтернативного функционирования $i_i \in I_i$ (результат события \hat{A}_i).

$S_i^e(i, pi_u^e) / \hat{E}_i$ — реализация состояния среды в момент T_i как результат альтернативного функционирования $i_i \in I_i$ (результат события \hat{E}_{ui}).

$\hat{B}_{ui}(i, pi_u^s, \pi_u^e) / \hat{A}_i$ — событие, состоящее в том, что в результате альтернативного функционирования $i_i \in I_i$ состояние $S_i^s(i, pi_u^s, \pi_u^e) / \hat{A}_i$ будет соответствовать состоянию $S_i^e(i, pi_u^e) / \hat{A}_i$ согласно описанию \mathcal{R} такого соответствия с использованием требуемых отношений, заданное дважды неопределённым вероятностным предикатом, описывающим такое соответствие:

$$p(S_i^s, S_i^e, i_i; \mathcal{R}): P(\hat{B}_{ui}(i, \pi_u^s, \pi_u^e) / \hat{A}_{ui})) = Poss(p(S_i^s, S_i^e, i_i; \mathcal{R})). \quad (1)$$

2.4.1. Теоретико-множественная модель исходных данных и их получения

Исходные сведения делятся на несколько видов, каждый из которых обладает своими особенностями. O, C — множества, задающие сведения о составе и характеристиках системы и среды. Могут быть получены из описаний, баз данных, формуляров, другой технической документации и баз данных, содержащих сведения из документации $Dc := Dc(\mathcal{K})$ с использованием концептуальной модели задачи \mathcal{K} . Получение сведений может быть описано отображением $Dc(Dc) = \langle O, C \rangle$. Реализация Dc может быть выполнена, например, с использованием запросов к базам данных и log-файлам ERP и подобных систем автоматизации производственных процессов («Data Mining» и «Text Mining»), цифровизацией документации и обработкой результатов такой цифровизации на основе концептуальной модели \mathcal{K} .

S, M — множества, описывающие возможные состояния рабочих мест и переходы между ними в различных условиях. Указанные состояния и переходы могут быть получены из инструкций, баз данных, содержащих сведения о возможных изменениях, из log-файлов различных систем автоматизации, содержащих сведения о возможных изменениях Pr . Получение сведений реализуется на основе концептуальной модели \mathcal{K} и может быть описано отображением $\langle S, M \geq Pr(\mathcal{K}, Pr) \rangle$. Pr реализуется, например, методами «Process Mining», цифровизацией инструкций и предписаний.

T — множество, определяемое исходя из допущений моделирования.

Задаётся (T) исходя из соображений компромисса между точностью и ресурсоёмкостью моделирования.

$\Pi^e, \Pi^s(\pi^e)$ — множества возможных планов, задаваемые технологией \mathcal{T} функционирования системы и среды. Строятся на основе реализации отображения $\mathcal{P} := \mathcal{P}(\mathcal{K}); \mathcal{P}: \mathcal{T} \xrightarrow{\mathcal{P}} \Pi^e, \Pi^s(\pi^e)$. U — множество индексов, задаваемое при построении моделей функционирования системы с использованием отображения $\mathcal{M}o(\mathcal{K})$ порождения формальной модели (с использованием для такого порождения концептуальной модели \mathcal{K}). Отображение сопоставляет O, C, S, M, T модели функционирования системы в различных условиях среды: $\mathcal{M}o(\mathcal{K}): O \times C \times S \times M \times T \xrightarrow{\mathcal{M}o} \mathcal{M}^s, \mathcal{M}^e$. U отражает структуру построенных моделей за счёт нумерации — отображения во множества последовательностей целых чисел — совокупностей элементов моделей — подиндексами $u \in U: \exists f_u := \mathbf{m} \xrightarrow{f_u} \mathbb{N} \times \dots \times \mathbb{N}, \mathbf{m} \in \mathcal{M}^s, \mathcal{M}^e$. Отображения $\mathbb{O} = f_u$ реализуются обходами теоретико-графовых моделей.

Совокупность $D(\mathcal{K}) := Dc(\mathcal{K}), Pr(\mathcal{K}), \mathcal{M}o(\mathcal{K}), \mathbb{O}(\mathcal{K})$ указанных отображений задаёт комплексное отображение подготовки исходных данных для решения задач. На этапе сбора и подготовки данных номера U заданы частично, поскольку теоретико-графовые модели построены не полностью. Дополнительные номера элементов могут возникать и в результате введения новых элементов моделей, например — требуемых для хранения промежуточных результатов расчётов или для систематизации обходов. Эти элементы — и соответствующие номера — добавляют к U , формируя охватывающие индексы $Y \supset U$ на этапах построения параметрических и функциональных теоретико-графовых, а затем и программных моделей.

2.4.2. Теоретико-множественная модель системы

Теоретико-множественная модель функционирования системы согласно плану π_u^s/\hat{E}_i в заданных условиях функционирования среды в результате функционирования среды согласно календарному плану π_u^e — кортеж:

$$\mathcal{M}^{\#u}(\pi_u) = \langle T, U, i_u, I_u^{er*}, p_i^s(\pi_u^e),$$

$$O(p_i^s), C(p_i^s), S(p_i^s), M(p_i^s) \rangle.$$

Эта модель позволяет оценить эффективность (условную эффективность) $w(I_u^{er*}/\hat{E}_u) \cup (\hat{A}_u)$ функционирования системы в заданных условиях I_u^{er*} (т. е. при условии наступления \hat{E}_u и \hat{A}_u), в предположении, что события $\hat{E}_{ui}, \hat{A}_{ui}$ и \hat{B}_{ui} зависят функционально (крайний случай условной зависимости):

$$w(u) = P(\hat{B}/(\hat{A} \cap \hat{E})) = \prod_{i=1}^{i=|I_u|} P(\hat{E}_{ui})P(\hat{A}_{ui})P(\hat{B}_{ui}); \quad (2)$$

где универсальный подиндекс u пробегает подпоследовательность переменных значений подиндекса — измерение, которое соответствует — комплексной, вложенной — ветви дерева последовательностей возможных состояний при функционировании. Дерево последовательностей состояний при функционировании строится на этапе построения теоретико-графовых моделей. Значение $w(u)$ — это вероятностная мера, которая может прини-

мать значения из интервала $[0,1]$. Она представляет собой условную вероятность эффективного функционирования при условии заданных событий (из конечного множества возможных событий), что такое функционирование актуализировано (функционирование с заданной изменяющейся целью, в заданных условиях воздействия среды, с заданными сведениями о реализации функционирования) и будет реализовано.

Теоретико-множественная модель функционирования системы согласно возможным планам Π_u^s/\hat{E}_{ui} в заданных условиях функционирования среды, сложившихся благодаря функционированию среды по календарному плану функционирования среды π_u^e , — кортеж \mathcal{M}^{sf} :

$$\mathcal{M}^{sf}(\Pi_u^s) = \langle T, U, i_u, I_u^{er*}, Pi_u^s(pi_u^e), \\ O(pi_u^s), C(pi_u^s), S(pi_u^s), M(pi_u^s); pi_u^s \in \Pi_u^s \rangle.$$

Эта модель позволяет оценить многомерную случайную величину вероятности сложного события $\hat{\omega}$:

$$\hat{\omega}(\hat{E}_{ui}) = \{(P(\hat{A}_u), \prod_{i=1}^{i=|u|} P(\hat{E}_{ui})P(\hat{B}_{ui}), I_u^{er*} = \overline{1, |u|}\}, \quad (3)$$

которая описывает вероятность $P(\hat{B}_{ui}/((\hat{E}_{ui}) \cup (\hat{A}_u)))$ в различных альтернативных условиях (в условиях реализации событий \hat{E}_{ui} и с учётом вероятностей $P(\hat{A}_u)$ различных альтернатив). Это — случайная (дискретная) величина вероятностной меры в различных условиях (которых конечное число). Значения этой переменной соответствуют комплексу переменных с подиндексами u — для различных альтернатив событий \hat{A}_u , но для одного заданного события \hat{E}_u . Указанные значения подиндекса описываются далее теоретико-графовой моделью в виде совокупности ветвей дерева состояний, соответствующих одному событию \hat{E}_u , но при этом — разным \hat{A}_u . Такие ветви образуют поддереву, номера веток которого и входят в используемый подиндекс u , т. е. детали нумераций описываются теоретико-графовой моделью.

Модель реализует отображение $\mathbb{O} := O \times C \times S \times M \times T \xrightarrow{\mathbb{O}} \hat{\Omega}$. Особенности расчёта значений отображения описываются функциональной моделью системы.

2.4.3. Теоретико-множественная модель среды

Модель \mathcal{M}^e среды описывает различные альтернативные события \hat{E}_{ui} в среде, проявляющиеся при её функционировании на границе с системой согласно различным альтернативным планам $\pi_u^e \in Pi_u^e$ в моменты $T_i \in T$:

$$\mathcal{M}^e := \langle T, U, \hat{E}_{ui} \in E_u, \hat{F}^e(\pi_u^e), pi_u^e \in \Pi_u^e \rangle.$$

Альтернативные события \hat{E}_u ведут к разным требуемым средой состояниям $\hat{S}_u^e := \langle S_{ui}^e \rangle$. Эти состояния — результат отображения $\hat{\mathcal{O}}^e(\pi_u^e): \pi_u^e \xrightarrow{\hat{\mathcal{O}}^e} \hat{S}_u^e$ календарного плана функционирования среды в возможные последовательности комплексных состояний $\hat{S}_{ui}^e = \hat{s}_{ui}^e$, требуемых средой в различные моменты времени её функционирования.

Моменты $T_i \in T$: предполагаются неслучайными и тождественными. Отображение O^e календарного плана в состояния среды реализуется с использованием теоретико-графовой модели состояний при реализации календарного плана функционирования среды. Эта модель описывает отображение \hat{O}^e как конечное множество точек графика дискретного случайного отображения. Каждая точка графика описывается мерой возможности и вектором характеристик, задающих требуемые состояния. Далее предполагается, что календарный план задан в виде упорядоченной последовательности действий в среде.

В результате теоретико-множественная модель функционирования системы в соответствии с множеством планов Π_u^s , реализуемых в различных альтернативных условиях S_u^e среды, описанных \mathcal{M}^e , — это кортеж $\mathcal{M}^{sef}(\mathcal{M}^e)$:

$$\mathcal{M}^{sef}(\mathcal{M}^e) = \langle T, U, i_u, I_u^{er*}, P i_u^s(p i_u^e), \{O(p i_u^s), C(p i_u^s), S(p i_u^s), M(p i_u^s); p i_u^s \in \Pi_u^s, p i_u^e \in \Pi_u^e\} \rangle.$$

Эта модель позволяет оценить многомерную вероятностную меру Ω :

$$\hat{\Omega} := \{(P(\hat{A}_u), P(\hat{E}_u), \prod_{i=1}^{i=|U|} P(\hat{B}_{ui}), I_u^{er*} = \overline{1, |U|}\}, \quad (4)$$

где подиндексы пробегают (как переменные) элементы $p i_u^e \in \Pi_u^e$ и возможные последовательности состояний, реализуемых при функционировании, — подиндексы $u \in \hat{A}_{ui}$. При оценивании потенциала подиндексы пробегают подмножество «измерений» U , задающих последовательности состояний и причинно-следственных связей между ними. Задание множества таких последовательностей в зависимости от исходных данных — задача теоретико-графовых моделей.

Теоретико-множественная модель функционирования системы в различные моменты $T_u \in T$ согласно множеству планов Π_u^s , используемых в различных условиях \hat{E}_{ui} среды, из-за функционирования среды в соответствии с альтернативными календарными планами $\pi_u^e \in P i_u^e$ — кортеж $\mathcal{M}^{seft}(T_u)$:

$$\mathcal{M}^{seft}(T_u) = \langle U, \{T_u, i_u, I_u^{er*}, P i_u^s(p i_u^e), O(p i_u^s), C(p i_u^s), S(p i_u^s), M(p i_u^s); p i_u^s \in \Pi_u^s, p i_u^e \in \Pi_u^e\} \rangle.$$

Эта модель позволяет рассчитать многомерную вероятностную меру $\hat{\Omega}(T_u)$:

$$\hat{\Omega}(T_u) := \{(P(\hat{A}_u), P(\hat{E}_u), P(\hat{B}_{ui}), I_u^{er*} = \overline{1, |U|}, T_u = \overline{1, |U|}\}, \quad (5)$$

где подиндексы пробегают разные конечные множества (измерения), описывающие величины T_u , $p i_u^e \in \Pi_u^e$ и возможные u в последовательностях событий \hat{A}_{ui} , т. е. для возможных измерений комплексного индекса U , который соответствует (индексирует) возможным значениям многомерной вероятностной меры по разным измерениям, описывающим разные возможные воздействия среды и изменения этих условий в разное время.

2.5. Математические постановки задач исследования потенциала в теоретико-множественной форме

2.5.1. Постановка задачи оценивания потенциала в теоретико-множественной форме

Постановка задачи в теоретико-множественной форме связывает значения показателей в общем виде с заданными сведениями и переменными благодаря использованию теоретико-множественных конструкций (множеств, предикатов, отображений) без указания конкретных характеристик зависимостей и значений параметров. Кроме того, в общей форме постановки задач не указываются значения параметров и индексов.

Дано: $O, C, S, M, T, U, \Pi^e, \Pi^s(\pi^e)$.

Найти:

$$\hat{O}^s(\pi_u^s, \pi_u^e), \hat{\Omega}(T, \Pi^s, \Pi^e; O, C, S, M), C(\hat{\Omega}(T, \Pi^s, \Pi^e; O, C, S, M)), \quad (6)$$

где $\hat{\Omega}$ — многомерная вероятностная мера (многомерная случайная дискретная величина значений вероятностной или возможностной меры в различных условиях). Многомерная мера определена на измерениях (подиндексах) $u \in U$, заданных для разных условий и O, C, S, M , и значений $T_i \in T, \Pi^s, \Pi^e$. Подиндексы — переменные целочисленные значения, описывающие возможные результаты функционирования в разных условиях. Эти значения заданы для последовательностей возможных состояний системы и её среды в разных условиях. Они задаются отображением $\hat{S}_u^s = \hat{O}^s(\pi_u^s, \pi_u^e)(<\pi_u^s, \pi_u^e>)$, где $\hat{S}_u^s = \hat{S}_{ui}^s$ — множество комплексных состояний \hat{S}_{ui}^s системы, реализуемых ей на границе системы и среды при функционировании в моменты $T_i \in T$. Значения многомерной вероятностной меры задаются как значения дважды неопределённых вероятностных предикатов согласно выражению 1 в координатах измерений, задаваемых подиндексами u . Предикаты формируют значения вероятностной меры 2, 3, 4 и 5. $C(\hat{\Omega}(T; O, C, S, M))$ — значение одной из характеристик многомерной вероятностной меры $\hat{\Omega}(T; O, C, S, M)$, например момент или другие характеристики распределения $\hat{\Omega}(T)$. $C(\hat{\Omega}(T; O, C, S, M))$ — множество характеристик. Например, если $C(\hat{\Omega}(T)) \in C(\hat{\Omega}(T; O, C, S, M))$ — это математическое ожидание $\hat{\Omega}(T)$, то

$$\psi(O, C, S, M) := \sum_{i=1}^{i=l_u, u} \prod_{i=1}^{i=|l_u|} P(\hat{E}_{ui})P(\hat{A}_{ui})P(\hat{B}_{ui}) \quad (7)$$

представляет собой скалярный показатель потенциала, вероятностную меру, заданную на интервале $[0, 1]$. Значение индикатора зависит от O, C, S, M как от параметров и от планов $<\pi_u^s, \pi_u^e>$ и затем от значений \hat{O}^s .

Задача оценивания может быть представлена как реализация композиций отображений $\Phi(\mathcal{K}) \circ D(\mathcal{K})$.

2.5.2. Постановка задачи анализа в теоретико-множественной форме

Дано: $O \in O, C \in C, S \in S, M \in M, T, U, P^e, P^s(\pi^e)$.

Найти:

$$\delta(O, C, S, M, T) = \widehat{\Omega}(T; O, C, S, M) - \widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y),$$

$$F_y \left(\widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y) \right), \quad (8)$$

где $\widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y)$ — «расчётная» многомерная вероятностная мера (многомерная случайная дискретная величина значений вероятностной меры в случайных условиях разного вида), полученная в соответствии с функцией F_y . Мера задаётся с использованием подиндексов $u \supset u \in U$. Эти подиндексы O_y, C_y, S_y, M_y порождены как дополнительные «измерения» по координатам $u \in Y$, полученные как соответствующие — дополнительные к u — переменные-подиндексы, описывающие переменные T, P^s, P^e значения дважды неопределённых вероятностных предикатов согласно выражению 1 в координатах, изначально заданных для u . Значения предикатов формируют значения в структуре многомерных вероятностных мер в соответствии с выражениями 2, 3, 4 и 5.

$\delta(O, C, S, M, T)$ описывает конечные разности вероятностных мер по дополнительным координатам u в сравнении с u . Эти координаты соответствуют возможным значениям переменных O, C, S, M, T .

$F_y \left(\widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y) \right)$ — функция аппроксимации.

Если $O_\psi(\Omega, D, \mathcal{K})$ — операция нахождения функции аппроксимации, то задача анализа может быть представлена как реализация композиций отображений $O_\psi(\mathcal{K}) \circ O(\mathcal{K}) \circ D(\mathcal{K})$.

2.5.3. Постановка задачи обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС

Дано: $O, C, S, M, T, Y \supset U, P^e, P^s(\pi^e, O, C, S, M)$.

Найти: $\langle O^* \in O, C^* \in C, S^* \in S, M^* \in M \rangle$:

$$\langle O^*, C^*, S^*, M^* \rangle \geq \underset{y \in Y}{argmax} \widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y), \quad (9)$$

где $\langle O^*, C^*, S^*, M^* \rangle$ — вектор оптимальных значений, взятых из множества альтернатив $\mathcal{A} = \mathcal{A}_y; u \in Y \subseteq O \times C \times S \times M; u \in Y$ — «измерения», соответствующие возможным сочетаниям O, C, S, M ; $\widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y)$ — многомерная вероятностная мера, определённая на измерениях $u \supset u \in U$ для O_y, C_y, S_y, M_y — дополнительных измерений координат по $u \in Y$ как соответствующих, дополнительных к u , переменных координат, и T, P^s, P^e — значений дважды неопределённых вероятностных предикатов.

Предикаты формируют структуру вероятностных мер согласно выражениям 2, 3, 4 и 5.

Если $\mathcal{F}_w(\mathcal{A}, Cr, \Omega, D, \mathcal{K})$ — операция нахождения элемента (элементов) \mathcal{A} , удовлетворяющего критерию Cr , то задача анализа может быть представлена как реализация композиций отображений $\mathcal{F}_w(\mathcal{A}, Cr, \mathcal{K}) \circ O(\mathcal{K}) \circ D(\mathcal{K})$.

2.5.4. Постановка задачи оценивания результативности использования информационных технологий

Рассмотрим типичную задачу исследования результативности использования информационных технологий. Решение такой задачи требует оценивания эффектов цифровизации. Их предлагается оценивать на основе исследования потенциала системы, в которой используются ИТ. А именно — в зависимости от используемой ИТ (I_1, I_0) при условии имеющихся данных $D := \langle O, C, S, M, T, U, \Pi^e, \Pi^s(\pi^e) \rangle$ о функционировании в изменяющихся условиях эффекты функционирования и потенциал системы будут отличаться, поскольку система будет реагировать на изменения и воздействия среды по-разному. В общем случае $D(I_0) \neq D(I_1)$, и постановка задачи исследования результативности использования ИТ может быть сформулирована на основе исследования потенциала системы:

Дано: $D(I_0), D(I_1)$.

Найти:

$$\begin{aligned} \widehat{\Omega}(I_0, T, \Pi^s, \Pi^e; D(I_0)), C(I_0) &:= C(\widehat{\Omega}(T, I_0, \Pi^s, \Pi^e; D(I_0))), \\ \widehat{\Omega}(I_1, T, \Pi^s, \Pi^e; D(I_1)), C(I_1) &:= C(\widehat{\Omega}(T, I_1, \Pi^s, \Pi^e; D(I_1))), \\ \Psi(I_0, I_1, T, D(I_0), D(I_1)) &:= C(I_1) - C(I_0), \end{aligned} \quad (10)$$

где $C(\widehat{\Omega}(T; O, C, S, M))$ — моменты многомерной случайной величины вероятностной меры соответствия в разных условиях $\widehat{\Omega}(T; O, C, S, M)$ и другие характеристики (квантили, параметры) распределения $\widehat{\Omega}(T)$. Если, например, используется математическое ожидание согласно уравнению 11, т. е. ψ , то

$$\Psi(I_0, I_1) := \psi^* := \psi(I_1) - \psi(I_0) \quad (11)$$

скалярный показатель ψ^* , мера, принимающая значение в $[-1, 1]$.

2.5.5. Постановка задачи обоснования характеристик ИТ, обладающей лучшим потенциалом

Дано: $I_0, I_i \in I, D := D(I_i)$, где I_0, I_i — множества характеристик базовой и возможных ИТ соответственно.

Найти: лучшие значения характеристик $I^* \in I$:

$$I^* = \arg \max_{i \in I} \widehat{\Psi}(I_i, I_0). \quad (12)$$

ГЛАВА 3

ОСНОВЫ МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНИВАНИЯ, АНАЛИЗА ПОТЕНЦИАЛА СТС И ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОТЕНЦИАЛА СТС

3.1. Разработка формальных моделей СТС и её среды

3.1.1. Методы разработки формальных моделей СТС и её среды

Основы методологии оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС (исследования потенциала СТС) включают модели, методы, методики и технологии, позволяющие успешно решать задачи оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений. Для разработки этих моделей, методов, методик и технологий предложена концепция методологизации проблемы исследования потенциала и методы методологизации.

Концепция методологизации включает совокупность концептов и принципов разработки моделей и методов (методологизации), требования к моделям и методам моделирования в задачах исследования потенциала СТС, к методам решения сформулированных в результате моделирования задач исследования.

Разработанные основы методологии включают методы разработки теоретико-графовых, теоретико-графовых помеченных, функциональных и программных моделей СТС и среды СТС, отношений на границе СТС и среды.

Основные принципы методологизации

Принцип теоретико-графовой схематизации моделирования состоит в том, что основой для применения методов моделирования являются концептуальные модели и схемы, задаваемые в виде диаграмм (при концептуальном моделировании). Создаваемые на этапе методологизации помеченные конечные графы представляют собой реализацию концептуальных моделей и схем, порождённую так, чтобы теоретико-графовая модель соответствовала концептуальной модели.

Такое соответствие, с одной стороны, имеет вид отношения абстракции с концептуальной моделью [172] и, с другой, отношения соответствия между метамоделью графа и его реализацией. Под моделью понимается «абстракция реальности в соответствии с какой-либо концептуализацией» [173].

Затем на основе теоретико-графовых моделей создаются параметрические, функциональные и программные модели. При этом такое создание носит характер ассоциирования новых элементов моделей с уже построенными, в соответствии с ограничениями концептуальной модели.

Использование этого принципа основывается на последовательном порождении моделей от диаграммных и теоретико-графовых к помеченным теоретико-графовым моделям, а затем к функциональным теоретико-графовым моделям и программным моделям. Теоретико-графовые модели при этом являются основой для корректной реализации отображений между моделями, поскольку отображения между моделями реализуются благодаря ассоциации с элементами теоретико-графовых моделей, а затем путём взаимно однозначного отображения их в структуры данных.

Принцип комплексного моделирования СТС, среды и отношений на их границе. Этот принцип состоит в том, что для исследования потенциала следует построить комплексные модели, описывающие изменения СТС, её функционирования от изменений среды.

Так, теоретико-графовые модели (ТГМ) включают модели отношений СТС и изменяющейся среды, модели функционирования СТС в изменяющейся среде, модели соответствия на границе СТС и изменяющейся среды СТС.

ТГМ отношений СТС и изменяющейся среды включают модели элементов СТС, рабочих мест СТС для возможных сечений функционирования, структур СТС в изменяющейся среде при условии реализации тех или иных сечений функционирования.

ТГМ функционирования СТС в изменяющейся среде включают модели технологических операционных примитивов, технологических операций, симплексов технологических (информационных и неинформационных) операций при функционировании СТС в изменяющейся среде.

ТГМ функционирования строятся на основе моделей ОП как элементарных моделей, путём построения из них комплексных моделей на основе рассмотрения возможных отношений между моделями при композиции одних графовых моделей из других.

Соответственно, ТГМ строятся путём последовательной реализации моделирующих действий — построений расширенных графовых моделей. Они строятся на основе описания видов возможных отношений и их последующего использования для получения теоретико-графовых моделей. Затем они же используются для порождения функциональных и программных моделей.

Подмодели компонируются при порождении комплексных моделей с использованием указанных отношений.

Принцип систематизации моделирования в задаче оценивания потенциала с целью получения мер соответствий прогнозируемых эффектов требуемым на границе СТС и среды. Этот принцип состоит в том, что для оценивания потенциала модели последовательно строятся (композируются) с использованием элементарных моделей для того, чтобы получить комплексные модели [11] соответствия на границе СТС и среды и затем рассчитать меры соответствия. Эти меры и являются основой для расчёта потенциала СТС.

При моделировании задана технология функционирования СТС, описано функционирование среды СТС, её взаимодействие с СТС. Указанные сведения представлены с использованием операционных примитивов.

На основе заданных операционных примитивов функционирования среды СТС строятся сценарии функционирования среды СТС и на их основе

порождаются возможные последовательности изменяющихся целей (требуемых состояний на границе СТС и среды) — сценариев функционирования на границе СТС и среды.

С использованием сценариев функционирования на границе СТС и среды порождают календарные планы функционирования на границе СТС и среды.

Сценарии функционирования на границе СТС и среды описывают помеченными теоретико-графовыми моделями в виде деревьев.

Результат моделирования функционирования среды — последовательность требуемых состояний, т. е. требований к эффектам функционирования СТС в заданные моменты времени (к заданным моментам времени) предъявления требований и меры возможности предъявления таких требований в эти моменты (к этим моментам).

Результат моделирования функционирования СТС — последовательность прогнозируемых состояний СТС в заданные моменты (к заданным моментам) предъявления требований, в соответствии с заданной реализацией КП ФГС.

Наличие моделей прогнозируемых состояний в заданные моменты времени и соответствующих им требуемых средой состояний в эти же моменты даёт возможность породить модель соответствия состояний, затем — показателя потенциала, а затем модели задач оценивания, анализа потенциала СТС и синтеза по показателю потенциала.

Принцип аппроксимации при моделировании. Этот принцип состоит в том, что при моделировании принимается ряд допущений, позволяющих упростить разработку моделей. В результате полученные модели описывают объекты моделирования приближенно.

Основные допущения моделирования:

Среда предполагается индифферентной.

Изменения моделируются в дискретном времени.

Вероятность понимается в байесовском смысле.

Потенциал рассчитывается согласно функциональной парадигме исследования систем — на основе расчёта характеристик возможных последовательностей сетей технологических операций, которые считаются известными.

Законы распределения случайных величин задаются границами.

Функционирование предполагается проектным, управление — организационным.

Для уменьшения размерности используется агрегирование операций.

Например, аппроксимирующая модель реализации календарного плана (КП) — модель, описывающая реализацию КП на основе принятых допущений агрегирования реализации КП.

Исходное состояние перед началом выполнения ТНМО проверяется ТМО-1 и достигается, если удовлетворены ограничения по потребляемым ресурсам в момент проверки.

Состояние в результате выполнения ТНМО может быть отнесено лишь к состояниям, характеризующимся наличием (отсутствием) ошибок ложного забракования (А) и пропуска брака (В).

При выявлении ошибки реализуется (дополнительная) ТлОп устранения ошибки, в результате которой ошибка устраняется.

Редуцированные симплексы получают, передают и обрабатывают сведения о состояниях, но не диагностируют состояния отдельных РМ. В результате таких РС, в зависимости от проверенных (переданных) состояний, могут быть выполнены дополнительные ТНЮ (РС-2) или конверсионные ТНЮ (РС-1).

РС СТС (РС 1-го вида) начинаются в заданные моменты времени проверки состояний СТС и среды.

Кроме того, предполагается, что в случае смены цели конверсионные мероприятия начинаются немедленно и должны быть закончены до того, как начнутся ТлОп достижения новой цели.

Принцип построения параметрических теоретико-графовых моделей на основе алгебраических и концептуальных. Он состоит в том, что основой для построения параметрических теоретико-графовых моделей являются теоретико-графовые модели, концептуальные модели, схемы концептов. Построение параметрических теоретико-графовых моделей на основе концептуальных реализуется следующим образом.

Концепты, для которых имеются дефиниции и, кроме того, денотаты всех концептов дефиниций, используемых для введения концепта, ставятся в соответствие с теоретико-графовой моделью так, что характеристики денотатов на момент начала решения задачи в виде параметров сопоставляются вершинам теоретико-графовой модели. Заданные параметры денотатов соотносятся с соответствующими элементами (вершинами, рёбрами) графа как ассоциированные элементы — пометка графа.

Например, концепт «начальное состояние ТНЮ» сопоставляют с вершинами дерева состояний в результате функционирования СТС и с начальными состояниями модели способа реализации ТНЮ. Каждая вершина из множества вершин, соответствующих концепту «начальное состояние ТНЮ», имеет уникальный идентификатор (номер) и соответствует денотату, ассоциированному с этой вершиной. Затем характеристики каждой реализации денотата ассоциируют с вершиной в виде пометки.

Например, конкретная вершина ассоциируется с состоянием ID с характеристиками SID1–SIDN. Часть характеристик может быть ассоциирована с денотатами подчинённых (субординированных) понятий. Например, эффекты, длительность, затраты ресурсов, вид состояния. Комплекс таких характеристик образует модель (например, элементарную модель состояния РМ).

Затем, если необходимо, формируют комплексы состояний, пользуясь концептами, описывающими отношения, — например, одновременность и сочетаемость. Переходам между состояниями ставят в соответствие концепты, относящиеся к действиям — группа концептов действий — и их способам. Например, реализация ТНЮ тем или иным способом. С действием ассоциируют параметры перехода (отображения) между реализациями денотата.

При этом, если какие-либо характеристики могут варьироваться, описываются концепты для описания ограничений. Фрагментам совокупностей

последовательностей состояний могут сопоставляться концепты, описывающие модели. Например, возможное состояние на границе СТС и среды, последовательность действий. Это необходимо для установления корректных отношений между состояниями, способами действий, комбинациями состояний с учётом введённых принципов моделирования.

В результате концепту функционирования системы может быть сопоставлено дерево состояний в результате функционирования системы (ФС) в возможных условиях среды. Ему может быть сопоставлено и дерево, описывающее функциональную математическую модель ФС. Эта модель численно описывает отношения, складывающиеся на границе СТС и среды, т. е. — достигаемые эффекты. Затем описывают модель их соответствия возможным требованиям. На основе этой математической модели и модели вопроса задачи порождают математическую модель задачи.

Принцип нумераций с использованием вложенных и объёмлющих теоретико-графовых моделей. Этот принцип состоит в том, что нумерации элементов моделей (частей, реализаций частей моделей) осуществляются на основе теоретико-графовых моделей и алгоритмов на графах. Например — путём введения дополнительных вершин и рёбер графов с использованием уже построенных моделей. Нумерации могут быть вложенными и могут сопоставляться, в том числе заданием функций на разных номерах. Таким образом, один элемент может иметь несколько номеров в разных нумерациях.

Принцип использования портов и нумераций для перехода к программным моделям. В соответствии с этим принципом переход к структурам данных программ реализуется за счёт назначения измерений массивов последовательностям состояний и переходов, последовательностям действий между пронумерованными портами. Порт — часть графа, для которой заданы отображения, раскрывающие эту часть и её связи, и обратные отображения, представляющие части графа элементами графа — портами. В результате порты соответствуют пронумерованным «измерениям» массивов структур данных.

Принцип аналогичности функциональных зависимостей. Этот принцип состоит в том, что для одного измерения и, возможно, для ряда измерений функциональные зависимости для расчёта характеристик могут иметь идентичный вид, отличаясь только параметрами функциональных зависимостей.

Принцип построения рекуррентных функциональных соотношений. Он состоит в том, что параметры и переменные, ассоциированные с пометками теоретико-графовых моделей, связаны рекуррентно с использованием заданных моделями функциональных зависимостей.

При этом указанные зависимости получают как результат наблюдения и обобщения законов, закономерностей проявлений свойств на практике. Например, это могут быть числовые закономерности, полученные в результате обработки данных физического эксперимента, числовые модели, полученные как теоретические результаты при объяснении проявлений чего-либо на практике. Как правило, функциональные зависимости связывают смежные элементы моделей. Например, в модели способа действия два смежных состояния целесообразно связать с использованием комплекса

зависимостей характеристик конечного состояния от характеристик начального состояния (с которым имеется причинно-следственная связь).

В результате указания функциональных связей на теоретико-графовых моделях, описывающих комплексы последовательностей переходов, формируются соответствующие характеристики последовательностям переходов (и результатов причинно-следственных связей) в последовательностях функциональных зависимостей, связывающих характеристики рекуррентными зависимостями.

Принцип построения программных моделей на основе имитации последовательностей причинно-следственных связей вычислениями. Этот принцип состоит в том, что полученные функциональные зависимости, описывающие последовательности реализации причинно-следственных связей, ведущих к сменам состояний во времени, для простоты моделирования вычисляются в той же последовательности, как они и реализуются на практике. Вычисления реализуются с использованием программного кода для расчёта функций, описывающих смену характеристик при реализации причинно-следственных связей. В результате программный код, реализующий вычисления значений функций (результата действия связи), вычисляет характеристики последовательности состояний. Эти последовательности могут повторять последовательности прогнозируемых состояний.

Характеристики вычисляются на теоретико-графовых моделях — ветках деревьев, деревьях, описывающих последовательности состояний.

Каждая такая ветка дерева имитирует реализацию процесса функционирования в заданных изменяющихся условиях, с учётом ограничений, а дерево в целом имитирует возможные реализации функционирования в разных условиях, с учётом различных ограничений.

В результате последовательность вычислений может быть организована так, чтобы имитировать функционирование в изменяющихся условиях (имитировать реализацию функционирования). Вычисления могут быть реализованы и так, чтобы имитировать возможные функционирования в разных условиях (имитировать комплекс возможных функционирований). Наконец, вычисления могут быть реализованы и так, чтобы имитировались реализации причинно-следственных связей и их последовательности. Во всех рассматриваемых случаях время выступает параметром в выражениях, дискретно.

Реализация вычислений в соответствии с последовательностями реализации причинно-следственных связей позволяет также линеаризовать вычисления с использованием теоретико-графовых моделей, представив эти вычисления не на структуре «граф общего вида», а как совокупности ветвящихся (альтернативных) последовательностей, каждая из которых — линейна (т. е. структура вида «дерево»).

Принцип интегративного моделирования задач исследования. Этот принцип состоит в том, что задачи оценивания, анализа и обоснования проектных решений (синтеза) целесообразно описывать с помощью интегративной модели — моделей вопроса задачи, решения задачи, результата решения задачи — так, чтобы задача могла быть решена как математическая.

Под интегративной понимается модель, позволяющая решать практические задачи как математические (например, исследования операций, математического программирования). Представить практическую задачу как интегративную означает представить её так, чтобы вопросу практической задачи соответствовал вопрос задачи математической, а решение математической задачи — ответ на её вопрос — интерпретировался для практики как ответ на вопрос практической задачи. Так происходит, когда практическая задача формулируется как оптимизационная математическая задача — например, планирования. Тогда полученный при решении математической задачи план, предписания легко использовать — интерпретировать для практики — при решении исходной практической задачи. Тем самым интегративная модель позволяет напрямую — без дополнительных методов, расчётов, процедур — получать решения (проектные решения) для практических задач. Если интегративную модель построить не удаётся, то используют такие модели, вычисления на которых позволяют упростить принятие решений или обеспечить лучшие характеристики решений. При этом принятие решений, как правило, возлагается на лиц, принимающих решения (проектные решения) — ЛПР, и результаты вычислений используются опосредованно. Модель задачи описывает действие, состоящее в решении задачи. Это действие — получение ответа на вопрос — конечного состояния действия — на основе имеющихся сведений — исходных данных задачи, начального состояния задачи — посредством оперирования моделями и исходными данными, описывающими элементы задачи и их связи, — так, чтобы получить требуемое конечное состояние — решение задачи.

3.1.2. Разработка теоретико-графовых моделей СТС и функционирования СТС

Теоретико-графовые модели (ТГМ) строятся на основе теоретико-множественных моделей с использованием концептуальных схем, затем параметризуются и затем с помощью параметризованных ТГМ порождаются функциональные и программные модели — например, в виде структур данных и алгоритмов, их использующих, — для выполнения расчётов с использованием моделей. Теоретико-графовые модели различных объектов строятся в соответствии с концептуальными моделями — выступающими для них абстрактной моделью — вида R_{abs} или F_{abs} и в соответствии с теоретико-графовой метамоделью (например, метамоделью возможных элементов дерева и их отношений), которой строящиеся модели соответствуют (Conform To). Такая метамодель задаёт также язык моделирования [174]. В соответствии с концептуальной моделью теоретико-графовые модели, построенные как реализации различных концептов, могут быть объединены в комплексную теоретико-графовую модель. Объединение реализуется по общим фрагментам графовых моделей, построенных для разных концептов (и соответствующих комплексам денотатов концептуальной модели).

К основным моделям относятся ТГМ (рисунки 19, 20, 21):

1. СТС и её функционирования:

1. РМ и комплексов РМ:

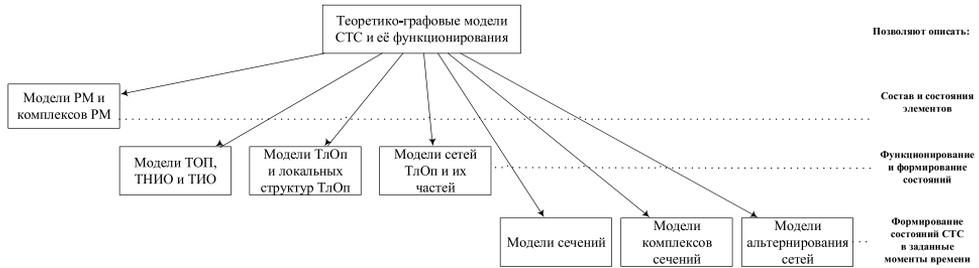


Рисунок 19. Теоретико-графовые модели СТС и её функционирования

- описывают состав РМ, СТС и состояния РМ, их элементов.
- 2. ТОП, ТАО и ТНАО.
- 3. ТАОп и локальных структур ТАОп.
- 4. Сетей ТАОп и их частей (в частности, между возможными изменениями):
- описывают функционирование СТС и формирование состояний (переходы между состояниями) СТС, её элементов в результате функционирования для достижения заданной цели.

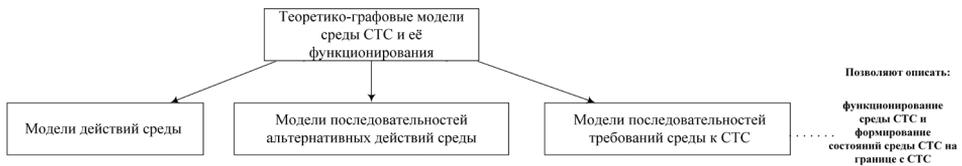


Рисунок 20. Теоретико-графовые модели среды СТС и её функционирования

II. Среда СТС и её функционирования:

- 5. Действий среды.
- 6. Последовательностей альтернативных действий среды.
- 7. Требований среды к СТС в результате действий в среде СТС:
- описывают функционирование среды СТС и формирование состояний среды СТС на границе с СТС.

III. Функционирования СТС в соответствии с заданными последовательностями изменяющихся требований к функционированию:



Рисунок 21. Теоретико-графовые модели функционирования СТС в соответствии с заданными последовательностями изменяющихся требований и функционирования СТС в соответствии с заданными последовательностями альтернатив

8. Семейств альтернативных стохастических сетей и состояний:

- описывают формирование последовательностей альтернативных сетей функционирования СТС и состояний при функционировании в соответствии с заданной последовательностью требований.

IV. Функционирования СТС в соответствии с заданными последовательностями альтернатив:

9. Альтернативных последовательностей характеристик СТС и способов действий:

- описывают альтернативные состояния для альтернативных характеристик СТС и способов действий.

V. Особый вид ТГМ — модели отображения частей ТГМ и отображения ТГМ в структуры данных:

10. Модели портов ТГМ разных видов и слоёв ТГМ разных видов.

11. Модели последовательностей портов и слоёв.

12. Модели отображения портов и слоёв в структуры (линейные) данных для программной обработки.

13. Модели отображения альтернатив портов и слоёв.



Рисунок 22. Структура теоретико-графовых моделей отображения частей ТГМ в структуры данных и нумераций

Рассмотрим основные из них.

3.1.2.1. Теоретико-графовая модель состава (морфологической структуры) СТС

ТГМ состава получают путём отображения элементов ТММ состава СТС в виде графов, соответствующих ТММ состава в соответствии с концептуальной моделью и схемами. Так, на схеме показан пример такого экземпляра: $E = E_1, E_2; E_1 = e_{11}, e_{12}, e_{13}; E_2 = e_{21}, e_{22}$. Отношения на графе имеют смысл отношений принадлежности элементов рабочим местам СТС, отношений между элементами на рабочих местах.

Экземпляр ТГМ морфологической структуры показан на рисунке 23. Отношения R_1, R_2 имеют смысл «находиться в смежных частях пространства, соседних помещениях» соответственно. Экземпляр элемента — вершина графа. Экземпляр отношения — дуга графа.

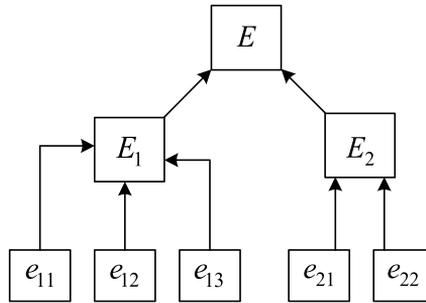


Рисунок 23. Пример экземпляра ТГМ состава СТС

ТГМ морфологической структуры показана на рисунке 24. Элементы на рабочих местах E_1, E_2 заданы как e_{11}, e_{12}, e_{13} и e_{21}, e_{22} соответственно. Отношения между элементами и РМ обозначены через R . Элементы, отношения характеризуются параметрами. Их возможные значения и зависимости между ними определены технологической документацией.

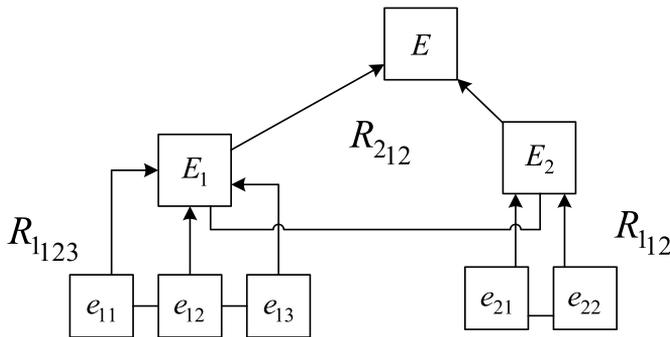


Рисунок 24. Пример экземпляра ТГМ морфологической структуры СТС

Например, параметры элементов их связей задают возможные значения затрат ресурсов и получаемых результатов. Обозначим s -й параметр k -го элемента i -го РМ $ch_{i,k,s}$. Путём указания отношений ассоциации и параметров элементов, РМ, отношений между элементами создаётся параметризованная ТГМ. На рисунке 25 показан пример параметризованной ТГМ.

На рисунке 25 часть характеристик $ch_{i,k,s}$ — зависимые переменные (x_i, y_i, z_i) . Они рассчитываются с использованием функциональной ТГМ.

Отношения принадлежности элементов к РМ позволяют породить из ТГМ морфологической структуры СТС ТГМ морфологической структуры рабочих мест (РМ) СТС. Такое порождение возможно благодаря указанию классов элементов графа ТГМ так, что между этими элементами реализуется отношение «находиться на одном РМ». Это отношение используется далее для порождения возможных состояний начала и окончания технологических операций и переходов между ними (способов реализации ТлОп).

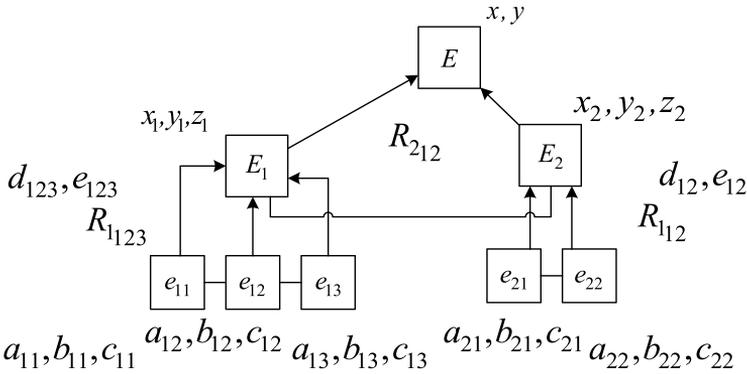


Рисунок 25. Пример экземпляра параметрической ТГМ морфологической структуры СТС

В разные моменты времени элементы морфологической структуры СТС могут находиться в разных состояниях — в зависимости от того, какие действия с ними реализуются СТС и средой СТС и от их последовательности. При этом состав СТС, РМ, отношения между элементами и характеристики элементов могут меняться из-за реализации соответствующих действий системы (ТлОп), реализуемых теми или иными способами, в зависимости от условий и от действий среды.

В связи с этим предложено экземпляры ТГМ морфологической структуры СТС (РМ СТС) сопоставлять, с одной стороны, — с состояниями при реализации действий, а изменение морфологической структуры соотносить с переходом (тем самым отразив возможные изменения морфологической структуры СТС (РМ) при действиях), а с другой стороны — сопоставить разные состояния морфологической структуры СТС и СТС в целом с возможными предшествующими состояниями (тем самым отразив возможные последовательности состояний элементов СТС и СТС в целом).

Отражение характеристик морфологической структуры СТС (РМ) в заданный момент времени целесообразно реализовать в виде значений характеристик (переменных, параметров), ассоциированных с элементами СТС, с одной стороны, и с состояниями при реализации действий с СТС — с другой. Соответственно, зависимости характеристик элементов предложено ассоциировать с переходом между состояниями.

Указанные характеристики и их зависимости ассоциированы с ТММ операционных примитивов и затем — ТлОп.

Они затем входят в модели состояний и в деревья состояний и переходов, позволяющие затем задать функциональные и программные модели.

3.1.2.2. Теоретико-графовые модели состояний РМ

Теоретико-графовая модель состояния — поименованная — например, с использованием идентификатора — совокупность дуг и гипердуг, заданных на возможных характеристиках элементов системы. Эти дуги и гипердуги описывают: технологические ограничения на совместность значений характеристик, в соответствии с технологическими ограничениями (допу-

стимые характеристики состояний, связи характеристик); совокупность дуг и гипердуг, задающих отношения ассоциации между элементами и характеристиками; отношения между переменными характеристиками состояний, параметрами (в частности, задающие функциональные зависимости между характеристиками одного состояния). Кроме того, с их помощью задают дуги и гипердуги, описывающие ассоциацию состояний с операционными примитивами. Состояние РМ (на котором ожидается выполнение ОП, выполняется ОП или на котором ОП завершён) моделируется как совокупность дуг и гипердуг — которые описывают состояние — и как вершина графа переходов и состояний. Это даёт возможность оперировать характеристиками состояний при обходе графа переходов и состояний и других графов, порождаемых с использованием обходов.

Реализации возможных состояний РМ в начале реализации ОП и при его окончании задают возможные реализации возможных способов технологических операций. В случае задания таких возможных способов задаются и возможные модели состояний РМ, соответствующих началу и окончанию реализации ТлОп.

3.1.2.3. Теоретико-графовые модели функциональной структуры, технологий и их изменений

Указанные модели опираются на элементарные модели, в качестве которых выступают модели состояний и операционных примитивов. С использованием указанных элементарных моделей строятся другие (неэлементарные) модели, такие, что их элементы ассоциированы с состояниями или переходами. Функциональная структура и технология задаются отношениями на элементарных моделях. Отличия этих отношений в том, что технология может описываться отношениями на элементах и отношениях, не входящих в систему, но таких, что могут войти в систему и (или) были в её составе. Тем самым модель технологии включает возможный субстрат, на который может быть распространена функциональная структура. Изменение функциональной структуры, в том числе на возможный субстрат, описывается модернизациями, внедрением новых технологий, конверсионными мероприятиями разного вида.

Такие изменения должны готовиться информационными операциями. Они задают предписания на изменения.

Изменения функциональной структуры описывается графами, в которых узлы соответствуют состояниям функциональной структуры и технологии, а переходы — их изменениям. При этом характеристики состояний включают описания функциональных структур в тех или иных условиях и к какому-либо моменту времени в результате действий по изменению функциональной структуры. Далее функциональная структура и технологии предполагаются заданными, кроме таких задач, как решение задач модернизации производственной базы. Моделирование СТС реализуется в функциональной парадигме, исходя из этого модели состава и состояний используются для описания элементарных функциональных элементов [175] — технологических операционных примитивов.

3.1.2.4. Теоретико-графовая модель операционных примитивов, технологических операционных примитивов и ТлОп

Теоретико-множественная модель операционных примитивов (ОП), технологических операционных примитивов (ТОП), технологии функционирования СТС (Тл СТС) использует понятия способ действия, ОП, ТОП, ТлОп, технологическая документация, состояние, переход между состояниями (в результате реализации ТОП).

Переходы в результате реализации ОП моделируются дугами графа, описывающего операционный примитив. При моделировании ОП описываются возможные переходы в результате действия выбранным способом реализации ОП. Разным способам соответствуют разные начальные состояния (состояния готовности), ассоциированные с начальными вершинами дуги графа, и разные переходы (с разными предписаниями способа, т. е. с разной моделью действия).

В случае реализации программ модернизации, совершенствования, изменения системы переходы реализуются как переходы между состояниями системы, подвергающимся модернизации, т. е. между *состояниями функциональной и морфологической структуры*.

Таким образом, отличие модернизационных операционных переходов — в состояниях. При реализации «целевого» функционирования, т. е. функционирования по достижению конечной цели, состояния описываются характеристиками эффектов, на которые средой наложены ограничения и которые потребляются в среде. При осуществлении программ модернизации, совершенствований, изменений цель не «конечна» в том смысле, что цель таких функционирований — состояние функциональной и морфологической структур, а не характеристики эффектов. Состояния функциональной и морфологической структур используются для получения конечных эффектов, а не потребляются средой.

В результате реализации переходов (дуг) с разными предписаниями получают разные операционные переходы и разные состояния. С дугами графа ассоциирована модель перехода. Эта модель (способ ОП) включает как предписания, так и функциональные зависимости, описывающие результаты перехода.

Поскольку рассматривается функционирование, заданное технологической документацией, то разным способам ОП соответствуют разные ТОП (для каждого состояния должно быть задано описание действия из этого состояния, т. е. предписания технологической документации, входящие в ТОП). В ТГМ способ ТОП ассоциируется с начальным состоянием, а результаты выполнения предписаний — с возможными конечными состояниями. Конечные состояния возникают в зависимости от характеристик заданных ТОП предписаний и в соответствии с проявившимися условиями реализации предписаний (например, возможных действий среды при реализации ТОП).

При этом первый компонент — информационный, а второй — нет.

В результате реализации ТОП с заданными предписаниями может быть получено то или иное конечное состояние, исход ТОП (например, в зависи-

мости от действий среды). Исходу ТОП соответствует переход в графе — ТГМ ТОП. Пример экземпляра ТГМ перехода из заданного состояния и для заданного способа ТОП приведён ниже (рисунок 26). Переход соответствует заданному сочетанию ТОП и условий реализации предписаний ТОП.

Пример экземпляра ТГМ ТОП с двумя альтернативными переходами в результате ТОП показан на схеме (рисунок 27).

С моделью перехода могут быть ассоциированы модели морфологической структуры РМ. Пример экземпляра ТГМ ОП с ассоциированной моделью состава РМ показан на схеме (рисунок 28). Морфологическую структуру РМ ассоциируют с состояниями, в результате чего может быть отражено изменение морфологической структуры.

Он основан на использовании двух элементов — состояние (s) и комплексный переход (p) — и допустимых конструкций с их использованием.

Комплексный переход описывается как пара из начального состояния (с заданными этим состоянием предписаниями, описывающими требования к начальному состоянию, способ действия и возможные результаты — информационную часть состояния) и множества возможных конечных состояний (в результате действия описанным способом действия и того или иного действия среды).

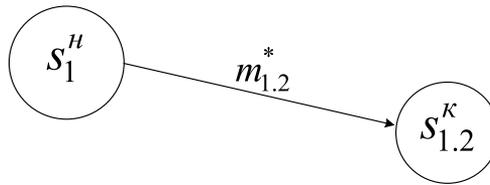


Рисунок 26. Пример экземпляра ТГМ перехода

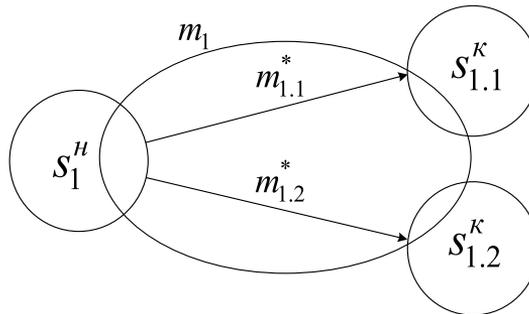


Рисунок 27. Пример экземпляра ТГМ ОП с двумя альтернативными переходами

Пример спецификации ТГМ ТОП с двумя переходами:

```
{Graph g1;
s.1 // Первый способ ТОП (предписания 1)
(s.1-{s.1.1 label=" m.1.1" // Штатный переход, s.1.2 label=" m.1.2" // Переход при обнаружении брака})
```

Синтаксис спецификации примерно соответствует синтаксису языка DOT задания графов.

Для описания ТГМ ТОП используется язык описания ТГМ.

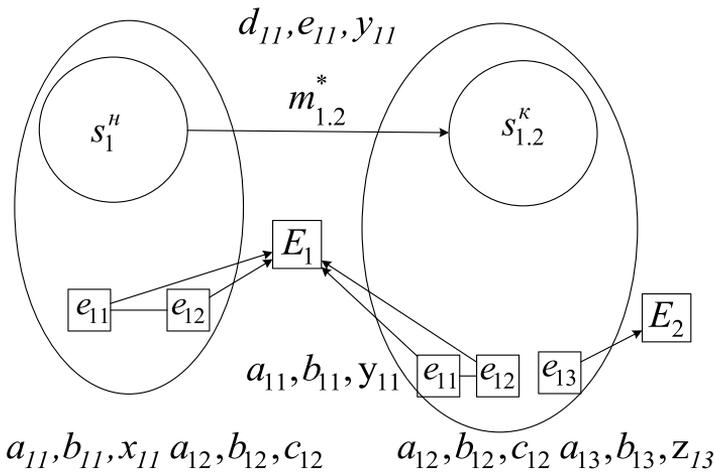


Рисунок 28. Пример экземпляра ТГМ перехода с ассоциированной моделью состава РМ

В примере овалами описано раскрытие состояний — морфологического состава состояний и характеристик состояний. Квадратами отображены элементы, составляющие морфологический состав состояний. Изделие передаётся с одного РМ на другое, в результате чего элемент e_{13} появляется на РМ2. Характеристики элементов могут быть связаны функциональными зависимостями, но только так, чтобы переменные перехода рассчитывались на основе характеристик, имеющихся в начальном состоянии, а переменные конечного состояния — на основе характеристик, имеющихся в начальном состоянии и в характеристиках перехода, т. е. — линеаризованы.

Для простоты информационные элементы и информационные характеристики (сведения) в примере опущены. Такое раскрытие состояний и характеристик переходов следует отразить в спецификации, соответствующей ТГМ.

Пример спецификации ТГМ перехода с ассоциированными элементами морфологической структуры:

```
{Graph g2; // Штатный переход — передача изделия на РМ2
s.1 // Состояние РМ1
{E.1 {e.1.1; e.1.2}; // ассоциированные с состоянием характеристики,
здесь просто идентификаторы}
s.1.1 // Состояние РМ1 и 2
{E.1 {e.1.1; e.1.2; e.1.4} E.2 {e.1.3};}
s.1.2 // Состояние РМ1 и 2
{E.1 {e.1.1; e.1.2;} E.2 {e.1.3}}
(s.1-{s.1.1 label="m.1.1"//Первый результат перехода, s.1.2 label="m.1.2"//
Второй результат перехода})
```

ТЛОп может быть реализована несколькими возможными способами, т. е. может включать несколько ТОП, каждому из которых, в свою очередь, может соответствовать несколько возможных переходов. Альтернативные

ТОП получают путём указания альтернативных состояний, отличающихся друг от друга описанием соответствующего способа (предписаниями способа, соответствующими начальному состоянию). Пример экземпляра ТГМ ТлОп с разными ТОП и переходами показан на схеме (рисунок 29).

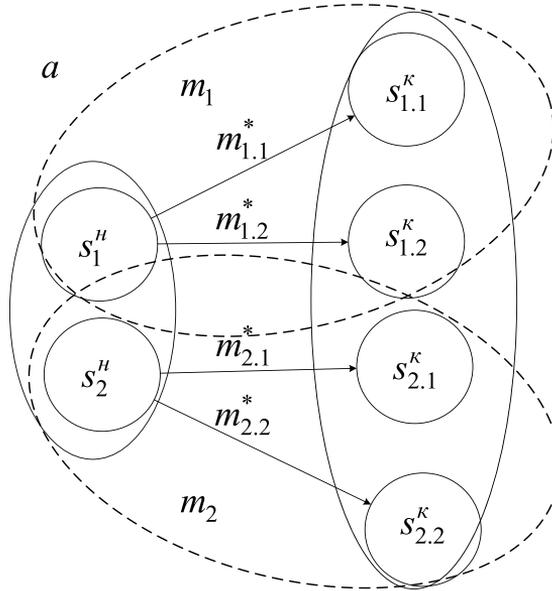


Рисунок 29. Пример экземпляра ТГМ ОП с двумя альтернативными способами реализации и двумя переходами

Каждый из способов ТОП задан начальным состоянием (в том числе соответствующими предписаниями, описывающими выполнение действия).

Овалами показаны комплексные состояния (овалами со сплошной линией) и комплексные переходы (овалами с прерывистой линией). Последние соответствуют выполнению ТОП одним из двух способов. Схема в целом соответствует выполнению ТОП каким-либо способом (как первым, так и вторым). Комплексные состояния и переходы могут быть переданы соответствующими им фрагментами комплексных спецификаций.

Пример спецификации ТГМ ТлОп с двумя переходами:

```
Graph g3;
s.1 // Первый способ ТОП, предписания 1 (i.1.1.2)
  {{e.1, e.2}, {i.1.1, i.1.1.2 (label=" m.1.1"), i.1.1.3 (label=" m.1.1 m1.2")}}
  (s.1-{s.1.1 label=" m.1.1" // Штатный переход, s.1.2 label=" m.1.2" // Переход при обнаружении брака)
  }
s.2 // Второй способ ТОП, предписания 2 (i.2.1.2)
  {{e.1, e.2}, {i.2.1, i.2.1.2 (label=" m.2.1"), i.2.1.3 (label=" m.2.1 m2.2")}}
  (s.2-{s.2.1 label=" m.2.1" // Штатный переход, s.2.2 label=" m.2.2" // Переход при обнаружении брака)
  }
```

Пример комплексной спецификации:

```
Graph g3_complex;
{
  Ss = {s.1, s.2};
  Sf = {s.1.1, s.1.2, s.2.1, s.2.2};
  M = {m.1, m.2};
  m.1 = {m.1.1, m1.2};
  m.2 = {m.2.1, m2.2};
}
```

Полученная ТГМ j -й ТлОп имеет вид графа G_j :

$G_j = (s, m \subseteq s \times s); s = \{s_i^n, s_{i,n}^k\}; m = \{m_{i,n}\}; i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$.

В G_j , кроме того, задан комплекс подграфов:

$g_{k_j} \subseteq G_j$ — модели (подграфы) переходов в соответствии с заданным предписанием возможным способом технологического операционного примитива (перехода, способы задаются начальным состоянием и возможными конечными);

$E_{k_j} \subseteq G_j$ — модели (подграфы) морфологической структуры, множества характеристик морфологической структуры (состояния элементов РМ, СТС);

$ch_{k_j, u} \subseteq E_{k_j} \subseteq G_j$ — модели (пометки, ассоциированные с элементами ТГМ) характеристик, ассоциированных с элементами морфологической структуры (неинформационные составляющие состояний);

$i_{k_j, p} \subseteq G_j$ — модели (пометки, ассоциированные с элементами ТГМ) предписаний, ассоциированных с элементами морфологической структуры и с состояниями (информационные составляющие состояний).

Указанные подграфы предложено представлять в виде параметризованных вложенных списков, ассоциированных с графами, а также с использованием разработанного теоретико-графового формализма эшграфов, основы которого описаны в **приложении L**.

Описанная выше ТлОп элементарна — не состоит из других ТлОп — и образует технологический операционный примитив (ТОП).

ТГМ k -й неэлементарной технологической операции G_k описывается как один или несколько элементарных ТлОп (технологических операционных примитивов), возможно, с заданными отношениями между ними и заданными характеристиками:

$G_k = (g, r): g = G_j, r \subseteq g \times g$.

Соответственно, моделью ТлОп может быть параметризованная вложенная таблица с заданными на её частях отношениями или параметризованный эшграф, примеры которых приведены в [176, 177] и в **приложении L**.

Технология функционирования СТС T^{cmc} определяется как множество заданных документацией ТОП, на котором заданы возможные отношения между ТОП различного вида, а с возможными отношениями между ТОП ассоциированы свойства этих отношений:

$T^{cmc} = (G, R, A): G = \{G_j, j = \overline{1, J}\}, R \subseteq \wp(G) \times \dots \wp(G), A \sim R$.

Указанные отношения задают возможные ТОП, способы их реализации и возможные последовательности реализации ТОП и ТлОп. Характеристики указанных ТОП задают возможные начальные и конечные состояния.

3.1.2.5. Модели нумераций объектов ТГМ

Нумерации создаются и сопоставляются с использованием принципа нумерации с использованием теоретико-графовых моделей и алгоритмов. Так, ТГМ нумераций может быть задана как результат реализации одного из алгоритмов на графе (обхода в глубину, в ширину) теоретико-графовой модели.

Пример такой нумерации — реализация нумерации алгоритмом лексикографической нумерации вершин сети, что позволяет расположить вершины сети в порядке, соответствующем допустимому порядку расчётов, т. е. с учётом ограничений на причинно-следственные связи.

С использованием нескольких подграфов и алгоритмов, заданных на элементах моделей, может быть получено несколько нумераций. Так,

$$A(T^{cmc}): (G_j, s, m, n) \rightarrow j. i. m. n,$$

где $A(T^{cmc})$ — алгоритм обхода технологии ТГМ.

Полученные нумерации используются, в частности, на этапе построения программной модели — для формирования массивов обрабатываемых данных, в которых последовательностям номеров в измерениях могут быть сопоставлены номера, полученные нумерацией.

За счёт этого удаётся линеаризовать вычисления и затем использовать методы высокопроизводительных вычислений на основе получаемых линеаризованных массивов данных, обрабатываемых для расчёта потенциала.

3.1.2.6. Теоретико-графовая модель морфологической структуры СТС

ТГМ морфологической структуры T^{mc} задаётся как граф ТОП, полученный на основе технологии. Это означает, что элементы T^{mc} (ТОП, ТлОп) соответствуют элементам, описанным технологией, и на T^{mc} верны заданные технологией отношения. При этом определённые ТММ морфологической структуры множества могут быть представлены как подграфы ТГМ T^{mc} , поскольку они были представлены ранее подграфами ТГМ ТОП.

$$T^{mc} \sim T^{ctc}; a_{jh} \subset T^{mc}; m_{jhs} \subset T^{mc}; s_{jhsp} \subset T^{mc}; M \subset T^{mc}; R_M \subset T^{mc}.$$

ТГМ морфологической структуры (МС) связывается с ТГМ ТОП отношениями между РМ и состояниями ТОП — модель ТОП «включает состояние РМ» — и отношениями между РМ и переходом ТОП (ТОП «реализуется на РМ»). Эти отношения формируют множества элементов ТГМ МС заданного РМ.

ТГМ МС структурируются с использованием ТГМ симплекса ТлОп.

3.1.2.7. ТГМ симплекса ТлОп, ТлОп

ТГМ симплекса ТлОп. ТлОп и симплекс ТлОп реализуются на общем РМ, и поэтому одновременного выполнения нескольких ТОП, в соответствии с принятыми допущениями, быть не может (предполагается, что все ТОП симплекса выполняются последовательно).

Модель симплекса ТлОп может быть представлена как граф состояний и переходов, состояния в котором связаны отношениями «или» (неисключо-

чительное, исключительное «или») — в случае, когда возможно выполнение альтернативных переходов, и отношениями «если А, то и В» [12] — в случае, когда одно состояние вызывает другое в результате какого-либо перехода.

Альтернативные переходы могут иметь вид вероятностных (например, если вызваны средой) или детерминированных (например, вызваны ТИО).

ТГМ таких состояний и переходов — дерево последовательностей состояний и альтернативных переходов (для альтернативных переходов — вида «исключающее или»). Пример реализации одного из возможных переходов при выполнении симплекса показан ниже (рисунок 30).

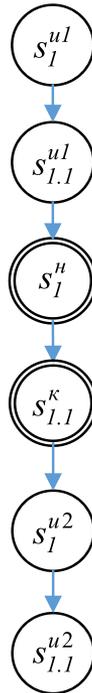


Рисунок 30. ТГМ возможного перехода при выполнении симплекса ТлОп

Пример реализации двух возможных ТОП (каждый из которых отличается начальными информационными состояниями, а именно: предписаниями о выполнении ТОП одним или вторым способом) показан на рисунке 39.

Возможно шесть комплексных переходов. Они формируются для каждого способа реализации ТОП как возможные в зависимости от воздействий среды — из трёх возможных действий (одним из двух возможных способов).

Для систематизации последовательностей возможных состояний и переходов и последующих нумераций последовательностей предложены ТГМ деревьев слоёв состояний. При этом слой состояний создаётся для того, чтобы выделить комплексы состояний, характеризующиеся близкими свойствами.

3.1.2.8. Теоретико-графовая модель технологических маршрутов

Эта ТГМ представляет собой ориентированный граф, заданный на вершинах — рабочих местах.

Пример такой ТГМ, использующейся в примере решения задачи, показан на рисунке 31.

Рабочие места делятся на неинформационные РМ (неинформационные РМ обведены для описания комплекса неинформационных РМ СТС) и информационные РМ. Информационные РМ в примере представлены на границе с СТС.

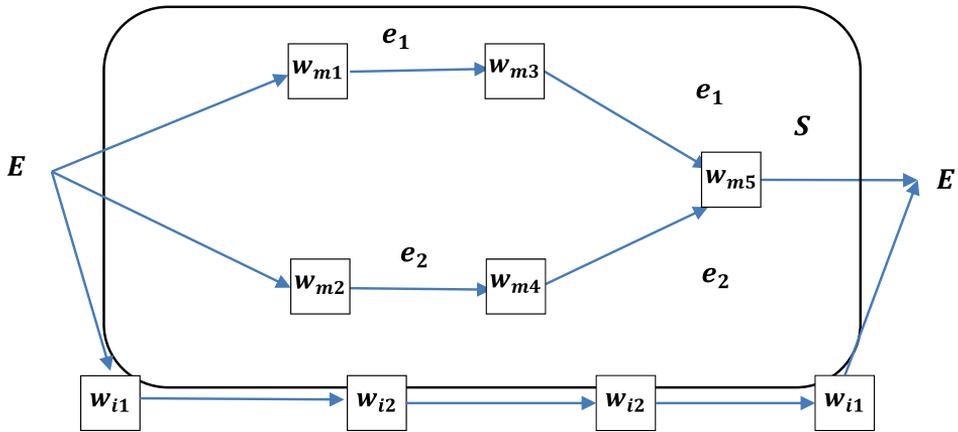


Рисунок 31. Последовательность РМ

3.1.2.9. Теоретико-графовая модель технологических сетей

Эта ТГМ представляет собой ориентированный граф, заданный на вершинах — ТЛОп.

Пример такой ТГМ, использующейся в примере решения задачи, показан на рисунке 126. Модель соответствует аналогичным сетевым моделям, описанным в [5, 12].

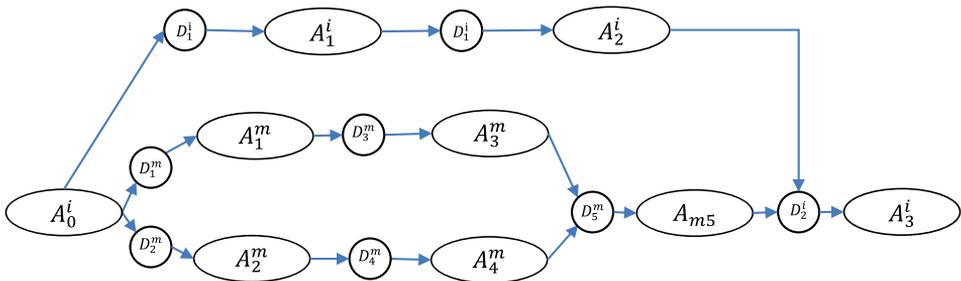


Рисунок 32. Технологическая сеть ТНИО и ТИО достижения действительной цели

3.1.2.10. Теоретико-графовая модель возможных сечений

Модель возможных ТлОп (в том числе — ожиданий), выполняемых одновременно при функционировании СТС — в виде дерева возможных сечений сети функционирования СТС — записанной в виде ТлСе, — показана на рисунке 33.

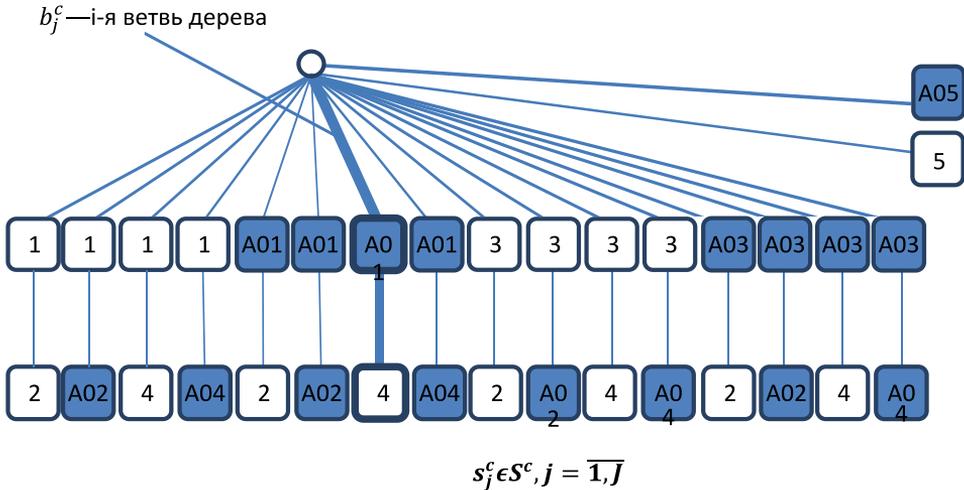


Рисунок 33. Модель способов одновременного выполнения ТННО

\hat{S}^{cc} — множество возможных состояний системы и среды при условии заданной последовательности требуемых состояний среды \hat{S}_h^d .

\hat{s}_j^{cc} — возможное состояние системы и среды в заданный (средой СТС) момент времени T_i^d .

$$\hat{s}_j^{cc} = \hat{s}_j^c \cup \hat{s}_j^e.$$

\hat{s}_j^c — случайное состояние СТС в заданный (средой СТС) момент времени T_i^d .

\hat{s}_j^e — случайное состояние среды СТС в заданный (средой СТС) момент времени T_i^d .

\hat{S}^c — множество возможных состояний s_j^c СТС при её функционировании.

b_j^c — j -я ветвь на модели $b_j^c = A_{k_j}^m, k = \overline{1, 5} A_{k_j}^m$ — ТННО A_m , выполняемая на k -м РМ и соответствующая ветви b_j^c .

\hat{s}_j^c — это состояние СТС, порождаемое выполняемыми ТННО, соответствующими ветви b_j^c .

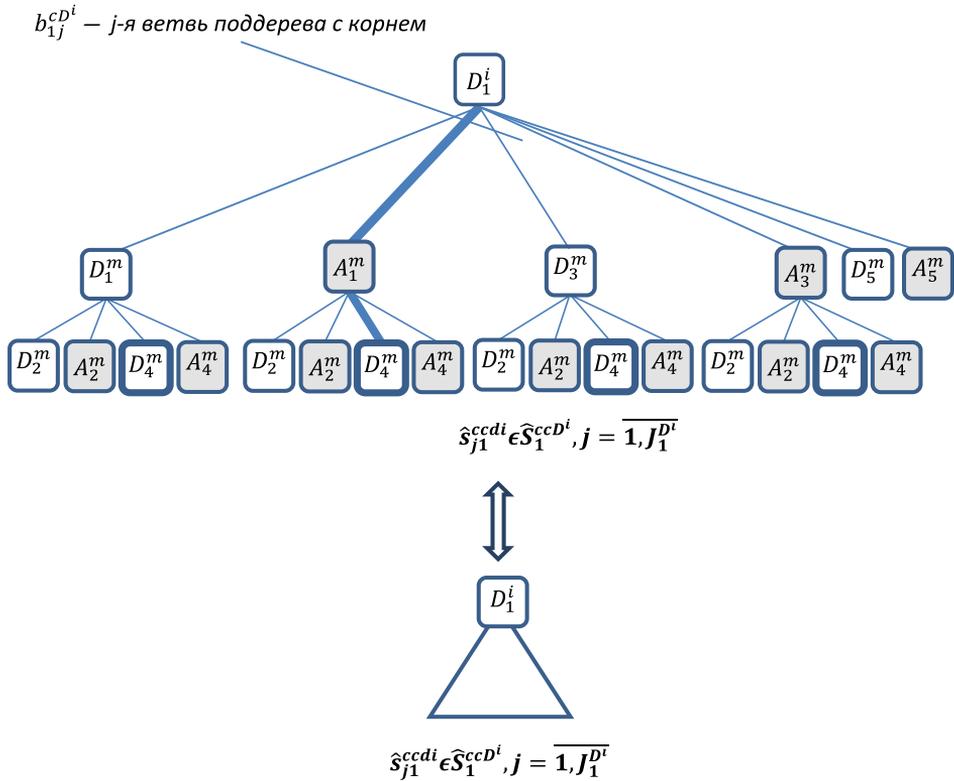


Рисунок 34. Модель способов одновременного выполнения ТНИО и ТИО

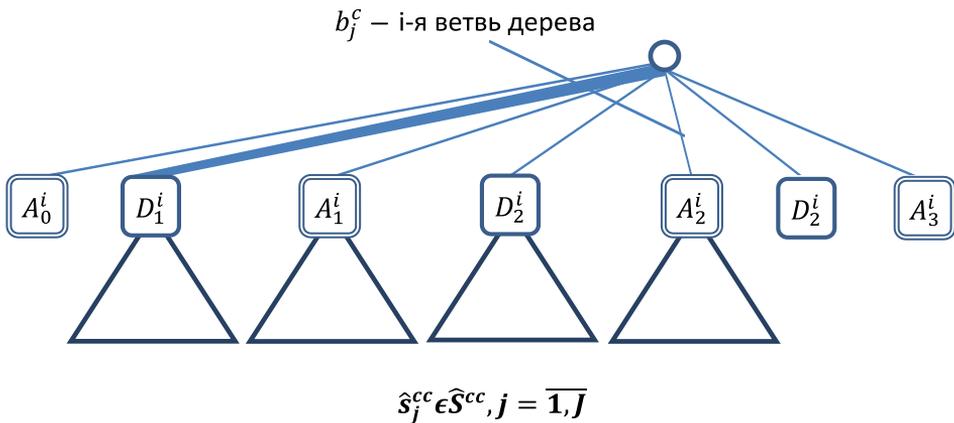


Рисунок 35. Комплексная модель способов одновременного выполнения ТлОп

j — номер возможного состояния СТС.

J — количество возможных состояний СТС.

T — момент времени на интервале функционирования СТС.

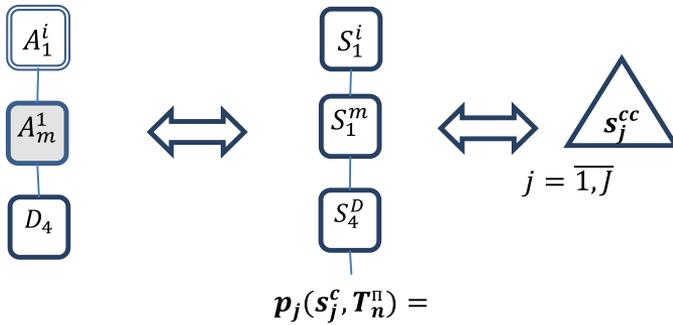


Рисунок 36. Соответствие моделей, ориентированных на способы ТлОп, и моделей, ориентированных на состояния

Модель прекращения функционирования по имеющемуся плану (прерывания) показана на рисунке 37. Она соответствует моделям, изложенным в [178–183].

В результате прерывания наступает последующее альтернирование плана действий и в результате — альтернирование выполнения последующих действий.

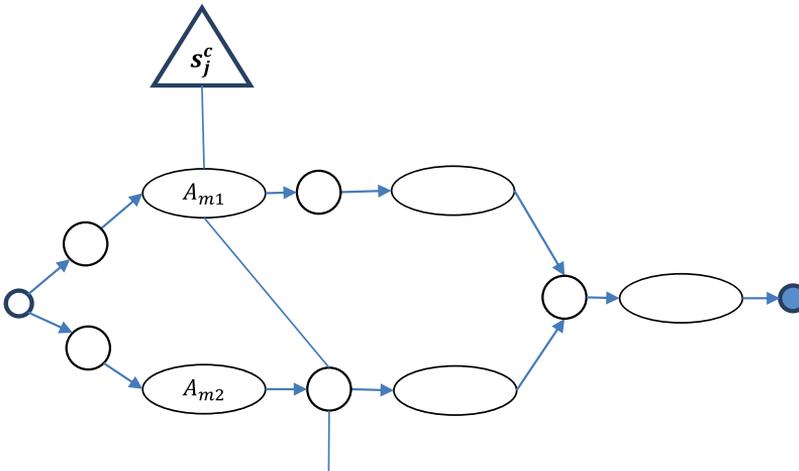


Рисунок 37. Прерывание достижения действительной цели

Альтернирование описывается моделями последовательностей альтернативных стохастических сетей, семейств альтернативных стохастических сетей, моделями информационных операций.

3.1.2.10. Теоретико-графовая модель последовательности альтернативных стохастических сетей

Обозначим $H = (E, N)$ — гиперграф с гипердугами $e_s \in E$, такими, что каждая гипердуга e_s ассоциирована с *рабочим местом* Wp_p и его состояни-

ем. Действие a_i в сети N_p ассоциировано с двумя состояниями: стартовым S_n^s и финишным S_m^f . Каждое состояние S_s соответствует результату какого-либо действия c_k .

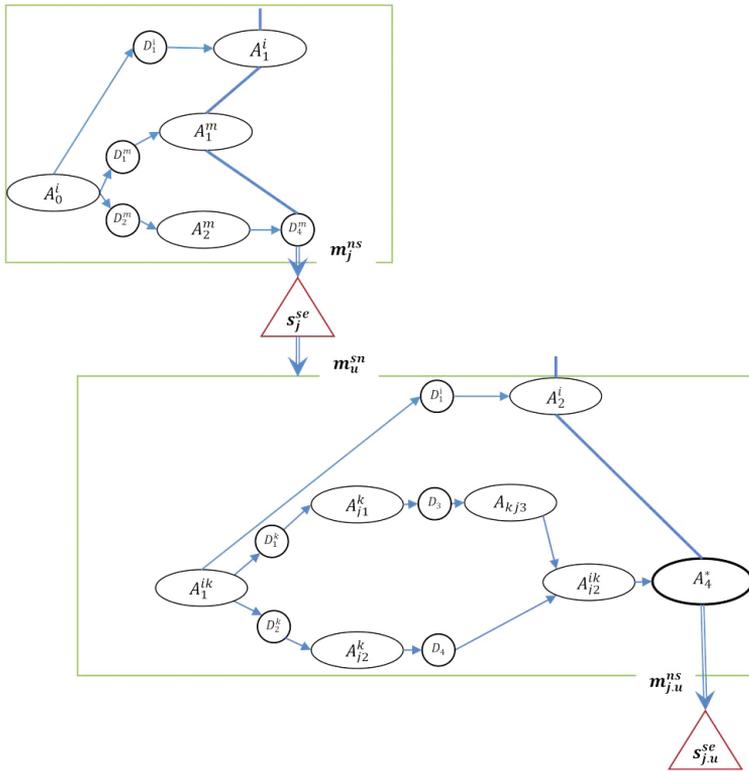


Рисунок 38. Последовательность альтернативных стохастических сетей

$FASAN$ — множество операций $A = \{a_i\}$, $a_i \sim S_s(Wp_p, e_s)$, ассоциированных с ними состояний $S_s(Wp_p, e_s)$, множество сетей $N_p \subseteq (A_p \in A, E_p \in A_p \times A_p)$, ассоциированных с ними возможных состояний операций, выполняемых в тот или иной момент $T_i — \cup_{T_u, S} S_s(Wp_p, e_s, T_u)$, и множество функций на помеченных графах, относящихся к одному из трёх видов:

$f^{NS}: N_p \rightarrow \{v_{kp} \sim C_{kp}\}$ — вид функции, которая отображает заданную сеть во множество возможных вершин $FASAN$, каждая из которых соответствует, в свою очередь, сечению C_{kp} сети N_p .

$f^{SS}: (< v_{kp}, v_p^e >) \rightarrow v^a$ — вид функции, отображающей пары вершин, ассоциированных с состояниями системы и среды соответственно, в вершину, ассоциированную с состоянием альтернирования функционирования.

$f^{SN}: v^a \rightarrow N_n$ — вид функции, которая отображает состояние альтернирования v^a в запланированную к реализации альтернативную сеть N_n операций. Функции 2 и 3 реализуются ТНЮ.

3.1.2.11. Теоретико-графовая модель семейства альтернативных стохастических сетей в параметрическом виде

Параметрическая модель *FASAN* включает множества и отображения:

- множество операций $A = \{a_i\}$, $a_i \sim S_s(Wp_p, e_s)$, ассоциированных с ними состояний $S_s(Wp_p, e_s)$;

- множество сетей $N_p \subseteq (A_p \in A, E_p \in A_p \times A_p)$, ассоциированных с ними возможных состояний операций, выполняемых в тот или иной момент $T_i \sim \bigcup_{T_u, S} S_s(Wp_p, e_s, T_u)$;

- множество функций на помеченных графах, относящихся к одному из трёх видов:

$f^{NS}: N_p \rightarrow \{v_{kp} \sim C_{kp}\}$ — вид функции, которая отображает заданную сеть во множество возможных вершин *FASAN*, каждая из которых соответствует, в свою очередь, сечению C_{kp} сети N_p ;

$f^{SS}: (< v_{kp}, v_p^e >) \rightarrow v^a$ — вид функции, которая отображает пары вершин, ассоциированных с состояниями системы и среды соответственно, в вершину, ассоциированную с состоянием альтернирования функционирования;

$f^{SN}: v^a \rightarrow N_n$ — вид функции, которая отображает состояние альтернирования v^a в запланированную к реализации альтернативную сеть операций и календарный план её реализации.

3.1.2.12. Теоретико-графовая модель портов и нумераций семейств альтернативных стохастических сетей и состояний

Нумерацию элементов семейств альтернативных стохастических сетей предложено делать, используя номера сечений, номера сетей и номера альтернативных последовательностей функционирования среды.

Номера сечений (упорядоченные в лексикографическом порядке входящих в их состав вершин) используются в качестве портов ТГМ семейств альтернативных стохастических сетей.

В результате рассчитанная сеть может быть пропущена в ТГМ *FASAN*, и останется лишь пара портов, каждый из которых ассоциирован с соответствующим состоянием альтернирования функционирования СТС в начале (начальный порт) и состоянием СТС при функционировании в момент возмозного альтернирования (конечный порт).

Затем следующий порт предложено ассоциировать с комплексным состоянием альтернирования в результате соответствующих состояний СТС и среды СТС и связать с конечным портом сети.

В результате сжимания модели *FASAN* по портам (т. е. в результате замены ТГМ портами и рёбрами между портов) получают модель вида двуцветное (двудольное) дерево, в котором рёбра ведут или из состояния альтернирования в состояние окончания сети (её прерывания), или из этого состояния в (следующее) состояние альтернирования. Это позволяет проще перейти к заданию моделей *FASAN* в виде последовательностей (многомерных) упорядоченных массивов.

3.1.2.13. Теоретико-графовая модель деревьев слоев состояний и соответствующих им нумераций

Эта модель в зависимости от особенностей и контекста — модель переходов между состояниями в результате реализации симплексов при функционировании СТС, состояний и переходов на РМ, дерево слоёв, слои — представляет собой поддерево (альтернативных) состояний СТС и переходов между состояниями, такое, что в этом поддереве состояний между состояниями реализуется одно из заданных отношений. В зависимости от вида отношения могут быть выделены различные поддеревья с различными свойствами.

Выделение таких поддеревьев позволяет систематизировать вычисления эффектов последовательностей ТлОп и упростить создание программных моделей исследования потенциала СТС.

Так, для деревьев *переходов между состояниями в результате реализации симплексов при функционировании СТС* последовательные переходы соответствуют только заданному симплексу ТлОп (т. е. различные последовательности симплексов в поддереве не моделируются) и при этом описаны возможные альтернативные состояния всех РМ системы и переходы между ними. Такое дерево соответствует слоям ТлОп (одновременно выполняемым на разных РМ). Отношение, по которому выделяется поддерево для этой модели, — «выполняется один из возможных симплексов ТлОп».

Модель, сформированная таким методом, позволяет систематически описать возможные эффекты операций. При этом соотношения для расчёта эффектов идентичны по ветвям и каждая ветвь описывает одну ТлОп, реализованную возможной последовательностью ТОП / способами ТлОп.

В ряде случаев удобно использовать другие виды отношений для выделения подмоделей с близкими свойствами. Например, переходы могут быть комплексированы, так, чтобы отражать только изменения состояний на границе СТС.

В этом случае слой состояний и переходов выделяется по отношению, состоящему в том, что состояния и последовательности переходов начинаются и заканчиваются состоянием на границе СТС и среды (рисунок 39).

Модель слоя в этом случае позволяет рассчитать состояние СТС и среды при условии того, что в результате предшествующей проверки состояния и выработки предписаний на границе СТС и среды (в результате выполнения ТИО на границе) было получено заданное состояние начала слоя.

Состояние начала слоя сопоставляют начальной вершине, а состояния окончания — с конечными. Между такими вершинами реализуется комплексный переход. Он сопоставляется с рёбрами дерева.

При этом *состояние на границе* может быть комплексным, описываемым совокупностью состояний РМ. Совокупность таких состояний описывается сечениями сетей ТлОп и соответствующими им сечениями поддеревьев последовательностей переходов и состояний.

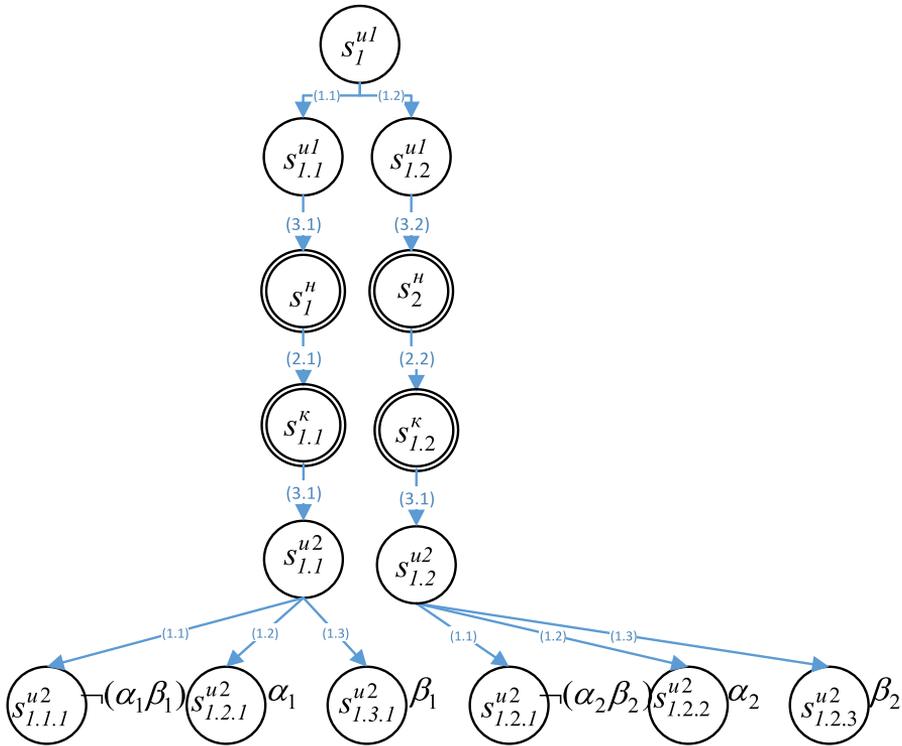


Рисунок 39. ТГМ симплекса ТлОп с двумя альтернативными ТОП и шестью возможными комплексными переходами

Такой *слой* — *дерево*, в котором перемежаются состояния и переходы, соответствующие альтернативным ОП ТИО, РС-1, РС-2, связанные причинно-следственными отношениями в последовательности с ТНИО, имеются альтернативы таких последовательностей, в том числе вложенные — при выполнении ТлОп параллельно на нескольких РМ, — но нет последовательно выполняемых ОП симплексов (параллельные есть, в составе сечений).

Эта ТГМ в виде поддерева описывает подготовку и затем выполнение и завершение (возможно, одновременное, в соответствии с ТГМ сечений) элементов (линейных) последовательностей симплексов в системе — так, что для выполнения последующей совокупности симплексов предполагается выполнение ТИО разных видов, а затем — выполнение последующих ТНИО. В такой ТГМ параллельно выполняемые ТлОп на разных РМ описываются сечениями.

Пример формирования слоя состояний и переходов приведён ниже для фрагмента сети симплексов. Квадратами отмечены симплексы, формирующие состояния каждого из слоёв. Для простоты ТИО не изображены. Они должны реализоваться в каждом переходе слоя.

На дереве квадратами обозначены два сечения выполнения нескольких симплексов (на разных РМ). Состояния при выполнении РС-1, РС-2 включены внутрь комплексных состояний для упрощения ТГМ (рисунок 40).

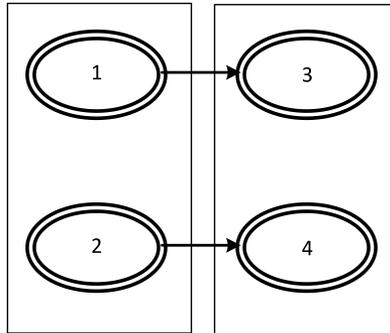


Рисунок 40. Пример формирования сечений слоя симплексов

Формирование слоёв состояний проиллюстрировано на рисунке 41.

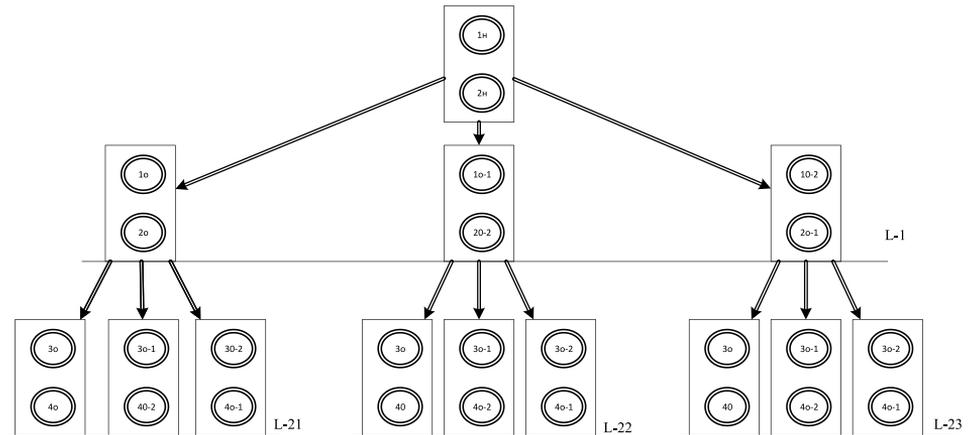


Рисунок 41. Формирование слоёв состояний и переходов для фрагмента сети симплексов

L1 — первый слой. Начинается из состояния PC-1 (включённого в комплексное состояние), соответствующего выдаче предписаний «начать симплекс 1 и 2». Заканчивается состояниями (включёнными в комплексное состояние), соответствующими передаче сведений с РМ о результатах выполнения симплексов. Здесь такие сведения — окончание 1-го и 2-го симплекса одновременно, окончание сначала первого (затем второго), окончание сначала второго (затем первого).

L2 — второй слой. Состоит из альтернатив L21, L22, L23 — в зависимости от того, какое состояние наблюдалось по окончании первого слоя (т. е. в зависимости от начального состояния). Оканчивается аналогично — состояниями, соответствующими передаче сведений с РМ о результатах выполнения симплексов 3 и 4 — одновременно, сначала 3, сначала 4. Эти сведения передаются с РМ (с PC-2) на PC-1, состояния передачи сокрыты внутри комплексных состояний.

Как было указано при разработке ТММ слоя, в модели слоя возможны состояния и переходы, связанные как отношениями «исключительного или»

(альтернативности) и импликации (как в модели симплекса), так и отношениями «И» — одновременного выполнения на разных РМ — и их комбинации («и/или», «неисключительное или»).

В примере отношение «И» соответствует парам состояний РМ (наблюдается состояние 1 «И» состояние 2), отношение «ИЛИ» соответствует альтернативным ветвлениям в узлах дерева, отношение импликации соответствует парам состояний (переходам).

Тем самым отношения «И», отношения «И + ИЛИ» предложено передавать вложенными вершинами, соответствующими комплексным состояниям, образованным композицией состояний нескольких РМ и их альтернативными сочетаниями. В результате формируемое дерево состояний может иметь вложенный вид. Пример ТГМ вложенных альтернативных состояний для случая параллельно выполняемых ТлОп — на разных РМ — приведён ниже (рисунок 44). В общем случае ТГМ вложенных альтернативных состояний включает столько элементов, сколько рассматривается РМ.

При этом в элементарных альтернативных последовательностях могут отражаться состояния, связанные отношением вложения, отношением перехода, а переходы могут быть связаны отношением исключающего «ИЛИ» с другими переходами, образуя альтернативные последовательности переходов.

ТГМ слоя представляет собой ТГМ (возможно, вложенную) альтернативных последовательностей ТИО и вызванных ими ТНИО для СТС в целом между проверками соответствия состояния СТС требованиям среды. Они используются для описания последовательностей слоёв, описывающих функционирование СТС на границе со средой. Затем модели слоя сопрягаются с ТГМ соответствия результата функционирования требованиям среды.

ТГМ последовательности слоёв может быть *расширена описанием достигнутого (частично) соответствия эффектов требованиям*. В результате может быть получена ТГМ *дерева слоёв соответствий требованиям*, каждая вершина которого — слой с ассоциированной с ним моделью соответствия эффектов функционирования требованиям среды. Каждый слой такого дерева слоёв строится при условии того, что входное состояние системы, среды — а значит, и их соответствие — приняло определённое значение. Разным состояниям на выходе предшествующих (родительских) слоёв соответствуют разные последующие («дочерние») слои. Как следствие, формируется структура дерева.

Пример ветви дерева слоёв и соответствий показан на рисунке 42. Прямоугольникам со стрелками внутри соответствует комплексная модель слоя и моделей соответствий результатов функционирования требованиям. Последние сопоставляются каждому из выходных портов слоя.

С ветвью B_j дерева слоёв ассоциирована комплексная последовательность состояний (связанных причинно-следственными связями) на границе СТС и среды и их соответствий:

$$B_j(B_u^E) \sim L_j(B_u^E) = L_{j,z} = S_j^s(t_i, E_i, B_u^E), \dots, S_z^s(t_{i+1}, E_{i+1}, B_u^E);$$

$$B_u^E = S_u^E(t_i, E_u), \dots, S_w^E(t_{i+1}, E_{u+1}).$$

\sim — знак ассоциации с элементами ТГМ.

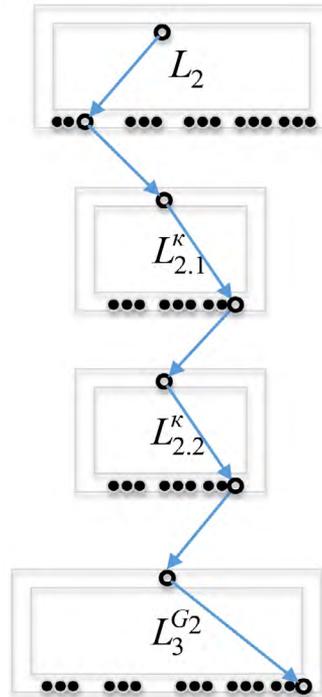


Рисунок 42. Ветвь дерева слоёв соответствия требованиям

$B_j(B_u^E)$ — последовательность комплексных состояний СТС (ветвь дерева слоёв) при условии заданной последовательности состояний среды СТС B_u^E и заданном их соответствии.

$S_j^s(t_i, E_i, B_u^E), \dots, S_z^s(t_{i+1}, E_{i+1}, B_u^E)$ — переходы между состояниями СТС при условии заданных состояний B_u^E среды СТС.

$S_u^E(t_i, E_u), \dots, S_w^E(t_{i+1}, E_{k+1})$ — переходы между состояниями среды СТС.

L_j — j -й слой при функционировании СТС, каждый слой задаётся как последовательности (возможно, вложенных) состояний $L_{j,z}$.

$S_j^s(t_i, E_i)$ — одно из (вложенных) состояний СТС в последовательности состояний СТС от состояния в момент завершения проверки соответствия в результате РС-1 в t_i до следующего момента завершения проверки соответствия в результате следующего РС-1 в t_{i+1} .

Ветви дерева соответствуют зафиксированным последовательностям состояний из слоёв до L_j : $L_{1i}, L_{2w}, \dots, L_{(j-1)p}$.

Возможные состояния СТС в результате изменений, последующих за произошедшими изменениями (переходами), — совокупность возможных состояний СТС при функционировании в последующие моменты времени проверки состояний на границе СТС и среды при условии того, что последовательность реализованных переходов задана. Они соответствуют продолжениям ветви B_j : B_{j+n} :

$$B_{j+n} \sim L_{j+n} \left(\dots \left(L_j^e(L_{1i}, L_{2w}, \dots, L_{(j-1)p}) \right) \right).$$

В результате расчёта характеристик, ассоциированных с элементами дерева, становится возможным перейти к рекуррентному расчёту показателя потенциала. При этом модели слоёв позволяют выполнить линеаризацию вычислений и автоматизировать переход к программным моделям за счёт формирования многомерных массивов, по измерениям которых реализуются однотипные (и линеаризованные) вычисления.

Для линеаризации и матричного представления реализуются алгоритмы нумерации элементов ТГМ, в частности — деревьев слоёв.

Нумерация реализует отображение $F^u: \langle j, n, i, k, p, z \rangle \Rightarrow [u]$, где $[u]$ — многомерный индекс универсального массива $U_{[u]}$, используемого для расчёта характеристик ТГМ. Далее в ряде случаев частные индексы заменяются универсальными $[u]$.

Универсальные индексы по разным измерениям могут содержать ключи (идентификаторы) строк, подматриц. Такие ключи могут быть использованы совместно с ТГМ — например, с использованием портов ТГМ. Порт ТГМ — пронумерованная уникальным номером (идентификатором) часть ТГМ, как правило, используемая для упрощения отображения комплексной ТГМ.

Исследуем отношения, передаваемые с использованием ТГМ слоя, детальнее. В рассмотренном выше примере эти последовательности были показаны комплексно (симплексами), ТИО не отражались (рисунок 41). Рассмотрим формирование альтернатив с учётом ТИО (рисунок 43).

Модель одной последовательности состояний и переходов заданного слоя для случая последовательно выполняемых ТлОп слоя показана на рисунке 43.

На схеме с использованием полужирных окружностей-точек представлены порты как места альтернативных ветвлений ТГМ вида «исключающее ИЛИ», т. е. портами идентифицированы альтернативы. В модели дерева слоёв первому и последнему портам последовательности состояний соответствуют входной и один из выходных портов слоя.

Спецификация последовательностей примет вид (места ветвлений представлены многоточием, состояния переданы условными номерами индекса):

```
Graph Layer1; {
(s.0.1, {s.1.1,});
(s.1.1, {s.1.1.1,});
(s.1...1, {s.1...1,});}
```

Причём элемент-состояние в начале первой строки соответствует окончанию РС-1, а элементы в конце последней строки соответствуют началу последующего РС-1. Совокупность строковых описаний представления ТГМ может быть преобразована в многомерную матричную структуру $U_{[u]}$.

Каждая строка соответствует комплексу возможных переходов из заданного состояния. В последовательностях состояния и их характеристики структурированы так, что, следуя в последовательности строк и пересчитываемая зависимые и независимые переменные, будет рассчитано одно из возможных состояний перед началом РС-1, последующим за заданным.

Пусть теперь имеется два параллельно выполняемых ТОП прямо после состояния $s_{1.1.1}^{pc2k}$ окончания РС-2. Они начинаются одновременно с состояниями $s_{1.1.1.1}^{он}$ для первого ТОП и $s_{1.1.1.2}^{он}$ для второго ТОП, и эти состояния связаны отношением «И» (рисунок 44).



Рисунок 43. Пример реализации одной последовательности состояний и переходов заданного слоя ТлОп

Эти отношения предложено передавать вложенным деревом. Последовательности его рёбер связаны отношением «И», а ветвления (в портах) — «ИЛИ». Пусть ТОП могут окончиться в любой последовательности (1, но не 2, 2, но не 1, оба вместе). Эти варианты состояния окончания и связаны отношением «ИЛИ».

Соответствующий фрагмент дерева состояний и переходов (от окончания первого РС-2 (1.1.1) до начала следующего — 2) примет вид (рисунок 44).

Здесь $s_{1.1.1}^{pc2ок}$ — состояние окончания первого РС-1.

$s_{2.1}^{pc2н}$, $s_{2.2}^{pc2н}$, $s_{2.3}^{pc2н}$ — возможные состояния начала последующего (второго) РС-2.

Фигурами с двойной линией обведены состояния (комплексные) РМ.

Одинарной линией представлены 3 возможных комплексных ТОП выполнения ТОП 1.1.1.1 на РМ1 и ТОП 1.1.1.2 на РМ2 совместно.

Эти комплексные ТОП заканчиваются одним из комплексных же состояний:

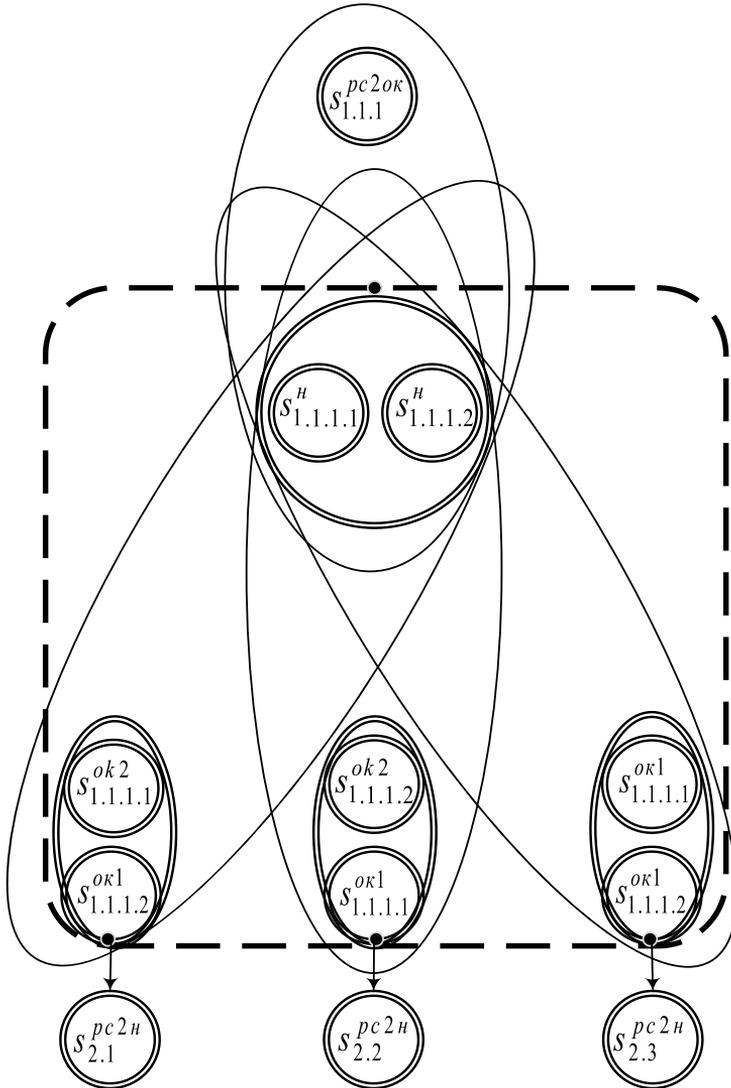


Рисунок 44. ТГМ вложенных состояний при выполнении ТлОп параллельно

$S_{1.1.1.1}^{ok2}$ и $S_{1.1.1.2}^{ok1}$ — первой — после комплексного состояния начала ТОП на двух РМ совместно — окончилась ТОП 1.1.1.2 («вторая»);

$S_{1.1.1.1}^{ok1}$ и $S_{1.1.1.2}^{ok2}$ — первой (после комплексного состояния начала ТОП на двух РМ совместно) окончилась ТОП 1.1.1.1 («первая»);

$S_{1.1.1.1}^{ok1}$ и $S_{1.1.1.2}^{ok1}$ — ТОП окончились вместе (после комплексного состояния начала ТОП на двух РМ совместно).

В спецификации ТГМ этот фрагмент примет вид:

```
Graph LayerParallel;
{ ...
(Spc1к, {Sn1...1 + Sn1...2} // переход к началу действий на двух РМ со-
вместно
({Sn1...1 + Sn1...2}, (SOк-2-1...1 + SOк-1...2)); // Первой окончилась
вторая
({Sn1...1 + Sn1...2}, (SOк-2-1...2+SOк-1-1...1)); // Первой окончилась
первая
({Sn1...1 + Sn1...2}, (S Ok-1-1...1+SOк-1-1-1...2)); // Окончились одно-
временно
} ...
```

где «+» имеет смысл отношения «AND» — «наблюдаться вместе».

Такого рода альтернативно-совместные комбинации последовательностей состояний будем изображать с использованием фигур с портами.

Так, возможно использовать такие порты, которые ассоциированы с (т. е. с идентифицированными номерами портов) состояниями — возможно, комплексными, в которых, за счёт выполнения последовательностей расчётов характеристик, соответствующих порту ТГМ, получены значения характеристик состояний, т. е. переменные (зависимые) величины рассчитаны. Для этого нумерация ТГМ должна быть реализована в допустимой — для расчётов характеристик состояний — последовательности — например, в лексикографическом порядке сортировки. Тем самым для последующих расчётов указание предшествующих такому порту состояний может быть опущено. Такие порты целесообразно использовать, например, для описания ветвлений последовательностей состояний и переходов.

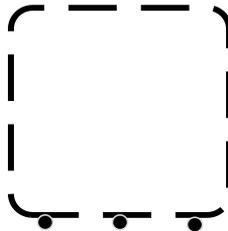


Рисунок 45. Реализация портов в составе гипердуги

Если порт — не висячая вершина, то за ним имеются другие состояния, для расчёта характеристик которых (т. е. для расчёта последующих за портом состояний) необходимо выполнить заданные ТОП математические действия с характеристиками состояний. Для этого следует показать элементы ТГМ, заданной портом, и в результате — «скрытые». Эти действия назовём «раскрытием» порта. Благодаря такому раскрытию рассчитываются последующие порты, а затем рекуррентно продолжается раскрытие последующих уже за ними портов. В результате описанного рекуррентного раскрытия рассчитывают все дерево состояний и переходов.

Такому рекуррентному раскрытию в программной модели соответствуют последовательности вычислений в многомерном массиве. Каждый порт

может быть раскрыт через комплексы состояний и переходов как результат совокупности математических действий с характеристиками состояний. Математические действия предпринимаются для отражения характеристик выполнения (возможно, комплексных) ТОП. Таким образом, математические действия повторяют последовательность действий в предметном мире.

Указание структуры состояний и переходов позволяет сформировать, а затем и раскрыть порты и тем самым раскрыть структуру последовательностей вычислений, соответствующих структуре и составу портов. Для удобства описания дерева состояний и переходов его фрагменты могут быть описаны указанием первого порта (входного, т. е. порта, необходимого для расчётов последующих) и комплекса последующих — выходных, рассчитываемых на основе первого, входного порта, — так, чтобы между ними находились все необходимые для расчёта элементы подмодели. На основе портов возможно последующее комплексирование ТГИМ и расчётов с их помощью.

Указание последовательно рассчитываемых подмоделей на основе портов возможно, если в составе подмодели внутри подграфа — ограниченного смежными портами — имеются все состояния, которые необходимы для расчёта (т. е. все требуемые для расчёта характеристики, ассоциированные с состояниями), и все требуемые для расчёта соотношения между переменными и характеристиками (ассоциированные с переходами). Такие составляющие подмодель элементы и рассчитываемые характеристики могут быть скрыты или представлены (раскрыты) на модели, как и сама ТГМ.

Пример представления ТГМ-подмодели в нераскрытом (рисунок 46) и раскрытом (рисунок 47) виде показан ниже.

На схеме составляющие подмодель элементы представлены гипердугами и вложенными гипердугами. Наличие таких гипердуг означает наличие функционального соотношения, связывающего значения рассчитанных характеристик входного порта со значениями (зависимых) переменных выходного порта. Элементы, составляющие подмодель, «ограниченную портами», в ряде случаев могут быть представлены в виде комплексов графов, дуги которых передают разные виды отношений. Пример такого представления показан на рисунке 48. В примере разные виды введённых бинарных отношений переданы номерами в скобках, ассоциированными с дугами. Кроме введения бинарных отношений реализовано отображение нумераций подграфов.

- (1) — вид отношения «быть причиной и следствием»;
- (2) — вид отношения «реализоваться вместе»;
- (3) — вид отношения «реализоваться как альтернативные варианты».

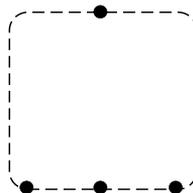


Рисунок 46. Порты в нераскрытом виде

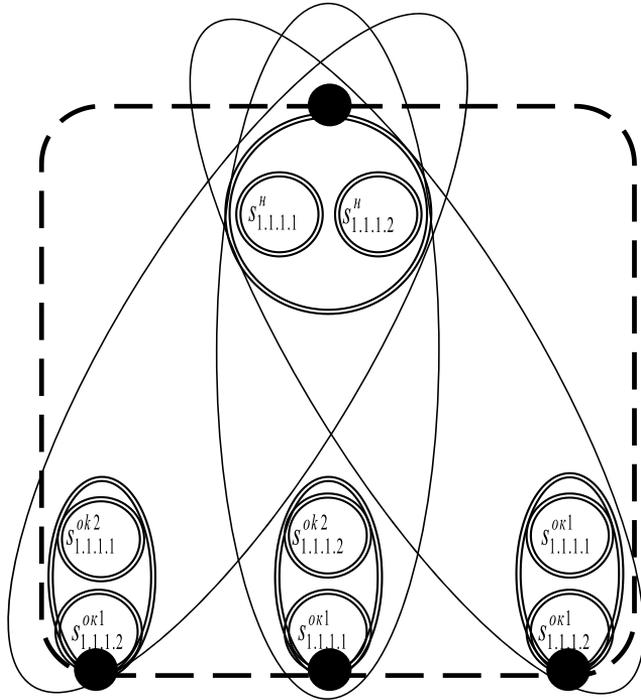


Рисунок 47. Порты в раскрытом с использованием вложенной гиперграфовой модели виде

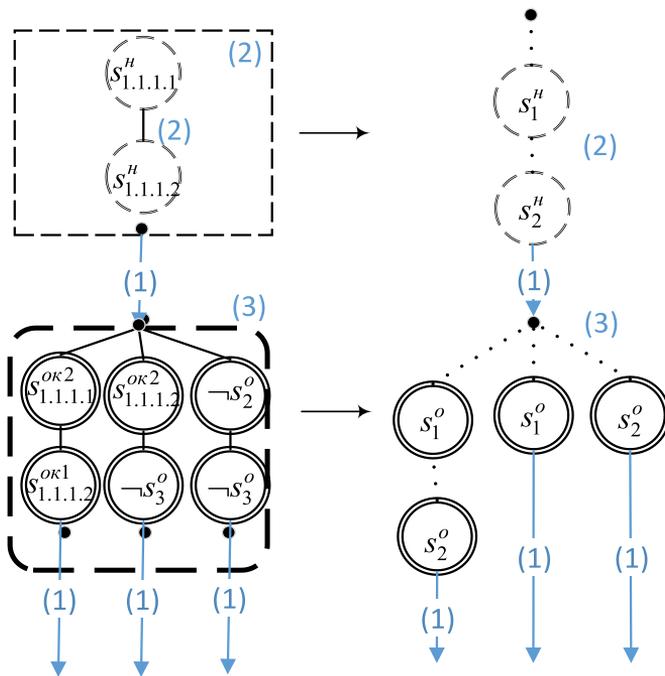


Рисунок 48. Отображение вложенной гиперграфовой модели в комплекс моделей

Отношения разных видов соединены портами, поскольку подмодели (заданные отношениями одного типа) в примере позволяют рассчитывать зависимые характеристики при заданных исходных характеристиках. Таким образом, порты могут играть роль элементов, позволяющих комплексировать модели и сохранять полученные результаты моделирования.

Рассмотрим пример ТГМ последовательности состояний и переходов для случая представления ТГМ комплексом теоретико-графовых моделей с отношениями разного вида, передаваемых подграфами, и с использованием портов для промежуточных результатов моделирования. Рассмотрим пример представления композиции комбинаций состояний и переходов слоя (обозначен L_2) при реализации симплексов. Он показан на рисунке (рисунок 48).

Небольшими чёрными окружностями представлены порты слоя.

Соответственно, в верхней части графической схемы представлен входной порт слоя (начальное состояние, при условии которого рассчитаны остальные состояния слоя).

В нижней части схематического представления композиции комбинаций состояний слоя представлены выходные порты слоя (конечные состояния слоя, при условии осуществления одного из которых рассчитаны состояния последующего слоя). Представленная графическая схема может быть описана одноуровневым поддеревом или дугой эшграфа [177, 184], метаграфа [185, 186], гиперсети [14] — так, что, кроме портов, остальные состояния скрыты.

Полученное поддерево позволяет определить отображение характеристик входного порта слоя в выходные порты и закон распределения вероятностей реализации этих портов как композиции описанных ранее отображений.

При композиции состояний и переходов слоя используется ряд ограничений на последовательности состояний, передаваемых ветвью дерева состояний и переходов.

Во-первых, будем считать, что выходные вершины слоя обладают свойством допустимости — из этих состояний могут быть выполнены дальнейшие действия по расчёту характеристик, т. е. выходные состояния рассчитываемы.

Во-вторых, будем предполагать вершины слоя таковыми, что состояние, соответствующее входной вершине слоя, сформировано в результате реализации закончившейся РС-1 (той, которая сформировала предписания), и состояния, соответствующие выходным портам, переданы на РС-1, последующую за сформировавшей предписания.

Иначе, если РС-1 моделируются как реализуемые непрерывно, то между моментами выдачи предписаний для выполнения и моментом получения ответа от РС-2 о выполнении симплексов реализуется ожидание.

Указанные принципы и допущения композиции состояний при реализации слоя (слоя состояний и переходов между ними, соответствующих выполняемым симплексам) позволяют далее перейти к описанию последовательностей состояний, пользуясь лишь моделями слоёв.

Пусть в результате выполнения второго слоя зафиксировано третье выходное состояние. В результате реализован переход, выделенный на рисунке ниже.

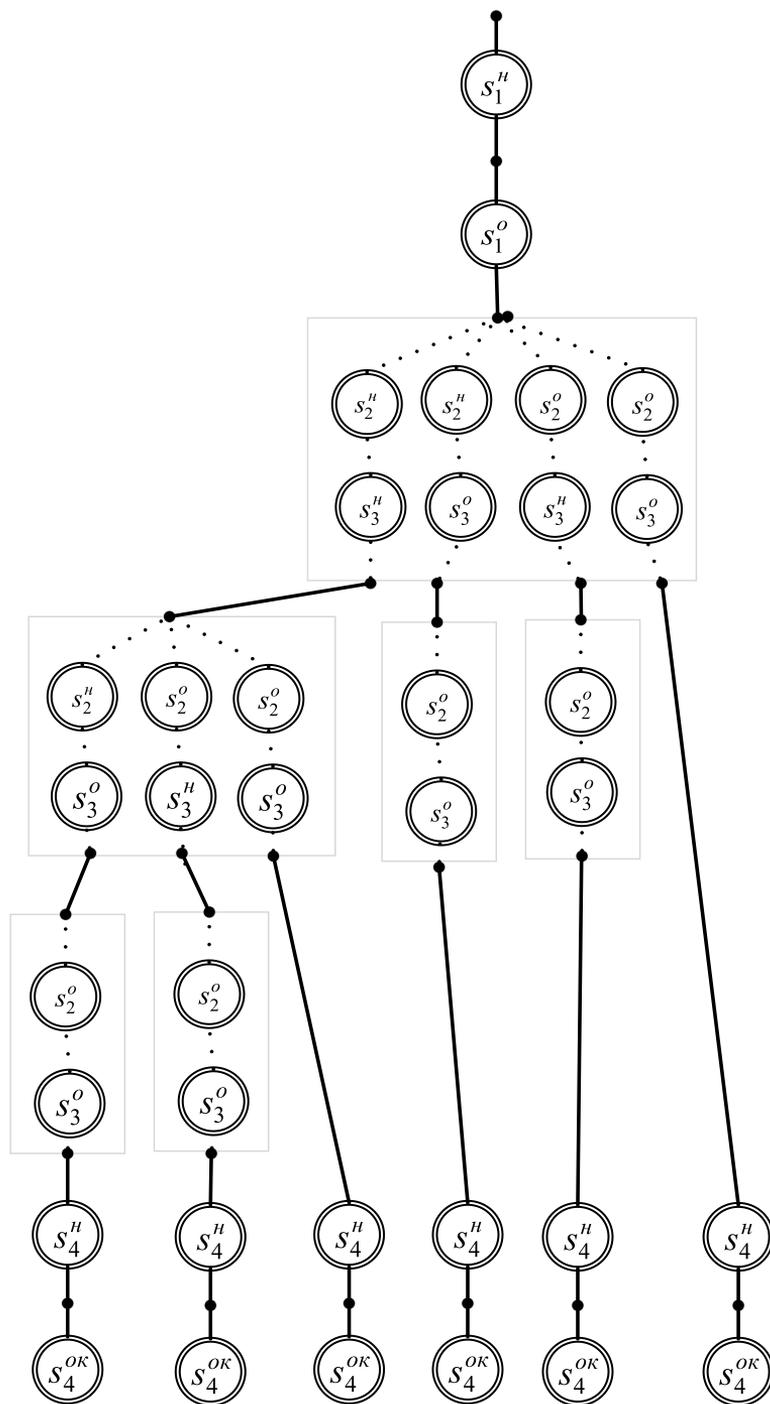


Рисунок 49. Пример теоретико-графовых моделей с отношениями разного вида, передаваемых подграфами и портами между моделями

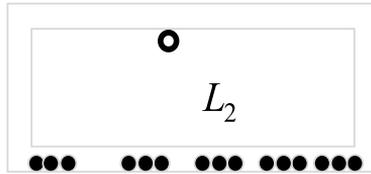


Рисунок 50. Представление портов одного слоя

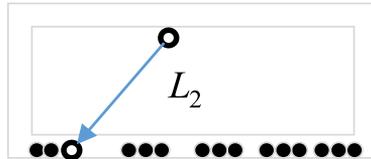


Рисунок 51. Реализация перехода

Выходное состояние соответствует тому, что состояние выполнения второго симплекса S_2 окончено, а S_3 ещё длится. При этом по результатам выполнения S_2 отсутствуют ошибки.

Пусть теперь до момента времени получения РС-1 сведений о достигнутом допустимом состоянии состояние среды изменилось так, что поменялись и требования к функционированию СТС.

Требования меняются для всех последующих РС-1 (или к моментам времени окончания ожиданий, если РС-1 считается непрерывной).

Для указанной новой (сменившей заданную) последовательности требований предписания предполагаются заданными.

Для перехода к достижению новой цели может оказаться необходимым выполнить конверсию (в некоторых случаях такой необходимости может и не быть, тогда конверсионных слоёв нет).

В рассматриваемом случае S_2 ещё длится, поэтому предполагается, что сначала её нужно закончить.

Соответствующие состояния образуют первый слой $L_{2.1}^k$ конверсии (рисунок 52 ниже).

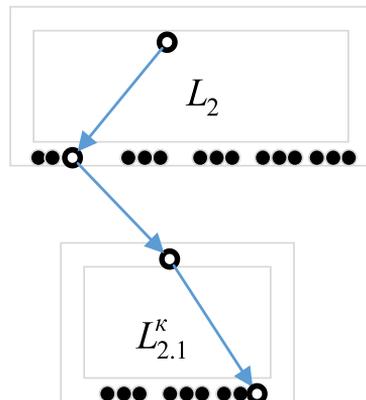


Рисунок 52. Слои целевых ТлОп и ТлОп конверсии

В примере предполагается, что такая конверсия закончится успешным окончанием обоих симплексов без ошибок. Этому случаю соответствует ветвь дерева, изображённая на рисунке ниже.

Заметим, что состояния, соответствующие частичному окончанию мероприятий, в модель не включены (включены только состояния окончания обоих мероприятий с разной успешностью).

Затем необходимо привести в исходное состояние оба использовавшихся РМ (2 и 3).

В результате должен быть реализован второй слой $L_{2.2}^K$ конверсии (см. рисунок 53 ниже).

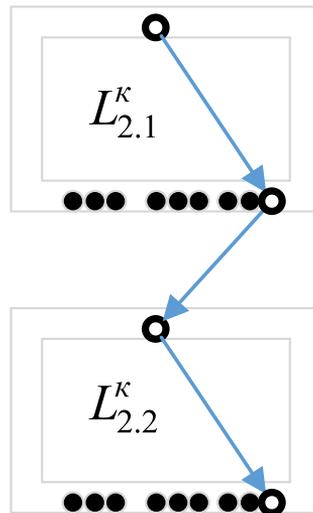


Рисунок 53. Несколько слоёв конверсии, следующих друг за другом

В примере снова, как и в предыдущем слое, невозможно частичное окончание симплексов в портах. Они должны, в соответствии с допущениями, закончиться полностью. Однако возможны разные сочетания состояний безошибочности их окончания.

Указанные допущения позволяют декомпозировать ТГМ так, чтобы расчёт слоёв мог быть реализован отдельно от расчёта ТГМ функционирования СТС.

Варианту, показанному на рисунке, соответствует безошибочное окончание (отсутствие ошибок и первого, и второго рода). Выполнение конверсионных мероприятий совместно с мероприятиями достижения новой цели не допускается. Поэтому состояний частичного окончания, а также мероприятий разных видов в слое быть не может. Далее начинается слой $L_3^{G_2}$ достижения изменившейся (при реализации соответствующего РС-1) цели.

На схеме (рисунок 54) представлен пример такой реализации, соответствующий успешному и безошибочному окончанию конверсионных мероприятий, по модели, проиллюстрированной выше.

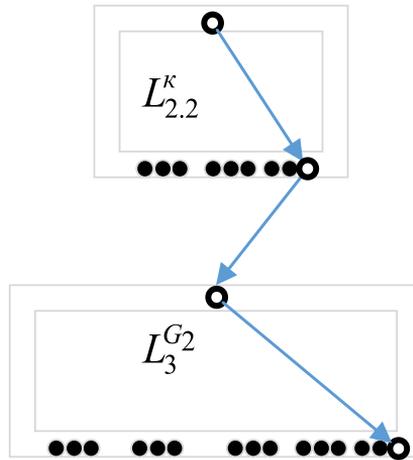


Рисунок 54. Слой конверсионных и последующих за ним целевых операций

Предполагается, что на РМ 2 и 3 (на которых закончилась конверсия) параллельно начинают выполняться два симплекса. Теперь возможны состояния частичного окончания симплексов. В примере же выбран случай, когда оба мероприятия — снова, как и конверсионные — заканчиваются успешно и безошибочно. Далее реализуется («послойное») достижение цели G_2 путём выполнения требуемых планом $L_i^{G_2}$.

Каждому из таких последовательно раскрываемых ветвей дерева сопоставим совокупность функциональных соотношений, позволяющих рассчитать эффекты функционирования в заданных условиях воздействия среды. Для упрощения раскрытия оно может быть реализовано послойно.

При таком, послойном, представлении каждому переходу из состояния в состояние (комплексному переходу), передаваемому дугой слоя, соответствует последовательность состояний СТС и способов действий (информационных и неинформационных). Эти последовательности соответствуют выполнению одной или нескольких последовательностей из одной ТНИО и нескольких ТИО. Причём если таких последовательностей ТИО и ТНИО несколько, это означает, что одновременно могут длиться несколько ТНИО (и ТИО). По таким слоям возможна декомпозиция ТГМ. С использованием построенных моделей строятся параметрические и функциональные модели, а также ТГМ альтернатив функционирования.

3.1.2.14. Теоретико-графовая модель альтернатив функционирования

Альтернативы предложено представлять ТГМ деревьев альтернатив. Дерево альтернатив — такое дерево, что рёбра дерева, исходящие из одной родительской вершины, связаны отношением альтернативного исключительного «ИЛИ» — «АХОР».

Такое дерево альтернатив может быть, в случае необходимости, композировано с деревьями состояний и переходов (или деревьев мероприятий) — так, чтобы каждая альтернатива (ветвление АХОР) следовало за

проверкой состояния среды и его соответствия состоянию системы при реализации РС-1 и предшествовало реализации РС-2 и симплексов на РМ. В этом случае многомерная матрица $U_{[u]}$ включает в свой состав подматрицу $U^a_{[u]} \subset U_{[u]}$, задающую альтернативы функционирования.

Ветви дерева альтернатив задают возможные альтернативы функционирования СТС при известных последовательностях возможных воздействий среды. Каждая альтернатива должна быть представлена как возможная или уже назначенная (выбранная), альтернативная «реакция» на заданные реализации изменяющихся требований среды.

Дерево альтернатив параметризуется характеристиками альтернатив (предписаниями, параметрами), вероятностями актуализации комплексов альтернатив. Некоторые из альтернатив — реакций на заданное воздействие — предполагаются детерминированными и заданными. Это допущение моделирования, которое может быть снято в дальнейшем, и тогда может осуществляться вероятностный выбор реакции. При этом реализация детерминированной реакции СТС (элементов СТС) на изменения среды может приводить к ряду вероятностных альтернатив в результате воздействий среды на функционирование.

3.1.3. Разработка теоретико-графовых моделей среды СТС, соответствий на границе СТС и среды

3.1.3.1. Теоретико-графовая модель среды

Теоретико-графовая модель среды включает такие модели, как модель состава и функций среды, модель действий среды, сценариев функционирования среды, модель состояний и переходов при функционировании среды.

Модель состава среды описывается аналогично модели состава СТС. Однако модель состава среды может быть вырожденной — в случае, если состав среды не исследуется. Функциональная модель среды задаётся моделью сценария функционирования среды (и, возможно, другими моделями) и проявляется в виде последовательности состояний среды на границе СТС и среды.

Сценарий функционирования среды — последовательность действий (и соответствующих им состояний), возможных при функционировании среды.

Такие изменяющиеся требования проявляются и должны моделироваться как результат возможных действий в среде. Эти действия могут, например, моделироваться так же, как и действия СТС, в виде сетевых графиков. Однако учёт особенностей функционирования среды должен учитываться моделями действий среды. Такой учёт, в частности, может быть реализован за счёт указания *альтернативных последовательностей действий среды*, в результате чего могут быть корректнее учтены случайности при функционировании среды.

В результате того, что действия в среде, последующие изменения требований и реакции на них системы могут реализоваться последовательно и несколько раз, ТГМ среды могут представлять собой последовательности

сменяющих друг друга подпоследовательностей требований в результате последовательностей действий среды и затем — ТГМ последовательностей реакций на изменяющиеся требования. Поэтому в ветви дерева альтернатив за действием среды следует изменение требований, а затем возможным последовательностям изменения требований соответствует возможное изменение альтернатив действия СТС. Такие последовательности образуют ТГМ деревьев действий среды и изменений требований и ТГМ деревьев изменений требований и возможных изменений альтернатив.

Пример возможной ТГМ в виде дерева альтернативных последовательностей действий среды приведён на рисунке 55.

На основе этого дерева путём сопоставления каждой возможной последовательности действий, соответствующих действиям среды, — требований со стороны среды в различные моменты времени — формируется модель требований в разные моменты времени.

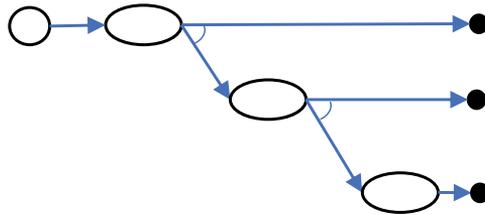


Рисунок 55. Пример теоретико-графовой модели возможных действий среды

Последовательности состояний на границе СТС и среды — состояния, требуемые средой при функционировании СТС.

Используется допущение, состоящее в том, что такие состояния проверяются на границе только при реализации РС-1, причём порядок между реализацией РС-1 и мероприятий СТС задан.

Состояния проверяются при реализации РС-1. Переходы вызваны реализацией того или иного действия в соответствии со сценарием или с отсутствием нового действия по сценарию.

3.1.3.2. Теоретико-графовые модели соответствия состояний на границе среды и СТС

Модель соответствия задаётся двудольным графом. Левая доля графа задаёт состав эффектов, правая — требования к эффектам. Дуги между вершинами левой и правой долей задают требуемый вид отношения между эффектами.

Параметризованная ТГМ соответствия состояний на границе среды и СТС — граф с пометкой случайными величинами и вероятностными мерами соответствия этих величин, заданной с использованием графа.

При этом вероятностные меры характеризуют пары пометок вершин, следовательно, дуги двудольных графов. Они соответствуют мерам возможности реализации требуемого отношения между случайными величинами — пометками вершин двудольного графа.

На рисунке ниже (рисунок 56) показано простейшее случайное соответствие на графе. Вершине слева соответствует случайная величина эффекта, вершине справа — величина — пусть неслучайная — требования к эффекту. Отношение между вершинами описывает требуемое отношение $\mu_1(\hat{Y}, Y^d; R_1) = Poss(P_{R_1}(\hat{Y}, Y^d))$ между прогнозируемым эффектом и требованием.

$P_{R_1}(\hat{Y}, Y^d)$ — значение неопределённого предиката, заданного отношением R_1 . Предикат принимает значение «истина», если отношение реализовано, и «ложь» — иначе.

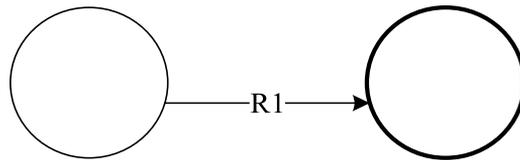


Рисунок 56. Простейшее случайное соответствие на графе

Мера μ_1 может быть интерпретирована как мера возможности реализации ребра между вершинами, т. е. реализация отношения и соответствующая дуга между вершинами — случайное событие (может быть, а может и не быть в графе). Мера возможности его реализации — μ_1 .

Эта мера может быть использована как показатель (элементарный, для рассмотренного элементарного случая) операционных свойств.

Вершины графа соответствия могут быть ассоциированы с ТГМ, характеризующимися случайностями. Например, если эти вершины ассоциированы со случайными событиями, состоящими в реализации альтернативных последовательности состояний и переходов между ними.

Тогда могут реализоваться разные последовательности. В этом случае случайные величины \hat{Y} характеризуют различные альтернативные реализации функционирования в различных условиях (различные последовательности состояний и переходов).

На рисунке изображён случай, когда имеется три реализации функционирования (ассоциированы с вершинами правой доли двудольного графа) и в каждой из реализаций наблюдается три эффекта, требования к которым ассоциированы с вершинами из правой доли.

Тогда мера возможности соответствия эффектов требованиям ассоциирована с каждой из дуг (у графа случайные дуги, мера возможности реализации которых рассчитана как мера возможности реализации случайного соответствия между величинами прогнозируемых эффектов и требованиями).

Мера возможности реализации последовательности состояний и переходов — мера возможности случайного события, состоящего в реализации соответствующей вершины.

Тогда мера возможности того, что будет реализован случайный подграф «имеется соответствие» двудольного графа, может быть использована как показатель потенциала.

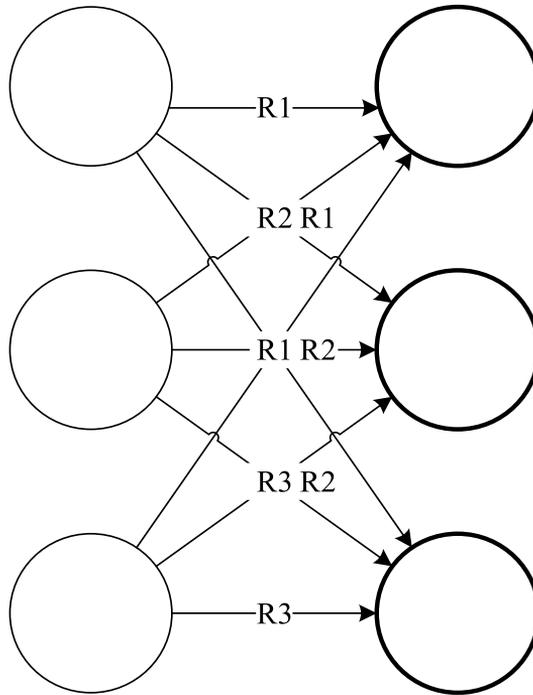


Рисунок 57. Двудольный граф — модель соответствия на границе в заданный момент времени

В рассматриваемом случае вершины справа могут быть ассоциированы с несколькими случайными величинами эффектов, а справа — только с одним требованием.

Для симметричности будем полагать, что требования тоже могут соответствовать одной вершине. Тогда граф станет мультиграфом — как на рисунке ниже. Пусть теперь вершины правой доли тоже случайны, и это соответствует тому, что требования к эффектам случайны, а если значения требований приняли какое-то значение, то реализована соответствующая вершина.

Полученные модели состояний СТС, среды и переходов между ними позволяют перейти к описанию моделей соответствия последовательностей состояний на границе СТС и среды.

Рассмотрим ТГМ соответствия последовательностей состояний на границе СТС и среды.

Установление соответствия или композиция — алгебраической, графовой — модели состояний и переходов в результате функционирования среды C^p и модели состояний и переходов в результате реализации симплексов при функционировании СТС C^{CTC} реализуется для каждой из последовательностей S_h^s возможных состояний и переходов. Последовательности S_h^s ассоциированы ($S_h^s \sim B_i$) с ветками B_i теоретико-графовой модели дерева $T\{S_h\}$ последовательностей состояний.

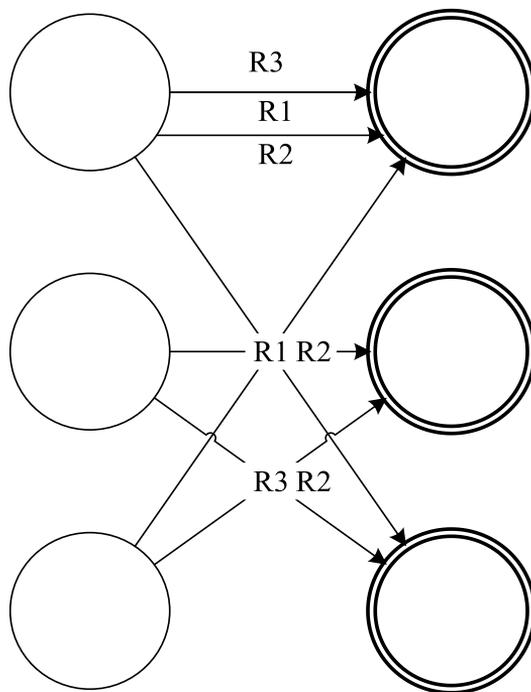


Рисунок 58. Мультиграф-версия

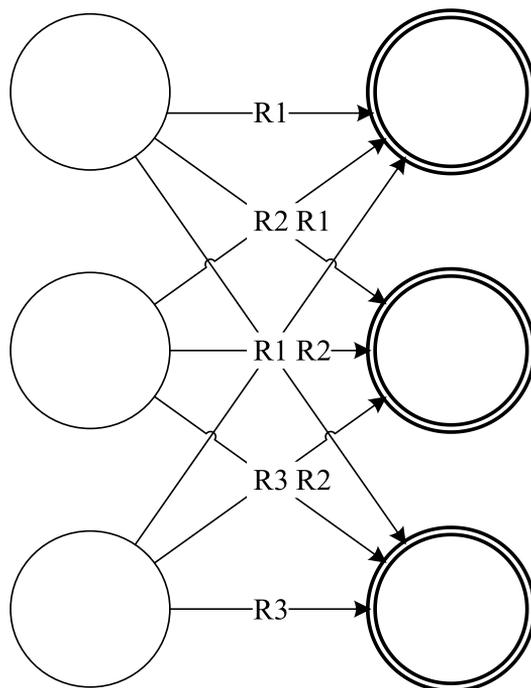


Рисунок 59. Случайное соответствие

Дерево $T(S_h)$ ассоциировано с моделью $C^{CTC}(c_m^{Cp}) \sim T(S_h)$, где c_m^{Cp} — модель последовательности состояний и переходов среды. c_m^{Cp} ассоциирована с веткой B_j^S ($c_m^{Cp} \sim B_j^S$) дерева состояний и переходов среды T^C . T^C — теоретико-графовая модель, порождённая из модели состояний и переходов среды c_m^{Cp} . $|C^{Cp}| = M = |B_j^C \in T^C, j = \overline{1, S_C}|$.

Множество последовательностей состояний и переходов в результате функционирования СТС (модель функционирования СТС C^{CTC}) построено при условии, что последовательность состояний и переходов среды $c_m^{Cp} \in C^{Cp}$ задана, то есть $|C^{CTC}(c_m^{Cp})| = L_m$, а значит, задана и соответствующая ветка теоретико-графовой модели состояний и переходов среды. Далее, говоря о последовательностях состояний и переходов системы, будем предполагать, что она построена для заданной $c_m^{Cp} \in C^{Cp}$, т. е. $l_m \in \overline{1, L_m}$.

Это означает, что задано отношение между каждой последовательностью $c_m^{Cp} \in C^{Cp}$ и соответствующей ей $C^{CTC}(c_m^{Cp})$. В результате задания такого отношения возможно получить объемлющее множество последовательностей, построенное для множества последовательностей, таких что $c_m^{Cp} \in C^{Cp}$.

В теоретико-графовых моделях указанная зависимость — между ветвями объемлющего дерева $T = \bigcup_{h=\overline{1, B}} T(S_h)$ и T^C . Она устанавливается путём указания взаимно-однозначного соответствия между веткой (подветкой) состояний в результате функционирования среды и множеством веток объемлющего дерева состояний и переходов при функционировании СТС (т. е. указания на поддерево $T(S_h)$ дерева T).

$$\left| C^{CTC}(c_m^{Cp}) \right| = |T(S_h)|, |C^{CTC}| = |T|.$$

На дереве слоёв состояний и переходов соответствие между последовательностью (подпоследовательностью) состояний среды (подветвью дерева состояний и переходов среды) и слоем может быть установлено по состоянию среды в результате перехода, лежащего на B_j^C . Этому состоянию может соответствовать конечное число подветок B_j объемлющего дерева состояний и переходов СТС. Эти подветки таковы, что в каждой из них имеется такая последовательность переходов, реализуемых РС-1, что в этой последовательности состояния, требуемые средой, те же, что и в (заданной) ветке B_j^C , ведущей в такое же требуемое состояние среды. Число проверок состояний на границе СТС и среды для всех таких веток одинаково, что следует из принятых допущений, — в частности, из того, что конверсионные — и другие неплановые операции — должны закончиться до следующей проверки на границе СТС и среды. Поэтому веткам, ведущим в состояния РС-1, в дереве слоёв соответствуют ветки, ведущие в вершины одного уровня дерева слоёв. Если указанные выше допущения не соблюдены, следует моделировать дерево состояний и переходов СТС деревом с варьируемыми уровнями слоёв.

Формирование уровней дерева слоёв проиллюстрировано на схеме (рисунк 60). Соотношения для C^{Cp}, C^{CTC}, T, T^C , между их элементами задают соответствие между моделями (в рассмотренном случае — между концептуальными и теоретико-графовыми моделями, между их элементами).

Как будет показано далее, с помощью полученных зависимостей могут быть раскрыты и зависимости между теоретико-графовыми моделями и функциональными моделями (в частности, моделями в виде числовых массивов и их зависимостей).

Так, уровни деревьев слоёв позволяют задать сначала прогнозируемые эффекты в зависимости от различных комплексных переходов для уровня, а затем — задать комплексную меру соответствия прогнозируемых эффектов требованиям на дереве состояний и переходов среды.

Теоретико-графовая модель последовательности соответствий может быть представлена как упорядоченные совокупности моделей соответствий, построенных в каждый момент времени T_p для разных состояний системы $S_h^s(S_h) \in C^{\wedge}\{СТС\}$ и разных $S_h \in C^{cp}$.

В результате получают дерево $T(S_h)$ слоёв состояний и переходов СТС (при реализации симплексов), на котором заданы соответствия — в виде двудольных графов соответствий, а затем мер соответствий — для каждой вершины дерева (каждого порта, соответствующего способу реализации РС-1 и полученному в результате состоянию). Такие деревья соответствуют каждой ветви $c_m^{cp} \in C^{cp}$. При рассмотренных допущениях каждому уровню дерева слоёв будет соответствовать одно состояние на ветви V_j^c и один ведущий в это состояние переход.

Дерево слоёв состояний и переходов между состояниями в результате реализации симплексов при функционировании СТС, на котором меры соответствия рассчитаны (т. е. с использованием введённых двудольных графов получены значения для мер соответствия и эти меры соответствия указаны в переменных порта), будем называть *деревом соответствия на границе*.

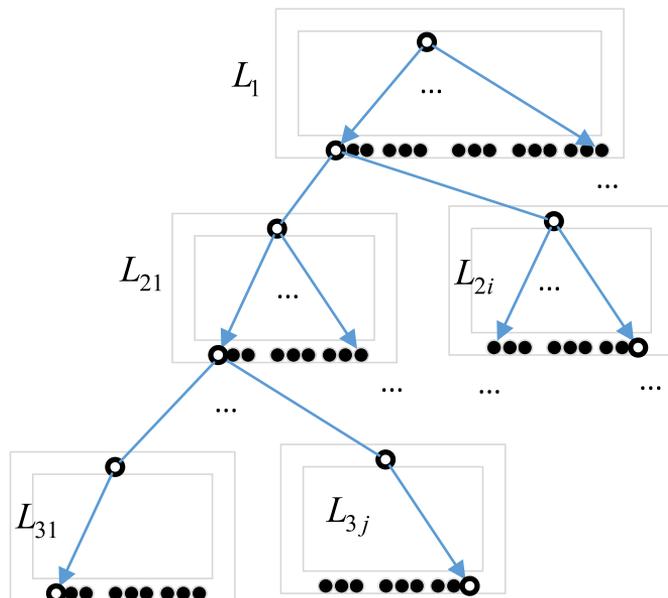


Рисунок 60. Уровни дерева слоёв

Это дерево — тот же теоретико-графовый объект, что и дерево слоёв состояний и переходов между *состояниями в результате реализации симплексов при функционировании СТС*, с той разницей, что параметрическая (и затем функциональная) модели, заданные с его помощью, получены путём расчёта мер $P_{R_1} \{P_{R_1}(\hat{Y}, \hat{Y}^d)\}$ для каждого порта теоретико-графовой модели.

Указанная величина рассчитывается путём создания новой параметризованной теоретико-графовой модели, порты которой пересчитываются благодаря последовательному вычислению зависимых величин (сначала — параметров законов распределения эффектов, потом — мер соответствия эффектов требованиям).

Тем самым между портами одного и другого дерева назначены функциональные связи и значения их рассчитаны.

Полученные результаты целесообразно агрегировать по последовательностям требуемых состояний среды — по уровням и, соответственно, по вершинам B_j^c — и использовать в качестве пометки маршрутов (веток) в дереве состояний и переходов среды. Агрегирование по уровням реализуется так, чтобы заданной последовательности состояний и переходов среды соответствовали меры соответствия, рассчитанные для тех же редуцированных симплексов (поскольку РС-1 и реализованные за их счёт переходы соответствуют одновременно и состояниям среды, и состояниям СТС на границе). При этом каждому уровню в дереве состояний и переходов между *состояниями в результате реализации симплексов при функционировании СТС* будет соответствовать одна вершина в одной ветви дерева состояний и переходов при функционировании среды. Пример такого сопоставления показан на рисунке 61.

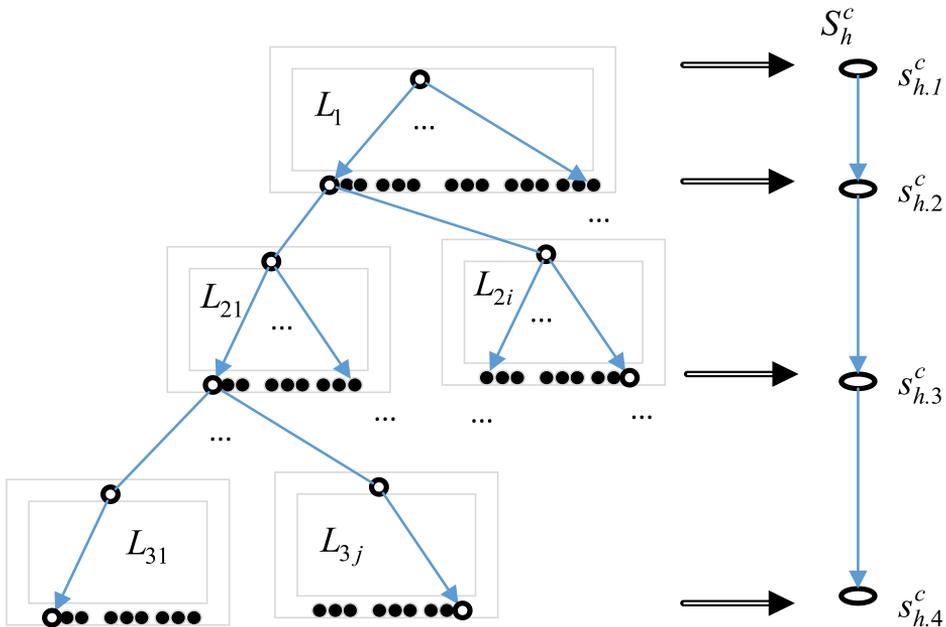


Рисунок 61. Сопоставление мер возможности соответствия эффектов требованиям

Такое соответствие по РС-1 использовано для пометки дерева состояний и переходов среды мерами соответствия (вместо ранее ассоциированных с узлами дерева состояний и переходов среды характеристик требований к эффектам). В результате указанного пересчёта пометки получает дерево состояний и переходов среды, помеченное мерами соответствия состояний требованиям среды. Обход этого дерева позволяет рассчитать частные показатели потенциала всем вершинам дерева, а затем его ветвям.

В результате возможна реализация отображения деревьев слоёв состояний и переходов между *состояниями в результате реализации симплексов при функционировании СТС* и деревьев состояний и переходов среды в *функциональные модели соответствия СТС и среды при их функционировании*.

В результате осуществляют композирование соответствующих деревьев. Полученное дерево обладает тем свойством, что на нём может быть задан обход дерева, композируемый с обходами $C^{СТС}(c_m^{Ср})$. Композируемость обходов понимается в том смысле, что, получив (в результате какого-либо обхода с вычислением) значения зависимых переменных в висячей вершине ветви $c_m^{Ср} \in C^{Ср}$ и задавшись ими, расчёт в соответствии с обходом $C^{СТС}(c_m^{Ср})$ будет выполнен так же, как и в том случае, если параметры перед началом обхода были заданы изначально. Свойством композируемости обладают обходы, получаемые для всех ветвей $c_m^{Ср} \in C^{Ср}$. Соответственно, можно утверждать, что композируемостью обладает и обход всего дерева состояний в результате функционирования среды.

Полученную в результате конструирования модель, соответствующую всем ветвям $c_m^{Ср} \in C^{Ср}$, $m = \overline{1, M}$ и соответствующие $C^{СТС}(c_m^{Ср})$, с отношениями между этими частями моделей такими, что обход полученного дерева композируется из обходов частей, можно определить как отношение композиции теоретико-графовых моделей, обладающее композируемостью обходов операндов композиции.

Описанная композиция даёт возможность достаточно просто перейти затем к композиции параметрических и функциональных моделей. Тем самым конструирование новых моделей, включающих уже построенные модели, реализуется сначала за счёт композиции алгебраических теоретико-графовых моделей.

Приведенное соответствие задаётся отношениями на этих алгебраических (теоретико-графовых) моделях — так, чтобы заданное отношение задавалось на объединяемых моделях. При этом отношения следует задать так, чтобы с их помощью было возможно задать такие пометки моделей и такие обходы, на которых соблюдались бы необходимые свойства параметрических и функциональных моделей, заданных на графах. Это фактически и означает наличие свойства композируемости обходов для полученных на основе теоретико-графовых моделей — операндов теоретико-графовых моделей — результатов.

Число состояний в ветке $l \in \overline{1, L_m}$ дерева состояний предполагается переменным в связи с тем, что число действий, вызвавших переходы и, соответственно, число состояний в результате переходов, продолжительность действий, вызывающих переходы, и продолжительность комплекса действий

различны. В результате может меняться и число необходимых проверок состояний на границе системы и среды.

Пусть число таких состояний — Q_l для заданной ветви дерева $l \in \overline{1, L_m}$ из множества номеров L_m ветвей дерева. Каждому номеру проверки состояния на границе СТС $q_l \in \overline{1, Q_l}$ соответствует реализация ТИО заданным способом и соответствующее способу единственное состояние $q_l \in \overline{1, Q_l}$. Наличие такого соответствия — допущение моделирования. А именно — предполагается, что особенности проверок состояний можно вскрыть настолько полно, чтобы каждому способу проверки состояния соответствовало одно результирующее состояние, т. е. между способом и результирующим состоянием будет функциональная связь.

3.1.4. Примеры теоретико-графовых параметрических моделей

3.1.4.1. Теоретико-графовая параметрическая модель ТНИОП

На рисунке 62 представлена ТГМ ТНИОП с использованием портов. Модель аналогична слоям ТлОп, но описывает ТНИОП.

Эта модель является основой для разработки параметрической модели ТНИОП. Верхний порт соответствует выбранной реакции на изменение среды (выбранному способу ТНИОП). Нижние порты соответствуют возможным реализациям способа в условиях случайных воздействий среды.

На программном уровне представления такая модель может иметь вид списков возможных (в результате воздействий среды) исходов действий и мер возможности реализации этих исходов.

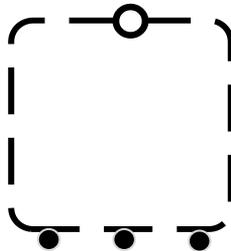


Рисунок 62. Модель ТНИОП, представленная с использованием портов

Независимо от того, к какому виду относится ТНИОП (является она ТНИОП достижения целевого результата или, например, модернизационной ТНИОП), она технологична (задана документацией) и её начальное состояние содержит предписания способа выполнения ТНИОП. Окончание ТНИОП описывается одним или несколькими возможными конечными состояниями — возможными результатами реализации ТНИОП, на которых задано распределение вероятностей. Состояния описываются параметрами и значениями переменных. Последние рассчитываются как значения функций, зависящих от характеристик способа. Характеристики — параметры и значения переменных — параметризуют состояния, как и в других моделях функционирования СТС и её среды. Каждая пара из начального и ко-

нечного состояний помечена идентификаторами функциональных зависимостей и их параметрами.

Соответственно, параметрическая ТГМ элементарной ТНИОП — фрагмент помеченного одноуровневого корневого дерева. В модели ТНИОП каждому ребру соответствует элементарный переход в результате реализации способа. ТНИОП в целом ассоциирована с комплексом возможных переходов при реализации способа. Если ТНИОП не элементарна, то она может состоять из комплекса элементарных ТНИОП. В рассматриваемом случае теоретико-графовая модель комплексной ТНИОП — дерево. Такое дерево с использованием портов может быть приведено к указанному выше виду. При этом комплексные переходы ассоциируются с ветвями дерева.

На входе ТНИОП — характеристики выбранного (с использованием ТИО) способа реализации ТНИОП, соответствующего неинформационным характеристикам начального состояния.

$$m_{i,n}^{ТНИОП} = (s_i^h, s_{i,n}^k), n = \overline{1, N_i}; p_{i,n}; \sum_{n \in \overline{1, N_i}} p_{i,n} = 1,$$

где $s_i^h = s_i^{hh} \cup s_i^{hhu}$,

$$s_i^h \sim \left(ch_{i,k_1}^{hh}, k_1 \in \overline{1, K_1}, ch_{i,k_2}^h, k_2 \in \overline{1, K_2}, \{x_{i,p_1}^{hh}, p_1 \in \overline{1, P_1}, x_{i,p_2}^h, p_2 \in \overline{1, P_2}\} \right),$$

s_i^{hh} — часть s_i^h , начальное информационное состояние ТНИОП, включающее предписания о реализации ТНИОП (т. е. описывающее то, как в сложившихся условиях должна быть выполнена ТНИОП).

В результате начальное информационное состояние включает характеристики, описывающие условия начала и предписания о реализации функционирования. Кроме того, оно описывает реализованное исходное состояние элементов РМ, на котором начинают ТНИОП. Таким образом, в его характеристики входят параметры и переменные, описывающие исходное состояние, достигнутые характеристики, описание соответствия полученного состояния требованиям, в соответствии с предписаниями, и сами предписания на выполнение ТНИОП. $\langle i, n, k, p \rangle \xrightarrow{F_u^{tniop}} U_{[u]}$ — комплексное отображение, реализующее нумерацию и затем отображение в индексированный многомерный массив $U_{[u]}$ для линеаризации расчёта характеристик. Конечное состояние включает характеристики результатов, полученных в результате перехода, в том числе — характеристики эффектов. Характеристики результатов ТНИОП описаны как результат реализации отображения характеристик начального состояния в конечное. Описания того, какие результаты могут получиться вследствие такой реализации функционирования, ассоциированы с переходом между состояниями. Поэтому параметры функциональных зависимостей, отображающих характеристики начального состояния в характеристики конечных состояний, ассоциированы с переходами между состояниями. Эти зависимости — результат формализации природных закономерностей обмена веществом и энергией разных видов.

Параметры, ассоциированные с переходом, входят в параметрическую модель ТНАОП. Функциональные зависимости входят в функциональную модель ТНАОП. В спецификации параметрической модели ТНАОП:

\sim — знак ассоциации (соответствия элемента ТГМ характеристикам);

$ch_{i,k_1}^{HI}, k_1 \in \overline{1, K_1}$ — значения характеристик неинформационных состояний (неинформационные характеристики s_i^H);

$ch_{i,k_2}^I, k_2 \in \overline{1, K_2}$ — значения характеристик информационных состояний (информационные характеристики s_i^I);

$x_{i,p_1}^{HI}, p_1 \in \overline{1, P_1}$ — значения переменных (зафиксированные значения) неинформационных состояний s_i^H ;

$x_{i,p_2}^I, p_2 \in \overline{1, P_2}$ — значения переменных (зафиксированные значения) информационных состояний s_i^I ;

$S_{i,n}^K$ — n -е из $\overline{1, N_i}$ возможных конечных состояний в результате реализации ТНАОП;

$S_{i,n}^K$ — они отличаются тем, что в их составе могут быть характеристики целевых эффектов (например, изделия) или характеристики неинформационных состояний, которые затем будут использованы для получения целевых эффектов;

$p_{i,n}$ — мера возможности события, состоящего в переходе из S_i^H в $S_{i,n}^K$.

Указанные характеристики индексируются номерами $[u']$ в многомерном массиве, описывающем нумерованную параметризованную ТГМ $U_{[u']}$:

$U_{[u]} \subset U_{[u']}$, т. е. описанный выше многомерный индексированный по результатам нумераций ТГМ массив, является основой для построения многомерного массива параметризованных ТГМ. «Является основой» понимается в том смысле, что к построенным измерениям добавляются измерения, соответствующие характеристикам ТГМ, в том числе — случайным характеристикам, описывающим результаты воздействия среды.

Таким образом, на выходе ТНАОП — одно из возможных результирующих состояний реализации ТНАОП выбранным способом и меры возможности реализации этих состояний. Последние определяются особенностями воздействия среды на элементы ТНАОП при выполнении ТНАОП. Влиянием среды определяются и случайные характеристики конечных состояний слоёв (состояний окончания ТНАОП).

Характеристики возможных состояний окончания ТНАОП определяются с использованием функциональной и параметрической моделей ТНАОП. А именно — поскольку с каждым переходом $m_{i,n}^{ТНАОП} = (s_i^H, s_{i,n}^K)$ ассоциируют характеристики функциональных зависимостей, формализующих закономерности преобразования вещества и энергии, то характеристики перехода задают значения состояний окончания ТНАОП:

$$s_{i,n}^K \sim (ch_{i,n,m_1}^{HI}, m_1 \in \overline{1, M_1}, y_{i,n,q}^{HI}, q \in \overline{1, Q})(s_i^H, s_{i,n}^K);$$

$$(s_i^H, s_{i,n}^K) \sim cf_{i,n,q} = cf_{i,n,q,o}, o = \overline{1, O_q};$$

$$y_{i,n,q}^{HI} = f_{i,n,q}(x_{i,n,q_1}^{HI}, x_{i,n,q_2}^I; cf_{i,n,q}).$$

Информационные операции (и ТИАОП) направлены на получение информационного эффекта, в том числе целевого. Целевым информационным

эффектом $x_{i.n.q}^{ii}$ ТИОП являются предписания. Полученный целевой эффект ТИОП используется ТНИОП для изменения $y_{i.n.q}^{iii}$. Функции $f_{i.n.q}$ заданы технологической документацией.

Таким образом, параметрическая теоретико-графовая модель ТНИОП основана на комплексе параметрических теоретико-графовых моделей состояний и переходов.

Результатом моделирования последовательностей ТлОп (ТИОП и ТНИОП) являются упорядоченные совокупности $T := \{(S_n, T_m), P_{nm}\}$ альтернативных состояний S_n , переходов между ними T_m , где n, m — комплексные индексы, представляющие собой функцию от частных индексов, заданных на состояниях и переходах. С переходами ассоциированы функции, отображающие характеристики начальных состояний в конечные. Такие совокупности описывают теоретико-графовыми параметрическими и затем функциональными и программными моделями. Указанные модели на уровне данных последовательно представляются путём добавления измерений к многомерным массивам: $U_{[u]} \subset U_{[u']} \subset U_{[u'']} \subset U_{[u''']}$, где $U_{[u'']}$ — многомерный массив — образ ТГМ параметрической модели ТлОп, $U_{[u''']}$ — многомерный массив — образ функциональной модели ТлОп.

3.1.4.2. Теоретико-графовая параметрическая модель среды

Параметрическая теоретико-графовая модель среды

Параметрическая теоретико-графовая модель функционирования среды строится на основе теоретико-графовой модели среды. При этом к индексам, полученным при создании теоретико-графовой модели, добавляются дополнительные измерения $u_1 \dots u_n$. Новый индекс, полученный из имевшегося путём композиции индексов, обозначим $(u \oplus u_1 \dots \oplus u_n) \in [u]$. Такие индексы, в отличие от аналогичных для теоретико-графовой модели, задают не структуру отношений между элементами графовой модели, а структуру ассоциированных параметров (как правило, в виде таблиц чисел).

На рисунке ниже (рисунке 63) проиллюстрирован фрагмент параметризованного сценария функционирования среды.

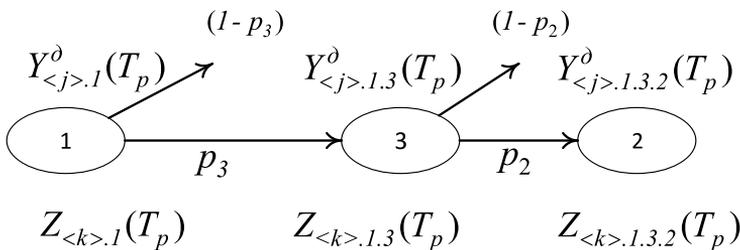


Рисунок 63. Фрагмент сценария функционирования среды

На рисунке:

T_p — момент времени проверки состояния среды на границе СТС и среды.

$Y_{<j>.1}^d(T_p)$ — последовательность векторов характеристик требований к результатам функционирования СТС на её границе во времени в результате смены цели на цель 1, произошедшей при выполнении действия в среде по сценарию функционирования среды.

$Z_{<k>.1}(T_p)$ — последовательность векторов характеристик воздействий среды на СТС в результате выполнения действия в среде по сценарию функционирования среды, ведущему к заданному состоянию.

p_s — вероятность получения заданного состояния в результате действия среды.

На рисунке ниже (рисунок 64) такая модель проиллюстрирована на примере одной из последовательностей переходов и состояний —

с 1–1.1–1.1.1–1.1.1.1–1.1.1.1.1 на
1–1.3–1.3.1–1.3.1.1–1.3.1.1.2.

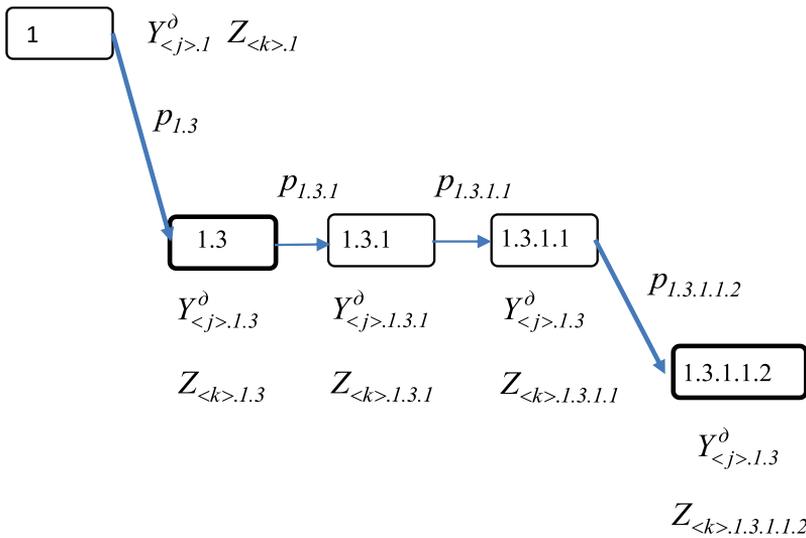


Рисунок 64. Одна из возможных последовательностей переходов и состояний

Она соответствует календарному плану функционирования среды и сценарию функционирования среды.

Параметры пронумерованы по номерам переходов.

$p_{1.3}$ — вероятность перехода от состояния среды 1 к состоянию 1.3 (т. е. вероятность смены последовательности требуемых средой состояний). Она соответствует смене цели функционирования.

В состоянии 1.3 средой, в результате смены цели, произошедшей при реализации заданного сценария функционирования среды, требуются значения эффектов, задаваемые вектором $Y_{<j>.1.3}^d$. Кроме того, в состояниях 1.3.1–1.3.1.1–1.3.1.1.1 (последнее не показано, потому что было затем изменено) тоже требуются соответствующие этим состояниям эффекты.

Эти требования — результат реализации сценария функционирования среды в виде последовательности состояний и переходов (на границе СТС и среды).

Модель функционирования среды в соответствии с тем или иным сценарием раскрыта далее в виде модели $Ms_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]})$, которая задаёт возможные последовательности требуемых средой состояний и возможные последовательности воздействий среды на систему.

Переходы проявляются в результате реализации операций на границе СТС и среды.

Кроме того, в результате реализующих сценарий функционирования среды переходов на границе СТС и среды изменяются значения вектора $Z_{<k>.1}$ характеристик воздействия среды на элементы РМ СТС при функционировании СТС. Пусть, например, в соответствии с последовательностью состояний и переходов на границе СТС и среды значения этого вектора принимают вид:

$$\langle Z_{<k>.1.3}, Z_{<k>.1.3.1}, Z_{<k>.1.3.1.1}, Z_{<k>.1.3.1.1.1} \rangle \in Ms_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]}).$$

Последний из векторов в последовательности на схеме не показан, так как был изменён в результате заданного сценария функционирования среды.

Затем, в соответствии со схемой, происходит переход от состояния среды 1.3 к 1.3.1. Этот переход соответствует сохранению цели неизменной (в результате реализации сценария функционирования среды). Таким образом, этот переход вызван таким изменением — или сохранением, но в другой момент времени — требований, которое предполагалось в соответствии с изменившейся целью, в заданных при смене цели состояниях, контролируемых на границе СТС и среды.

$p_{1.3.1}$ — вероятность перехода от состояния среды 1.3 к 1.3.1, т. е. — вероятность сохранения требований неизменными. Соответственно, в результате этого перехода по-прежнему в состоянии 1.3.1 требуются (прежние) эффекты $Y_{<j>.1.3.1}^0$ и затем в состояниях 1.3.1.1–1.3.1.1.1 — тоже прежние.

$Z_{<k>.1.3.1}, Z_{<k>.1.3.1.1}, Z_{<k>.1.3.1.1.1}$ тоже не меняются, а индексы 1.3.1, 1.3.1.1, 1.3.1.1.1 $\in [u]$.

Аналогичным образом происходит при переходе в состояние 1.3.1.1:

$p_{1.3.1.1}$ — вероятность перехода от состояния среды 1.3 к 1.3.1, т. е. — вероятность сохранения требований неизменными. Соответственно, в результате этого перехода по-прежнему в состоянии 1.3.1 требуются (прежние) эффекты $Y_{<j>.1.3.1.1}^0$ и затем в состоянии 1.3.1.1.1 (не показано) — тоже прежние. $Z_{<k>.1.3.1.1}, Z_{<k>.1.3.1.1.1}$ не меняются.

Состояние 1.3.1.1.1 не показано в связи с тем, что для рассмотренного частного случая после 1.3.1.1 снова (повторно) реализуется смена цели и поэтому — требуемых значений эффектов.

Они меняются с эффектов, требуемых в состоянии 1.3.1.1.1 (не показано), на эффекты, требуемые в состоянии 1.3.1.1.2 (показано).

Меняются и $Z_{<k>.1.3.1.1}, Z_{<k>.1.3.1.1.1}$ — на $Z_{<k>.1.3.1.1.2}$.

Такое изменение цели описывается следующими параметрами:

$p_{1.3.1.1.2}$ — вероятность перехода от состояния среды 1.3.1.1 к 1.3.1.1.2, т. е. — вероятность смены цели и перехода к новым требуемым значениям эффектов.

В результате этого перехода в состоянии 1.3.1.1.2 требуются (изменившиеся, т. е. в соответствии с изменившейся целью) эффекты $Y_{<j>.1.3.1.1.2}^0$.

Этому же состоянию соответствуют изменившиеся, в соответствии с заданным сценарием функционирования среды, характеристики $Z_{<k>.1.3.1.1.2}$.

Предполагается, что на этом функционирование СТС (реализация сценария функционирования СТС и переходы между состояниями при функционировании СТС) заканчиваются.

Аналогичные параметры приписываются, при реализации остальных сценариев, соответствующим им последовательностям состояний и переходов при функционировании среды СТС.

Дерева параметризуются характеристиками требований, временами предъявления требований. Пример такой параметризации, представленный в виде строк — требований, соответствующих различным моментам времени реализации действий в среде, показан в таблице 2.

Таблица 2. Пример характеристик, которыми параметризуется ТГМ возможных действий среды

T_z	Dem1	T_д	C_д	Dem2	T_д	C_д	Dem3	T_д	C_д
1	1	Null	Null	38	Null	Null	75	Null	Null
2	2	0	10	39	0	10	76	0	10
3	3	0	20	40	0	20	77	0	20
4	4	0	30	41	0	30	78	0	30
5	5	0	40	42	0	40	79	0	70
6	6	0	50	43	0	50	80	0	80
7	7	0	60	44	90	60	81	0	90
8	8	0	70	45	0	70	82	0	100
9	9	110	80	46	0	110	83	0	110
10	10	0	90	47	0	120	84	0	120
11	11	0	100	48	130	130	85	130	150
12	12	0	110	49	0	140	86	0	160
13	13	0	120	50	0	150	87	0	170
14	14	0	130	51	0	160	88	0	180
15	15	0	140	52	0	170	89	0	190
16	16	0	150	53	0	180	90	0	200
17	17	0	160	54	0	190	91	0	210
18	18	0	170	55	0	200	92	0	220

Время выбирается дискретно (путём назначения моментов возможного альтернирования). Дерево действий среды (сценариев среды) параметризуется вероятностями состояний и соответствующих им переходов, описанием целей и требований, в соответствии с целями (формируют дерево требований).

Дерево требований — параметризуется вероятностями переходов между характеристиками требуемых состояний (характеристиками требований к эффектам, к функциональной и морфологической структуре). Пример параметров также приведён в таблице 2. ТГМ, подвергающаяся

параметризации, — дерево, например дерево состояний среды и переходов между состояниями (рисунок 55). Элементы дерева параметризуются вероятностями, временными характеристиками, характеристиками требований. Последовательности состояний на границе СТС и среды — состояния, требуемые средой при функционировании СТС. Используется допущение, состоящее в том, что такие состояния проверяются на границе только при реализации РС-1. Теоретико-графовой моделью последовательности состояний на границе являются параметризованные деревья состояний и переходов. Состояния проверяются при реализации РС-1 по их отношению к требованиям к заданному моменту.

Переходы вызваны реализацией того или иного действия в соответствии со сценарием функционирования среды или с отсутствием нового действия по сценарию.

3.2. Разработка формальной постановки задач и функциональных моделей задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС

3.2.1. Разработка формальной постановки задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС

Обозначим: Проектная, технологическая, эксплуатационная документация на СТС, нормативно-техническая и справочная документация, задающие возможные: состав, функции, состояния, результаты операций с СТС и их связи при различных возможных состояниях среды на границе с СТС (в различных условиях среды).

$$C_u := \{c_{d1}, \dots, c_{dn}\}; \tau_k := \{(c_{dk}, c_{d(k+1)})\}.$$

Тем самым использование документации позволяет задать состояния СТС и совокупности зависимостей, связывающих состояния СТС и среды СТС при функционировании.

Необходимо, на основе разработанных концептуальных моделей в теоретико-множественной форме и имеющихся данных о результатах функционирования элементов СТС, построить комплекс (алгебраических, функциональных, теоретико-вероятностных) моделей СТС, моделей изменения СТС и моделей функционирования СТС. Этот комплекс должен быть таким, чтобы он позволял описать структуру и состав возможных последовательностей состояний и переходов СТС с учётом планируемых изменений, операций функционирования и в зависимости от состояний среды и переходов между состояниями среды. Комплекс моделей должен обеспечивать реализацию алгоритмов, позволяющих решать задачи оценивания, анализа потенциала, а затем задачи синтеза планов изменения и функционирования СТС по показателям потенциала.

Формальная постановка задачи оценивания потенциала СТС

Дано: СТС E , включающая множество элементов $M = e_i, i = \overline{1, I}$ и связей $R = r_j, j = \overline{1, J}$ между ними, технологическая документация СТС, задающая множество $S^s = \{S_k^s, k = \overline{1, K}\}$ состояний СТС, возможных при функционировании, и множество возможных переходов $M = m_u, u = \overline{1, U}$ между состояниями СТС, множество возможных последовательностей $Sc = \{Sc_h, h = \overline{1, H}, Sc_h = \langle s_{hp}, p = \overline{1, P} \rangle\}$ состояний s_{hp} среды и мер возможности $P = p_p^s, p = \overline{1, P}$ переходов $M^c = m_p^c, p = \overline{1, P}$ между состояниями среды. Задан план π_n функционирования СТС. Необходимо построить комплекс моделей функционирования СТС. Он должен позволить описать структуру и состав возможных последовательностей состояний и переходов СТС в зависимости от состояний среды. Кроме того, необходимо построить комплекс моделей переходов между состояниями среды. Эти комплексы моделей должны быть такими, чтобы с их помощью можно было реализовать алгоритмы, позволяющие найти оценку векторного Ψ и скалярных показателей ψ^{min}, ψ^T потенциала и установить, соответствуют ли они требованиям к ним.

Формальная постановка задачи анализа потенциала СТС

Дано: Множество $\Xi = \xi_v, v = \overline{1, V}$ возможных планов мероприятий ξ_v по изменению СТС $E(\xi_v)$. СТС включает множество элементов $M(\xi_v) = \{e_i, i = \overline{1, I}\}$ и связей $R(\xi_v) = r_j, j = \overline{1, J}$ между ними, заданных проектной документацией на СТС, в зависимости от ξ_v . Технологической документацией на СТС задано множество $S^s(\xi_v) = \{S_k^s(\xi_v), k = \overline{1, K}\}$ состояний СТС, возможных при функционировании, и множество возможных переходов $M(\xi_v) = m_u(\xi_v), u = \overline{1, U}$ между состояниями СТС, множество возможных последовательностей $Sc = \{Sc_h, h = \overline{1, H}, Sc_h = \langle s_{hp}, p = \overline{1, P} \rangle\}$ состояний s_{hp} среды и мер возможности $P = p_p^s, p = \overline{1, P}$ переходов $M^c = m_p^c, p = \overline{1, P}$ между состояниями среды. Задано множество возможных планов $\Pi(\xi_v) = \pi_n(\xi_v), n = \overline{1, N}$ функционирования СТС.

Необходимо построить комплекс моделей функционирования СТС и моделей изменения СТС — такой, чтобы он позволял описать структуру и состав возможных последовательностей состояний и переходов СТС с учётом планируемых изменений, операций функционирования и в зависимости от состояний среды и переходов между состояниями среды. Затем с использованием полученных моделей необходимо реализовать алгоритмы, позволяющие найти вид функций зависимости векторного $\Psi(\xi_v, \pi_n(\xi_v))$ и скалярных показателей $\psi^{min}(\xi_v, \pi_n(\xi_v)), \psi^T(\xi_v, \pi_n(\xi_v))$ потенциала от планов $\xi_v, \pi_n(\xi_v)$ и их свойства.

Формальная постановка задачи обоснования характеристик СТС (синтеза СТС), обладающей лучшим потенциалом

Дано: Множество $\Xi = \xi_v, v = \overline{1, V}$ возможных планов мероприятий ξ_v по изменению СТС $E(\xi_v)$. СТС включает множество элементов $M(\xi_v) = \{e_i, i = \overline{1, I}\}$ и связей $R(\xi_v) = r_j, j = \overline{1, J}$ между ними, заданных проектной документацией на СТС, в зависимости от ξ_v . Технологической документацией на СТС задано множество $S^s(\xi_v) = \{S_k^s(\xi_v), k = \overline{1, K}\}$ состояний СТС, возможных при функ-

ционировании, и множество возможных переходов $M(\xi_v) = m_u(\xi_v)$, $u = \overline{1, U}$ между состояниями СТС, множество возможных последовательностей $Sc = \{Sc_h, h = \overline{1, H}, Sc_h = \langle s_{hp}, p = \overline{1, P} \rangle\}$ состояний s_{hp} среды и мер возможности $P = p_p^s, p = \overline{1, P}$ переходов $M^c = m_p^c, p = \overline{1, P}$ между состояниями среды. Задано множество возможных планов $\Pi(\xi_v) = \pi_n(\xi_v)$, $n = \overline{1, N}$ функционирования СТС.

Необходимо построить комплекс моделей функционирования СТС, моделей изменения СТС, моделей множеств выбора планов изменения и функционирования СТС. Этот комплекс должен позволить описать структуру и состав возможных последовательностей состояний и переходов СТС с учётом планируемых изменений и в зависимости от состояний среды и переходов между состояниями среды.

Затем использованием полученных моделей следует реализовать алгоритм, позволяющий найти: оптимальные планы ξ_n^* , $\pi_n^*(\xi_v)$ изменений СТС, функционирования СТС в плановых условиях, т. е. планы, обеспечивающие лучшие — по используемому критерию — значения скалярных показателей $\psi^{*min}(\xi_n^*, \pi_n^*(\xi_v))$ или $\psi^{*T}(\xi_n^*, \pi_n^*(\xi_v))$ потенциала.

3.2.2. Функциональные модели задач исследования потенциала СТС

Функциональная модель (ФМ) задач исследования потенциала представляет собой комплекс функциональных моделей (соотношений) исследования потенциала, позволяющий ответить на вопрос задач оценивания, анализа и синтеза.

А именно: ФМ задачи оценивания — совокупность *модели задачи* и алгоритма *решения задачи* оценивания.

Модель задачи — соотношения, заданные на параметрических моделях графа состояний и переходов, а затем на массиве мер соответствия. Эта совокупность такова, что она позволяет оценить значения показателей потенциала, по имеющимся данным, с использованием алгоритма решения задачи и затем, с помощью этого алгоритма, ответить на вопрос — удовлетворяет ли это значение требованиям. Модель задачи:

$$T_Y \rightarrow T_\mu; T_\mu \rightarrow T_\mu^c; T_\mu^c \rightarrow \mu[u]; \mu[u] \rightarrow \Psi, \Psi \rightarrow (\psi^T, \psi^{min}),$$

$$(\psi^T, \psi^{min}) \rightarrow P(\psi^*, \psi^A).$$

Алгоритмы решения задачи:

$$P(A_{\psi^T}(A_\Psi(A_{\mu[u]}(A_{\mu c(T_\mu^c)}(A_\mu(T_Y))))), \psi^A);$$

$$\left\{ \left\{ P(A\}_{\psi^{min}}(A\}_{\Psi} \left(A_{\mu[u]} \left(\left\{ A_{\mu c(T_\mu^c)}(A\}_{\mu}(T_Y) \right) \right) \right) \right\} \right\}, \psi^A \right\};$$

где

$f_\mu(T_Y): T_Y \rightarrow T_\mu$ — отображение дерева состояний и переходов СТС, параметризованного характеристиками эффектов, в дерево T состояний

и переходов СТС, параметризованное характеристиками мер соответствия эффектов требованиям (а также мерами возможности актуализации состояний); реализуется алгоритмом $A_{\mu}(T_{\gamma})$;

$f_{\mu c}(T_{\mu}^c): T_{\mu}^c \rightarrow T_{\mu}^c$ — отображение дерева состояний и переходов СТС, параметризованного характеристиками мер соответствия эффектов требованиям в дерево состояний и переходов среды T_{μ}^c , параметризованное характеристиками мер соответствия эффектов требованиям, в том числе комплексными мерами (а также мерами возможности актуализации состояний); реализуется алгоритмом $A_{\mu c}(T_{\mu}^c)(T_{\mu}^c)$;

$f_{\mu u}(T_{\mu}^c): T_{\mu}^c \rightarrow \mu[u]$ — отображение дерева состояний и переходов среды T_{μ}^c , параметризованного характеристиками мер соответствия эффектов требованиям, в том числе комплексными мерами, в массив характеристик мер соответствия $\mu[u]$; реализуется алгоритмом $A_{\mu[u]}(T_{\mu}^c)$.

Это отображение индуцирует отображения дерева состояний СТС в его поддерево, описывающее состояния на границе.

Отображение может быть описано совокупностью логических функций, заданных на дереве состояний СТС.

Тем самым документация на СТС задаёт состояния СТС и допустимые переходы между состояниями (значения логических функций на переходах). Затем, на основе использования полученных данных для построения графа состояний и переходов (который может быть задан с использованием значений логических функций) и после выполнения расчётов эффектов, получают ответ на вопрос задачи оценивания потенциала: удовлетворяет ли потенциал СТС требованиям или нет.

$f_{\Psi}(\mu(U_{[u]})): \mu(U_{[u]}) \rightarrow \Psi$ — отображение массива характеристик мер соответствия $\mu(U_{[u]})$, заданного на «измерениях» массива $U_{[u]}$, в массив частных характеристик потенциала СТС; реализуется алгоритмом $A_{\Psi}(\mu(U_{[u]}))$. Здесь $U_{[u]}$ — описанный ранее многомерный массив характеристик, рассчитываемых с использованием построенных функциональных моделей. Измерения — меры $\mu(U_{[u]})$ входят в массив.

Этот алгоритм позволяет вычислить характеристики многомерной случайной величины потенциала по рассчитанным значениям закона распределения этой случайной величины.

$f_{\psi^T}(\Psi): \Psi \rightarrow \psi^T, f_{\psi^{min}}(\Psi): \Psi \rightarrow \psi^{min}$ — отображение массива частных характеристик потенциала СТС в скалярное значение функций потенциала СТС; реализуется алгоритмами $A_{\psi^T}(\Psi), A_{\psi^{min}}(\Psi)$.

Это частный случай алгоритма, рассчитывающий такие характеристики, как математическое ожидание.

$P(\psi^*, \psi^A): (\psi^*, \psi^A) \rightarrow \{True, False\}$ — отображение значения функции потенциала в значение логической функции; реализуется алгоритмом $A_P(\psi^*, \psi^A)$.

3.2.2.1. Функциональная модель задачи оценивания потенциала СТС

3.2.2.1.1. Функциональные модели функционирования СТС

Функциональные модели функционирования СТС опираются на функциональные модели расчёта состояний рабочих мест при реализации отдельных операций и ТОП.

Затем с их помощью следует создать функциональные модели состояний СТС, на их основе — функциональные модели функционирования СТС.

Рассмотрим примеры этих моделей.

Функциональная модель для расчёта состояний рабочего места при выполнении отдельных операций стохастической сети

Каждый способ реализации операции a_i и, следовательно, состояние S_i соответствующих рабочих мест в заданный момент характеризуются вероятностью их актуализации $p_i^a(T_m) := p_i^b(T_m)p_i^{ne}(T_m)$ в момент T_m , где p_i^a — вероятность сложного события \hat{A}_i : действие (операция) a_i на рабочем месте Wp_n , используемом для реализации a_i , актуально (реализуется), тем самым — операция началась — при условии, что для начала сложились условия — и при этом не окончилась. Момент T_m — это момент реализации технологической операции.

$\hat{A}_i = (\hat{B}_{vi} \cap \hat{N}_i / \hat{B}_{vi})$, где \hat{N}_i — событие, что операция не окончилась.

\hat{A}_i — комплексное событие, состоящее в том, что операция a_i не закончилась при условии, если все предшествующие по плану операции, включая саму a_i , начались.

\hat{B}_{vi} — комплексное событие, состоящее в том, что операция началась. Оно состоит в начале операции a_i при условии, что предыдущие по плану операции из множества V_i операций, предшествующих a_i -й операции, начались.

Обозначим $p_i^a = P(\hat{A}_i)$, $p_i^b = P(\hat{B}_i)$, $p_i^{ne} = P(\hat{N}_i)$.

$F_i^b(T_m)$ — функция распределения вероятностей случайного момента \widehat{T}_i^b начала операции a_i . Значение рассчитывается к моменту T_m реализации технологической информационной операции проверки состояния среды. Этот момент предполагается детерминированным и заданным исходя из особенностей структуры модели изменения целей и модели функционирования — так, чтобы на интервалах, задающих соседние моменты, не менялись структуры моделей состояний.

$F_i^e(T_m)$ — функция распределения вероятностей момента \widehat{T}_i^e окончания операции a_i . Значение рассчитывается к моменту T_m реализации технологической операции. Вероятности актуализации состояний зависят от вероятностей предыдущих операций разными путями, рассмотренными ниже. Рассмотрим зависимости в последовательностях операций и зависимости в сечениях сетей, вызванных соответствующими сечениями последовательностями операций.

Для зависимостей операций сети рассмотрим варианты структуры в виде последовательности (цепь), ожидание и соответствующий ожиданиям вид последующей структуры «джойн», случай «форк», случай старта и финиша

в структуре и возможные комбинации структур, ассоциированных с вершиной по входящим и исходящим рёбрам:

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1. «СтартФорк»; | 6. «ДжойнПосл»; |
| 2. «СтартПосл»; | 7. «ДжойнФорк»; |
| 3. «ПослПосл»; | 8. «ПослФин»; |
| 4. «ПослФорк»; | 9. «ДжойнФин». |
| 5. Ожидание; | |

Для всех вершин v_i вероятность p_i^a актуализации операции, ассоциированная с такой вершиной:

$$p_i^a = p_i^b p_i^{ne}, \text{ где } p_i^{ne} = 1 - p_i^e.$$

p_i^b, p_i^{ne} и далее — вероятности сечений — рассчитываются по процедуре ниже, в зависимости от вида структуры, ассоциированной с вершиной, и в предположении, что комплекс операций начинается в момент 0:

1. Для «СтартФорк» структур, ассоциированных с $s = v_i, i = 0$

$$p_i^b = 1; p_i^e = 1.$$

При расчёте моменты начала следующей работы, ассоциированные с вершинами v_k в списке N_i последующих за СтартФорк, приравниваются 0.

Создаётся элемент списка пар — пара из значения функции распределения вероятностей и номера вершины $\langle (p_k^c, k) \rangle$ с единственным значением $(p_k^c, 0)$.

$p_k^c = F_i^b(T_m) = 1$ и элемент списка пар копируется во все элементы множества вершин.

2. Для «СтартПосл» видов структур, ассоциированных с $s = v_i, i = 0$

$$p_i^b = 1; p_i^e = 1.$$

Затем момент начала следующей операции, ассоциированной с v_k во множестве всех последующих, устанавливается равным 0.

Значение функции распределения вероятности $\langle (p_n^c, n) | n \in \overline{1, N} \rangle$ для последующих за вершиной операций приравнивается $\langle (p_0^c = F_i^b(T_m) = 1, 0) \rangle$, и момент начала следующей операции устанавливается 0.

Случаи (1) и (2) выделены, поскольку отличаются при расчёте вероятностей сечений, проходящих через такие вершины.

3. Для «ПослПосл» структур, ассоциированных с $v_i, i > 0$

$p_i^b(T_m) = \prod_{j \in C_i} F_j^b(T_m)$, где $j \in C_i$ — номера операций, которые (операции) могут начаться в момент T_m в последовательности C_i вершин v_i , которые (последовательности вершин, соответствующих операциям) начинаются либо стартовой вершиной, либо вершиной типа «Джойн» v_j^j на пути в обратном направлении к старту — от v_i к v_j^j и все операции от v_i до v_j^j .

Это означает то же, что и выражение

$$p_i^b(T_m) = p_i^c(T_m) F_i^b(T_m).$$

Значение функции распределения вероятностей в списке пар обновляется для последнего элемента $\langle (p_n^c(T_m), 0), (\cdot), (\cdot), (\cdot), (p_n^c(T_m), n = N) \rangle$ в списке, для операции, ассоциированной с последней вершиной в структуре типа «ПослПосл»:

$$p_n^c(T_m) = p_i^c(T_m) F_i^b(T_m),$$

$$p_i^e(T_m) = F_i^e(T_m).$$

$F_i^e(T_m)$ — в соответствии с допущениями — значение функции распределения вероятностей момента времени \hat{T}_i^e окончания операции, ассоциированной с v_i в заданный момент T_m . Случайная величина предполагается распределённой по нормальному закону.

Момент времени начала операции, ассоциированной с вершиной v_k , которая непосредственно следует за v_i , приравнивается к \hat{T}_i^e .

«ПослПосл» выделено, поскольку рассчитывается отлично от «ПослФорк» при расчёте вероятностей сечений сети.

4. Для «ПослФорк» вершин формулы для расчёта аналогичны варианту (3), но множество $N_i(v_k)$ последующих вершин для вершины v_k содержит более одной вершины $v_{ip}(v_k)$. Для каждой v_k и последующей $v_{ip}(v_k)$ выполняются действия, аналогичные варианту (3). Однако пара из списка пар $\langle (p_n^c, n), n \in \overline{0, N} \rangle$ рассчитывается отлично от (3), а именно:

- новая пара $\langle (p_{n+1}^c, (n+1)), N+1 \rangle$ добавляется в конец списка пар, и обновлённый $\langle (p_{n+1}^c, (n+1)), n \in \overline{0, N+1} \rangle$ список добавляется к каждой $v_{ip}(v_k)$;

- последняя пара $(p_{n+1}^c, n+1)$ обновляется согласно следующим формулам: $p_{n+1}^c = p_i^c(T_m)F_i^b(T_m)$ и копируется во все $v_{ip}(v_k) \in N_i(v_k)$, где $p_i^c(T_m)$ должно быть равно p_n^c соответствующей вероятности предшествующей пары (p_n^c, n) для $\langle (p_{n+1}^c, (n+1)), n \in \overline{0, N+1} \rangle$.

Вероятности сечений рассчитываются иначе, чем для «ПослПосл», и соответствующие выражения заданы ниже, при описании расчёта сечений для «ПослФорк».

5. Для ожиданий (ожидания всегда предшествуют «джойну» и только «джойну») w_i .

Ожидания рассчитываются аналогично тем же формулам для списка пар $\langle (p_n^c, n), n \in \overline{0, N} \rangle$. При этом $p_i^{bw}(T_m) = \prod_{j \in C_i} F_j^b(T_m)$, т. е. вероятность начала для них рассчитывается аналогично тому, как рассчитывается вероятность начала для операций в последовательностях «ПослПосл», как вероятность сложного события $\hat{B}_i^w / \hat{B}_{v_i}$: ожидания w_i начались при условии, что все предшествующие операции из множества $V(w_i)$ операций, предшествующих ожиданию w_i , также начались.

Далее списки пар $\langle (p_n^c, n), n \in \overline{0, N} \rangle$ обновляют для ожиданий аналогично тому, как обновляются списки пар для «ПослПосл» структур, связанных с вершиной.

$$p_i^{ew} = \prod_{j \in V_i} F_j^{buw}(T_m),$$

$$p_i^{new}(T_m) = 1 - p_i^{ew}.$$

Здесь:

V_i — множество «родственных» i -му ожиданий (исключая само i -е ожидание). Под ними понимаются такие ожидания, которые предшествуют той же вершине типа «Джойн», что и i -е ожидание.

$F_j^{buw}(T_m)$ — безусловное значение функции распределения вероятностей события \hat{B}_j^{uw} , состоящего в том, что ожидание из множества V_i началось в заданный момент времени T_m .

6. Для структур вида «ДжойнПосл» (которые следуют за ожиданиями) a_i^j вероятности рассчитываются на основании операций со списками $\langle (p_n^c, n), n \in \overline{0, N} \rangle$ пар.

А именно, каждая пара $\langle (p_n^c, n), n \in \overline{0, N} \rangle$ соединяемой вершины (или — для объединяемых ожиданий) объединяется с парами с тем же номером n в один список пар $\langle (p_n^{c*}, n), n \in \overline{0, N} \rangle$ — так, что пары (и вероятности) не дублируются.

Затем рассчитывается $p_i^{bj} = \prod_{j \in Pr_i^w} F_j^b(T_m)$, где Pr_i^w — полное множество различных путей в v_i с уникальными (попарно не пересекающимися по вершинам Pr_i^w) путями.

Такие различные пути p_i^{bj} используются для расчёта произведений всех F_n^b и обновлённых $\langle (p_n^c, n), n \in \overline{0, N} \rangle$.

Каждая v_i рассматривается как одна из уникальных вершин в Pr_i^w на одном из путей. Пути в v_i включают пути, состоящие из одного ожидания w_j^j .

Все такие различные уникальные вершины учтены при расчёте значения условной функции распределения p_i^{bj} как произведения отдельных $F_j^b(T_m)$ в заданные T_m .

Для «ДжойнПосл» вероятность окончания операций a_i^j , которые начались как «Джойн», рассчитываются так же, как и для структур «ПослПосл» для момента T_m :

$$p_i^e = F_i^e(T_m);$$

$$p_i^{ne} = 1 - p_i^e;$$

и, как и ранее, $p_i^a = p_i^b p_i^{ne}$ для этих операций.

7. Для «ДжойнФорк» структуры вероятность p_i^{bjf} начала операции «ДжойнФорк» a_i^{jf} принимает тот же вид, что и для «ДжойнПосл», которая обсуждалась ранее.

Для окончания «ДжойнФорк» операций a_i^{jf} выражение для p_i^{ejf} принимает тот же вид, что и для «ДжойнПосл».

Разница состоит в выражениях и процедурах для последующих операций (во множестве последующих в «Форк»-части), которые принимают тот же вид, что и для (4) и (1), а также выражения отличаются при расчёте вероятностей сечений.

8. Для «ПослФиниш» структур: $p^{fb} = F_j^e(T_m)p_j^b(T_m)$, т. е. вероятность того, что предыдущая операция v_j закончилась при условии, если она началась.

В этом случае j — операция, предшествующая финишной. Это, по сути, то же выражение, что и для структуры типа «ПослПосл».

$$p^{fne} = 1.$$

9. Для «Финиша» a^f типа «ФинДжойн» вероятность p^{fb} рассчитана аналогично «ДжойнПосл».

$$\text{Для «ПослФиниш» и «ФинДжойн» } p^{fne} = 1; p^{fa} = p_f^b p_f^{ne}.$$

Функциональная модель расчёта состояний СТС при выполнении комплекса возможных операций стохастической сети

Функциональная модель состояний СТС базируется на расчёте возможных сечений при реализации комплекса работ. А именно — каждому сече-

нию соответствует одна из возможных — при каких-либо характеристиках работ — совокупностей актуальных (реализуемых) операций на рабочих местах и операций простоя (ожидания). Предполагается, что состояние рабочего места полностью определяется способом действия (бездействия) операции, выполняемой на РМ, а функция композиции состояний для комплекса одновременно функционирующих рабочих мест известна. Функциональная модель состояний СТС — комплексная и состоит из модели условной актуализации подмножеств сечений, моделей вероятностей актуализации возможных сетевых структур в сечениях, комплексных зависимостей актуализации сечений.

События, состоящие в актуализации операций, как правило, оцениваются при условии актуализации других возможных операций в тот же момент, т. е. в рассматриваемом сечении. Эта условная зависимость моделируется как условная зависимость в сечениях сети.

Вероятности актуализации операций в сечениях условные и обусловлены структурными типами фрагментов сети, рассмотренных ранее.

Возможные сетевые структуры, проявляющиеся при исследовании функциональных зависимостей условной актуализации подмножеств операций в сечениях

Рассмотрим два важнейших типа фрагментов структуры сетей в сечениях. Подмножества вершин заданных сечений типа (С), задающие условные распределения вероятностей на вершинах, и подмножества типа (N), задающие безусловные распределения на их вершинах.

Условные структуры состоят из более чем одной вершины и могут включать два типа вершин, отличающихся структурой: множества вершин — ожиданий (СW) и множества потомков одного «Форк» (СS).

СW — вид подмножеств $СW_w$, состоящих из ожиданий, актуализируемых в заданном сечении и при этом имеющих один общий «Джойн». Несколько таких подмножеств возможно в одном сечении.

СS — вид подмножеств $СS_f$, $f \in F$ заданного сечения, которые состоят из «детей» или «последователей» операций, ассоциированных с вершинами общего «Форк» (общий родитель или прародитель). Несколько таких подмножеств возможно в одном сечении.

N — вид безусловных подмножеств (всех остальных типов). Так, в частности, СJ — вид подмножеств $СJ_j$ «Джойнов» в заданном сечении.

Если элемент подмножества может относиться и к безусловному, и к условному типу подмножеств, то элемент следует рассчитывать как условный.

Общие функциональные зависимости для расчёта актуализации сечений

Вероятность $P^{ca}(T_m)$ актуализации сечения в заданный момент T_m принимает вид:

$$P^{ca}(T_m) = P^{cb}(T_m)P^{cne}(T_m);$$

$P^{cb}(T_m)$ — скорректированное совместное условное распределение вероятности начала операций заданного сечения С, рассчитанное для момента T_m ;

$P^{cne}(T_m) = 1 - P^{ce}(T_m)$, где
 $P^{ce}(T_m)$ — скорректированное совместное условное распределение вероятностей окончания вершин заданного сечения C в момент T_m ;
 $P^{cb}(T_m)$ — зависит от видов и состава подмножеств N, CFS, CJ .

Функциональные зависимости для расчёта начала актуализации сечений

$P^{cb}(T_m) = P^{cbN^*}(T_m)P^{cbJ}(T_m)P^{cbS}(T_m)$,
 где $P^{cbN^*}, P^{cbJ}, P^{cbS}$ рассчитываются согласно каждому типу соответствующей вершины (т. е. N, CJ, CS).

Вершины типа «ожидание» (W) неразличимы, когда рассчитывается условная вероятность $P^{cb}(T_m)$ начала операций сечения. Поэтому они рассматриваются как вершины вида N в расчёте вероятности начала. Однако они будут отличаться от вершин типа N , когда рассчитывается вероятность окончания актуализации вершин типа «ожидание».

Примеры расчёта построенных моделей и задания альтернатив характеристик СТС для решения задач оценивания потенциала описаны в **приложении Р**.

Функциональная модель расчёта условных вероятностей начала подмножеств операций сечений в зависимости от видов вершин подмножеств вершин сечений

Для вершин типа N любого из сечений C :

$P^{cbN^*}(T_m) = \prod_{i \in CB^*} F_i^b(T_m)$, где CB^* — множество, заданное предложенным алгоритмом нахождения предшествующих — определяющих условную зависимость — вершин. Это множество включает вершины, предшествующие множеству N вершин, при этом вершины CW типа «ожидание» (как зависимые, введённые как сочетания других условий), которые предшествуют N , но не входят в сечение C_h , исключаются из множества CB :

$$CB^* = (CB \setminus CW) \cup N.$$

Для вершин CFS -вида: подмножество из нескольких операций, ассоциированных с вершинами, имеющими общих родителей или прародителей. Несколько подмножеств вида CF может актуализироваться в одном сечении.

В этом случае у вершин имеется общий «форк» — они следуют за началом одного «форка», — и тем самым актуализация операций, ассоциированных с такими вершинами в каждом подмножестве CF заданного сечения, зависит от актуализации других («сестринских») операций в том же сечении. Так, если две вершины сечения имеют общего родителя, то при условии, что актуализировалось начало одной «сестринской» вершины из множества, остальные начала актуализируются как достоверные события (с вероятностью единица). В результате вероятность начала каждой «сестринской» вершины в подмножестве таких вершин должна быть рассчитана единожды. Тем самым для каждой вершины подмножества Cf_f вида CF заданного сечения:

$$P_f^{cfb} = p_j^b \prod_{i \in CF_f} p_i^{b^*}, j \in CF_f, i \in CF_f.$$

p_j^{bj} рассчитывается как общая часть всех вершин подмножества вида CF для каждого «форк»-родителя v_j . Эта общая часть — общая по всем вершинам от «форк»-вершины до вершин подмножества вида CF.

Любая j -я вершина-«сестра» может быть использована для расчёта p_j^b , т. е. j — представитель множества вида CF в связи с тем, что все p_j^b для разных v_j в заданном множестве Cf_f имеют в составе p_j^b .

$p_i^{b*} = 1.0$, если путь из общей вершины («форк») в v_i имеет длину, равную 1 (для «сестёр» от одного «форк»).

$p_i^{b*} = \prod_{p \in PredChain[i]} F_p^b$, если путь из общего «форк» в v_i больше единицы. $PredChain[i]$ — номера вершин на пути из «форк» к вершине подмножества «родственных».

p_i^{b*} — кумулятивное совместное распределение вероятностей операций, ассоциированных с вершинами цепей из общей вершины вида «форк».

Для различных множеств $s \in S$ вида CS вероятности $P^{cfb} = \prod_{s \in S} P_s^{cfb}$.

Для вершин v_j CJ вида $P^{cjb} = p_j^{bj}$.

Здесь p_j^{bj} — совместное распределение вероятностей начала операции типа «джойн», рассчитанное согласно процедуре расчёта функциональной модели актуализации отдельных вершин.

Функциональные зависимости для расчёта условных вероятностей окончания подмножеств сечений в зависимости от видов вершин

$P^{ce}(T_m)$ зависит от вершин вида «ожидание» — W:

$$P^{ce}(T_m) = P^{ceW}(T_m)P^{ce\bar{W}}(T_m), \text{ где}$$

$P^{ceW}(T_m)$ — условная вероятность окончания операций ожидания в момент T_m ;

$P^{ce\bar{W}}(T_m)$ — условная вероятность того, что операции, не являющиеся ожиданиями (все остальные виды), закончатся к моменту T_m .

СW-вид операций. Несколько подмножеств $Cw_w, w \in W$ вида CW возможно (одно подмножество, возможно единичное — для каждого последующего «джойн»). В этом случае актуализация операции ожидания зависит от остальных ожиданий в том же подмножестве вида CW таким образом, что ожидание заканчивается немедленно после того, как все ожидания начнутся. При этом указанные ожидания соответствуют одному и тому же последующему «джойну» (тому же окончанию этих ожиданий). Такие ожидания из описанного множества могут завершаться в любой последовательности.

Тем самым окончание работ вида W условно зависит от других ожиданий и затем от окончания работ, ассоциированных с вершинами, предшествующими ожиданиям. Эта зависимость принимает следующий вид:

$P_w^{cew} = 1$, если все возможные ожидания содержатся в заданном множестве вида CW, и потому $P_w^{cnew} = 0$, а значит, вероятность актуализации такого сечения равна 0.

Заметим, что как только все ожидания перед «джойн» начинаются, немедленно начинается следующая операция, т. е. «джойн».

$P_w^{cew} = 0$, в противном случае, то есть если не все возможные ожидания, предшествующие одному и тому же «джойну», находятся в заданном под-

множестве вида CW . В этом случае $P_w^{cnew} = 1$, поскольку если не все ожидания актуализированы в заданном сечении, это означает, что некоторые предшествующие им операции попали в это же сечение.

И это означает, что ни одно ожидание из подмножества ожиданий для этого сечения вида CW и заданного «джойн» не может окончиться до тех пор, пока предшествующие ожиданиям вершины актуализированы в сечении (а если это случится, то это будет уже другое сечение).

Функциональные зависимости для расчёта распределения вероятностей актуализации возможных сечений в заданный момент времени

Для множества $C(N_u)$ возможных сечений заданной u -й сети операций N_u вероятности $P_h^a(C_h, T_m)$ актуализации сечений $C_h \in C(N_u)$ образуют дискретное распределение вероятностей для каждого заданного T_m :

$$\sum_{C_h \in C(N_u)} P_h^a(C_h, T_m) = 1.$$

Предложенные процедуры позволяют нам рассчитать вероятности любого заданного сечения $C_h \in C(N_u)$ сети N_u и распределение вероятностей по сечениям для любого момента времени T_m .

Базируясь на этих распределениях вероятностей, строится модель случайного процесса функционирования системы по заданной сети операций N_u .

Функциональная модель функционирования СТС в целом

Ранее была описана функциональная модель функционирования РМ, состоящий СТС при функционировании.

ТГМ функционирования СТС была представлена в виде последовательности S_i^s , часть которой представляла собой состояния S_p^s , проверяемые на границе СТС. Последовательность S_p^s моделировалась теоретико-графовой моделью в виде ветви B_i дерева слоёв симплексов.

Запишем эту часть последовательности состояний и переходов:

$$S(T) = \langle S_p^s(T_p, E_j), p = \overline{1, P} \rangle,$$

где $p = \overline{1, P}$ — номера проверяемых состояний на границе СТС в последовательности проверяемых состояний (при реализации РС-1).

Указанная модель может быть представлена графом $B_i \sim S(T)$ (ветвью дерева) с вложенными элементами.

$S_p^s(T_p, E_j)$ — комплекс состояний элементов РМ СТС состава E_j в момент T_p проверки состояния СТС на границе СТС и среды.

Проверяется при очередной проверке состояния при реализации РС-1.

Состояния проверки характеризуются моментами начала наблюдения состояния СТС — такими, что число этих моментов счётно и равно $T_p \in [0, T^+], p = \overline{1, P}$. На схеме таких состояний проверки три.

Каждое состояние при проверке формируется как комплексное состояние из состояний РМ, формирующих проверяемое состояние. Комплексные состояния раскрыты большими прямоугольниками, включающими состояния РМ (овалы).

Последовательность S_p^s состояний СТС, наблюдаемых на границе, образуется из-за переходов между состояниями СТС S_i^s , т. е. последовательность состояний СТС имеет вид $\langle \dots S_{i-1}^s, S_p^s, S_{i+1}^s \dots \rangle$.

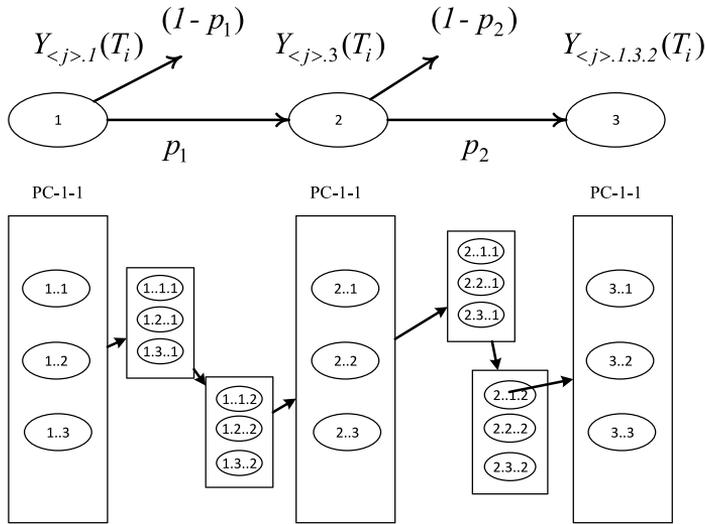


Рисунок 65. Схема функциональной модели функционирования СТС

Иначе — между нумерацией состояний S_p^s , проверяемых на границе, и нумерацией состояний S_i^s СТС имеется отображение — такое, что номера S_p^s соответствуют номерам S_i^s однозначно.

Переходы $m_{i,k}^*$ между S_i^s могут реализоваться на (комплексе) РМ, между проверками состояний РС-1. В результате между проверками состояний могут реализовываться состояния, не проверяемые на границе (показаны прямоугольниками меньшего размера).

Состояния меняются в результате реализации симплексов ТлОп какими-либо способами каких-либо ТОП и при каких-либо воздействиях среды. Эти смены условно показаны стрелками. Их модели были представлены ранее и могут быть описаны как комплексы переходов, связанных отношениями установленных видов.

В моделях переходы реализуются в результате выполнения ТОП (комплексов ТОП) одним из способов, в соответствии с выбранными предписаниями. Выполнению ТОП может соответствовать несколько переходов (в зависимости от реализации воздействия среды). В результате описываются комплексные переходы m_k^k между S_p^s и их альтернативы в разных условиях среды и её воздействий. Такие комплексы альтернативных переходов описаны слоями симплексов в заданных изменяющихся условиях среды.

Для удобства может быть введён абстрактный комплексный переход $\tau_{[u]}$, где u — универсальный абстрактный индекс, содержащий индексы k в m_k^k и учитывающий индексы сценариев изменения состояний среды и индексы способов реализации информационных мероприятий.

Этот абстрактный универсальный индекс — аналог множества абстрактных индексов в тензорном пространстве. Универсальные состояния, переходы, альтернативы, меры соответствия соответствуют значению соответствующего вида тензора, стрелки — одному из следов («trace»), в соответствии с которыми реализуются вычисления.

Предполагается, что задание графовых и функциональных моделей (на их основе) позволяет далее перейти к вычислительным моделям в виде тензорных сетей, заданных с использованием расширений сетей, и графов на основе эшграфов.

Пример нотации, аналогичной нотации Пенроуза (Penrose) для описания универсальных состояний, переходов и мер соответствия, с использованием эшграфа универсальных индексов и состояний показан на рисунке 66.

На рисунке фигуры с полужирными линиями — аналоги тензоров. В зависимости от формы это тензоры, описывающие объекты разного вида (альтернативы, переходы, состояния, вероятности, интервалы времени). Их индексы описываются с использованием расширения графов (эшграфа). В простейшем случае такой индекс — дуга гиперграфа (показана тонкой линией на рисунке), содержащая все следы. Дуге приписан универсальный номер, позволяющий определить её составные части (следы).

Указанная схема носит характер метамодели теоретико-графовой модели специального вида, аналога тензорной сети, порождаемой для расчёта потенциала.

Используемые модели ограничиваются моделями в виде деревьев (не сетей). Причём таких, что связи по каждой ветви носят функциональный характер. В результате в каждой ветви каждая последующая величина — случайная величина, вероятность, детерминированная величина — зависит функционально от предыдущих. Эта связь и передаётся с использованием следа на рисунке и соответствующей гипердуги, ассоциированной с универсальным абстрактным индексом. В рамках каждого цикла зависимости могут иметься между значениями любых тензоров цикла, а вне цикла — только в последовательности, задаваемой ветвью дерева. Ветвь дерева обрывается последовательностью элементов.

Отличие элементов предлагаемого базиса в том, что они определены в точках пространства, представляющего собой части графов (ветви, пути, сечения, вложенные в дуги деревьев подсети во времени), и уже в пространстве таких частей и во времени определяются и рассчитываются числовые характеристики.

При условии того, что функциональные зависимости рассчитываются последовательно, только по ветвям, каждая ветвь задаёт необходимую и достаточную последовательность вычислений характеристик одного из возможных функционирований в соответствии с метамоделью теоретико-графовой модели на рисунке 66.

В таких сетях в качестве элементов базиса используются:

1. Временные ряды — моменты времени проверки состояний на границе СТС и среды — и ряды временных интервалов.

2. Комплексные цепи подсетей и переходов между состояниями (эщепи), описывающие реализации функционирования СТС в заданных «условиях среды», и при заданных проверках в заданные моменты времени, т. е. при заданных состояниях среды и характеристиках её воздействия на СТС и состояния — или ко-эщдеревья состояний. Соответствуют переходам, описывающим функционирование.

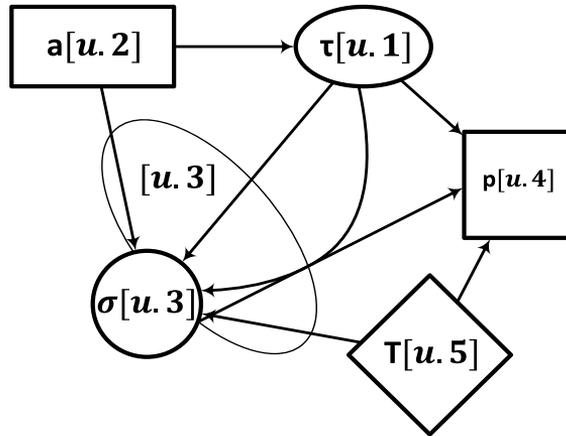


Рисунок 66. Нотация для описания универсальных элементов и универсальных индексов функциональной модели функционирования СТС

3. Комплексные модели состояний (эшдеревья состояний) СТС в заданный момент времени и в заданных условиях среды, или — ко-эщепи функционирования СТС.

4. Комплексные цепи подсетей и переходов между состояниями (эщепи), описывающие реализации функционирования среды СТС, и при заданных проверках в заданные моменты времени, т. е. при заданных состояниях среды и характеристиках её воздействия на СТС и состояния — или ко-эшдеревья комплексных состояний. Соответствуют переходам, описывающим функционирование среды СТС.

5. Комплексные модели состояний (эшдеревья состояний) среды СТС в заданные моменты времени, или — ко-эщепи функционирования СТС.

6. Комплексные модели мер соответствия состояний СТС требованиям при реализации функционирования СТС в заданные моменты, при заданных условиях среды и при заданных цепях альтернатив (реализации предписаний функционирования), эщепи мер соответствия результатов функционирования требованиям, или — ко-деревья мер соответствия состояний СТС требованиям.

7. Комплексные модели мер соответствия состояний СТС заданным требованиям в заданных условиях в заданный момент времени и при заданных альтернативах — деревья мер в заданный момент времени для разных альтернатив, или ко-эщепи мер (соответствия результатов функционирования требованиям).

8. Комплексные модели последовательностей альтернатив, указываемых в заданные моменты времени при функционировании СТС в заданных условиях функционирования — эщепи альтернатив функционирования, ветви деревьев альтернатив функционирования в разных условиях, ко-деревья альтернатив, которые могут быть назначены в заданные моменты времени.

9. Комплексные модели альтернатив, которые могут быть назначены (к исполнению) в заданные моменты времени при функционировании

СТС в заданных условиях — деревья альтернатив, которые могут быть назначены в заданные моменты времени, ко-эщепи альтернатив функционирования.

Модель оценивания потенциала в терминах тензорного пространства примет вид тензорной сети с рёбрами — абстрактными комплексными переходами $\tau[u]$ — и узлами — комплексными абстрактными состояниями $\sigma[u]$. $\tau[u]$ включают переходы разных видов, в том числе комплексные. $\sigma[u]$ также включают состояния разных видов, в том числе комплексные.

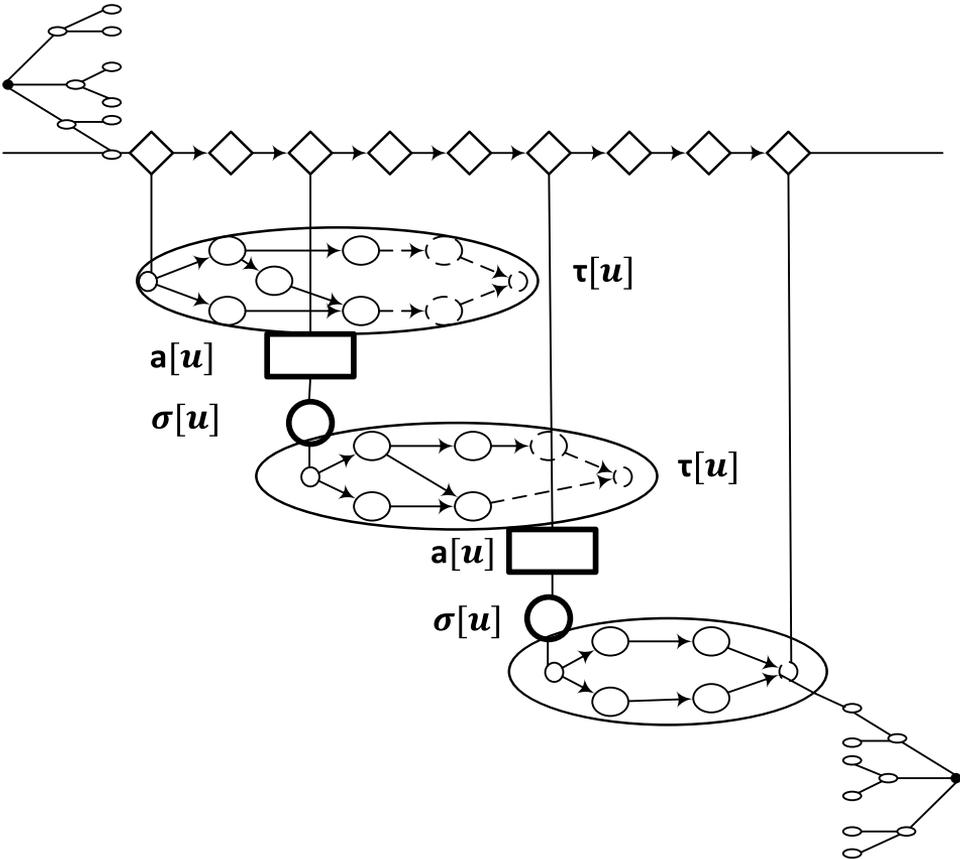


Рисунок 67. Ветвь дерева состояний при функционировании СТС, задающая функциональную модель реализации функционирования СТС на основе комплексных элементов и индексов

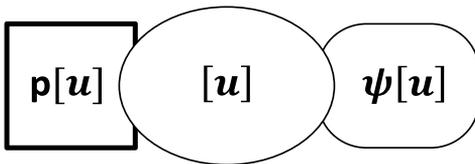


Рисунок 68. Нотация описания элементов и индексов оценивания мер соответствия эффектов требованиям к ним

Определим функциональную модель $M_{[u]}$, построенную на основе графа состояний и переходов $G_{[u]}$, как пятёрку [187].

$$M([u]) := \langle X, D, F, \otimes, [u] \rangle$$

1. $X = \{X_1 \dots X_n\}$ — значения переменных и параметров (в общем случае многомерных векторов); $X_i \in D_i$. $n \subset [u]$, $i \subset [u]$.

2. $D_i := \{D_1 \dots D_n\}$ — области определения переменных.

3. $F := \{f_1, \dots, f_r\}$ — функции с конечномерной областью определения (дискретные), в общем случае многомерные и определённые в многомерном пространстве. Функции заданы на множествах «масштаба» функций, каждое из которых получено путём комбинации множеств $X_i \in D_i$, $X_i \in X_{[u]}$.

Функции определяют гиперрёбра гиперграфа функциональной модели. В таких гиперрёбрах вершины соответствуют возможным значениям масштаба функций.

4. $\oplus \in \Pi$, \otimes, Σ — оператор комбинирования.

Модель $G_{[u]}$ задаёт глобальную функцию $\otimes[u](f_{[u]})$, заданную универсальным индексом $[u]$ и ассоциированную с $G([u])$.

Пятёрка может быть отнесена к виду алгебр Мальцева.

Факторизация параметров и переменных теоретико-графовой моделью выполнена так, что последовательностям функциональных зависимостей — и причинно-следственных связей — соответствуют последовательности рёбер теоретико-графовых моделей и вложенных в рёбра сетей. В этих последовательностях причина и следствие проявляются последовательно во времени.

Двойственное представление состоит в том, что совокупностям не связанных (рёбрами, путями, т. е. последовательностями рёбер) моделей соответствуют независимые множества. Им соответствуют те элементы, которые не связаны причинно-следственными связями. Такие элементы могут быть независимыми (одновременно реализуемыми) состояниями, независимыми решениями (альтернативами, в том числе принимаемыми в заданный момент), проверяемыми — в заданный момент — соответствиями.

В отличие от известных графо-вероятностных моделей [188] предлагаемая модель содержит функции, описывающие вероятностные зависимости только функционального вида — как вероятностные функциональные зависимости, так и функциональные зависимости случайных величин. Указанные функциональные зависимости заданы на основе сетей ТлОп, упорядоченных с использованием дерева.

Аргументы зависимостей — решения, альтернативы, которые детерминированы, и характеристики состояний, которые описываются как случайные величины. Множествам значений случайных величин соответствуют состояния, описываемые случайными величинами и вероятностными мерами. Функции носят вид конечномерных детерминированных функций случайных аргументов.

Полученная теоретико-графовая модель — основа функциональной модели — имеет вид *гипердерева* [187] вложенных состояний и сетей. Гипердерево строится на основе семейств альтернативных стохастических сетей операций путём учёта возможных альтернативных (проектных) решений.

Гипердерево $G_{[u]}$ вложенных состояний и сетей — совокупность базового дерева $Tr_{[u]}$, (гипер-) вершины $d_{[u]}^h$ которого ассоциированы со (вложенными) множествами комплексных состояний $S_{[u]}$, и множества сетей, ассоциированных с частью (гипер-) рёбер $a_{[u]}^h$. Такие (гипер-) рёбра $a_{[u]}^h$ представлены как ориентированные, заданные на вершинах начала и окончания выполнения ТлОп сетей (вырожденных ТлОп, ассоциированных с единственным состоянием), и вершинах — ТлОп (невырожденных) сетей, т. е. на вершинах гиперрёбер задан частичный порядок, и отображение начальной и конечной вершины (вырожденных) в гипервершины $d_{[u]}^h$. Начальное и конечное состояния сети (s, f) ассоциированы как с вершиной дерева, так и с вершиной сети.

$\frac{AND}{OR}$ дерево — дерево, дуги — и последовательности дуг — которого задают отношения AND, а ко-дуги — отношение OR.

$\frac{AND}{OR/A}$ гипердерево — гипердерево, дуги и последовательности дуг которого задают отношение AND, а ко-дуги — отношение OR, и в котором заданы гипердуги, соответствующие принятию альтернативных частичных решений (AOR). Дерево $Tr_{[u]}$ — AOR-дерево, часть дуг которого ассоциирована с сетями ТлОп.

На основе разработанной модели гипердерева вложенных состояний и сетей породим модель индексированных гипердереьев вложенных состояний и сетей. Индексированное гипердерево — гипердерево, в котором с использованием обходов реализована многомерная нумерация частей (ветвей, вложенных элементов вершин, вложенных элементов рёбер и ассоциированных с ними элементов). В результате получают многомерную структуру вида вложенных списков, массивов, матриц. Особенность предложенной структуры в том, что в этой структуре имеются измерения, позволяющие выполнять расчёты в порядке, имитирующем реализацию функционирования (1), и в порядке, позволяющем рассчитать сечения возможных реализаций функционирования.

Такая нумерация также задаёт произвольные последовательности комплексных состояний и переходов, где состояния соответствуют тензорам.

Частичные нумерации (измерения) могут задаваться как нумерации подграфов (частей) исходного (комплексного) графа.

Они могут использоваться для задания последовательности вычислений функций и последовательности реализации шагов алгоритмов.

Например, нумерация вершин сети в глубину задаёт последовательность посещения вершин при расчёте сетевой модели.

$$G_{[u]} := \{Tr_{[u]}, \chi_{[u]}, \sigma_{[u]}, \nu_{[u]}, tr_{[u]}, \Sigma_{[u]}\},$$

где

$$\chi_{[u]} := \left\{ d_{[u]}^h \xrightarrow{h_{[u]}} N_{[u]}, N_{[u]} \in \nu_{[u]} \right\};$$

$$\sigma_{[u]} := \left\{ a_{[u]}^h \xrightarrow{\sigma_{[u]}} tr_{[u]}, tr_{[u]} \in \Sigma_{[u]} \right\};$$

$$tr_{[u]} := S_{[u]}, A_{[u]}^S \subset S_{[u]} \times S_{[u]};$$

$$N_{[u]} := V_{[u]}, D_{[u]}^S \subset V_{[u]} \times V_{[u]}.$$

Здесь V_u — множество вершин сети $N_{[u]}$, ассоциированы с ТлОп;
 $D_{[u]}^S$ — множество дуг сети $N_{[u]}$, ассоциированы с отношениями между ТлОп;
 $S_{[u]} = s_{[u]}, [u] \sim u^*$ — множество элементарных состояний, заданное правилами u^* формирования множеств элементарных состояний;
 $A_{[u]}^S = a_{[u]}, [u] \sim u^*$ — множество рёбер дерева (элементарных) состояний,
 $[u] \sim u^*$ — правила формирования совокупностей переходов между состояниями.

Концептуальная модель задаёт отображение концептов в элементы $G_{[u]}$ и в индекс $[u], [u] \sim u^*$ (в правила формирования индексов).

Индекс описывает отношения между элементами и затем вид функциональных зависимостей.

Исходя из вышесказанного, на основе $G_{[u]}^f$ и концептуальной модели определим функциональную модель $M_{[u]}^f$ функционирования системы.

$M_{[u]}^f$ — функциональная модель функционирования системы вида $M_{-}\{[u]\}$, отличающаяся видом используемой графовой модели $G_{[u]}^f$, особенностями факторизации переменных и параметров и заданными с использованием модели последовательностями функций $F := \{f_1, \dots, f_r\}$.

А именно:

Во-первых, множества переменных и параметров факторизованы элементами введённой метамодели теоретико-графовой модели, $X = \cup X_{[u]}$, где $X_{[u]} = \vee X_a \vee X_\sigma \vee X_T \vee X_\tau \vee X_p$. Каждый X_i соответствует (ассоциирован) с той или иной частью $g_{[u]}$ графовой модели $G_{[u]}$: ($X_i \sim g_{[u]}$), а $g_u \sim X_{[u]}$, т. е. роль теоретико-графовой модели состоит в факторизации переменных, параметров и функций. В том числе факторизируются альтернативы и альтернирование (целенаправленное изменение) функционирования.

Во-вторых, с использованием $G_{[u]}^f$ определены такие последовательности функций, что в этих последовательностях функции, ассоциированные с каждым ребром деревьев, — детерминированы, а на множестве детерминированных функций (ассоциированном со множеством переходов), возможных из каждого состояния, задано распределение вероятностей. Тем самым реализуется *расщепление случайной функции* — в вероятностную смесь функций, а затем в конечное число последовательностей детерминированных функций случайных величин с заданным на этих последовательностях дискретных распределений вероятностей.

В-третьих, прерывание (планового) функционирования задаётся моделью $M_{[u]}^{fi}(I, T_{[u]})$, которая имеет функциональный вид и сопоставляет заданным изменениям среды и её воздействиям при заданном плане функционирования и заданной используемой ИТ I изменения функционирования и вероятности таких изменений. При этом конечному множеству возможных изменений среды и воздействиям среды соответствует конечное число возможных изменений функционирования системы, характеристики каждого из которых функционально связаны с заданными условиями среды, условиями её воздействия и заданным планом. Эта функциональная модель позволяет корректно описать альтернирование функционирования в виде последовательности функциональных зависимостей.

В результате расщепления получают комплекс детерминированных функций, каждая из которых связывает начальное и конечное случайные

состояния. Расщеплённые (в детерминированный ряд с распределением вероятностей на нём) случайные функции расщепляются и далее, путём рекуррентного повторения процедуры для каждого из полученных состояний. Получают ряд расщеплённых детерминированных функций, связывающих случайные состояния. Этот ряд ассоциирован с ветвью дерева.

$$F_u := \{f_{[u]}\};$$

$f_{[u]}$ — детерминированные функции (случайного аргумента), ассоциированные с дугой $a_{[u]}$ ($a_{[u]}^h$).

$\Phi_{[u]}(T_{[u]}) = \{(f_{[u]}, p_{[u]}(T_{[u]})); \sum_{[u]}(p_{[u]}(T_{[u]})) = 1\}$ — расщеплённая случайная функция случайного аргумента, заданная на $a_{[u]}$, исходящих из одной $d_{[u]}$. $p_{[u]}(T_{[u]})$ рассчитывается как значение функции распределения вероятности того, что в момент $T_{[u]}$ реализуется переход (способ реализации ТлОп), ассоциированный с $a_{[u]}$. Моменты $T_{[u]}$ задаются как детерминированный ряд.

Последовательность $\Phi_{[u]}(T_{[u]})$, ассоциированная с деревом состояний и переходов, задаёт последовательность

$$\{\Phi_{[u]}(T_{[u]}) = (\Phi_{[u]}(T_{[u]}) \dots \Phi_{[u]}(T_{[u]}))\}$$

и вероятности $p_{[u]}^*(T_{[u]}) = \prod p_{[u]}(T_{[u]})$, где каждая последующая $d_{[u]}$ инцидентна ребру, с которым ассоциирована предыдущая (расщеплённая) $\Phi_{[u]}(T_{[u]})$, т. е. следует за ней по одной из ветвей дерева.

Последовательности таких $\Phi_{[u]}(T_{[u]})$, начиная с корневой вершины и заканчивая висячей, образуют расщепление $\Phi_{[u]}^0(T_{[u]})$ и функцию распределения вероятностей $p_{[u]}^0(T_{[u]})$ на ветвях дерева. Эффекты рассчитываются с использованием операций суммирования $\sum \hat{y}_{[u]}$ случайных величин $\hat{y}_{[u]}$ и их максимизации $\text{Max} \hat{y}_{[u]}$.

Модель $M_{[u]}^f$ задаёт глобальную функцию

$$\otimes(\Phi_{[u]}^0(T_{[u]}), \sum \hat{y}_{[u]}, \text{Max}\{\hat{y}_{[u]}\}),$$

заданную универсальным индексом $[u]$ и рассчитываемую на основе $G_{[u]}^f$. Эта модель зависит от принимаемых — с использованием ИТ — решений, которые, например, могут быть ассоциированы с вершинами вида «AOR» дерева.

Такая зависимость записывается как $M_{[u]}^f(x_i, T_{[u]})$; $X_i \in D_i$, где X_i может даваться как последовательность $x_{[u0]} \dots x_{[u*]}$ в разных AOR-узлах в разные $T_{[u]}$.

Отличие семейств (гипердеревьев) возможных альтернативных состояний и сетей операций от других графо-вероятностных моделей состоит в том, что оно описывает возможные альтернативы действий — в отличие от семейств альтернативных сетей — для разных состояний. При этом каждая ветвь дерева, ассоциированная с (комплексным) переходом между состояниями, обладает тем свойством, что для расчёта характеристик каждого гиперребра, ассоциированных с дочерней вершиной этого гиперребра, достаточно характеристик, ассоциированных с начальной (родительской) вершиной, и при этом указанные характеристики связаны детерминированной функциональной зависимостью и не зависят от времени. Вероятности реа-

лизации переходов между состояниями зависят от времени и рассчитываются как функциональные зависимости от моментов $T_{[u]}$ и от характеристик реализуемых комплексных переходов.

Начальная вершина ассоциирована с начальным состоянием сети, конечная — с конечным (и с дочерней вершиной в дереве состояний).

Такие зависимости, например, получают при известных планах достижения цели и условиях воздействия среды путём расчёта стохастической сети.

Расчёт стохастической сети и возможных прерываний ТлОп сети позволяет задать функциональную зависимость между начальной и каждой из возможных конечных вершин дерева — между состояниями начала и окончания сети — и закон распределения вероятностей того, что будет реализована та или иная функциональная зависимость.

При этом зависимость характеристик возможных прерываний сети ТлОп функционально зависит от реализуемого в заданных условиях плана функционирования и задана функциональной моделью $M_{[u]}^{fi}$ возможных прерываний.

Совокупности вероятностных альтернатив, каждая из которых имеет в качестве родительской одну заданную вершину, описывают заданную с использованием дискретного распределения вероятностей на множестве детерминированных функций случайную функцию случайного аргумента.

Всё дерево в целом описывает (альтернативные) векторные случайные процессы (поля), а сечение дерева соответствует (альтернативным) сечениям случайных процессов (полей).

Построение гипердерева сетей — порождение в соответствии с метамоделью графа реализаций метаземлементов и связывание элементов в гипердереве сетей в соответствии с (абстрагированной) концептуальной моделью.

Построение гиперграфа функциональной модели реализуется в соответствии с метамоделью элементов гипердерева сетей и концептуальной моделью. Построение гиперграфа функциональной модели состоит в описании (гипер-) дуг, соответствующих расщепляемым функциональным зависимостям.

Для корректного задания $M_{[u]}^{fi}(I, T_{[u]})$ используется модель функционирования среды $M_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]})$, позволяющая породить множества возможных состояний среды и переходов между ними и рассчитать их вероятности. Эта модель, как и модель функционирования системы, имеет вид вероятностной графовой модели $M_{[u]}$.

Комплексная модель функционирования системы в изменяющихся условиях среды носит вид суперпозиции моделей среды и системы — такой, что модели каждой реализации функционирования среды сопоставляет модель функционирования системы в заданных условиях функционирования среды.

$$M_{[u]}^{esfi} := M_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]}) \odot M_{[u]}^{fi}(I, T_{[u]}).$$

Полученная в результате суперпозиции модель $M_{[u]}^{esfi}$ и позволяет исследование потенциала СТС.

Модели $M_{[u]}^{efi}$, $M_{[u]}^{fi}$ и затем их суперпозиции строятся на основе имеющейся концептуальной модели $Mk_{[u]}$ функционирования системы, среды и их взаимодействия и имеющихся сведений $I_{[u]}$ о технологии функционирования

ния системы, среды и их взаимодействия при функционировании, о реализациях функционирования. КМ $Mk_{[u]}$ выступает в качестве абстрактной модели, задавая особенности элементов моделей и правила их связывания в комплекс.

Метамодель $Mmg_{[u]}$ теоретико-графовой модели задаёт виды элементов теоретико-графовой модели и их связи. Содержание элементов и связей — в соответствии с абстракцией КМ — задаются имеющимися сведениями о технологии и реализациях функционирования:

$$I_{[u]} \xrightarrow{Mk_{[u]}, Mmg_{[u]}} M_{[u]}^f.$$

Такое порождение может быть автоматизировано, например, с использованием методов A_m машинного обучения.

$$I_{[u]} \xrightarrow{A_m(Mk_{[u]}, Mmg_{[u]})} M_{[u]}^f.$$

Порождение моделей возможно по частям, с последующей композицией моделей. Для такой композиции необходимо, чтобы модели имели вид, допускающий композицию.

Такой вид обеспечивается представлением моделей в виде деревьев состояний и переходов, вершины которых упорядочены в порядке причинно-следственных связей.

В результате создаются модели среды и модели функционирования СТС в различных условиях среды, а затем их композиции.

Модели функционирования в различных условиях композитруются из частных моделей функционирования для заданных условий. Они, в свою очередь, конструируются из сведений о способах функционирования и о технологиях. Примеры такого композирования приведены в [190].

Для автоматизации такого порождения следует автоматизировать порождение моделей на основе известной технологии, для различных условий.

Операция конструирования моделей $M_{[u]}$ имеет вид отображения конструирования K_{MM} , заданного на имеющихся сведениях I_M (исходных данных моделирования). Отображение задаётся $Mk_{[u]}$, $Mmg_{[u]}$:

$$I_M \xrightarrow{K_{MM}} M_{[u]}.$$

При конструировании моделей используются как минимум два вида операций конструирования (как для системы, так и для среды), по видам получаемого результата конструирования моделей $M_{[u]}$:

1. Конструирование комплекса операций функционирования (действий, операций и отношений между ними) — конструирование вида:

$$I_M^A \xrightarrow{K_{MM}^A} M_{[u]}^A.$$

2. Конструирование комплекса возможных состояний и переходов между ними в результате действий (конструирование результатов действий и отношений между результатами) — конструирование вида:

$$(I_M^S \times M_{[u]}^A) \xrightarrow{K_{MM}^S} M_{[u]}^S.$$

Конструирование K_{MM}^S реализуется на основе результатов K_{MM}^A , и формируется комплексное отображение конструирования K_{MM} :

$$K_{MM} = K_{MM}^S \circ K_{MM}^A.$$

Оба вида моделей конструируются по концептуальной модели — как абстрактной модели, описывающей содержание модели, — и по (разным) метамоделям. Первая по метамодели теоретико-графовой модели технологии функционирования. Вторая по метамодели — теоретико-графовой модели результатов функционирования.

Конструирования могут быть отнесены к отношениям абстракции, реализации, порождения, отношениям «экземпляр» [189] («instance of», «kind of», «token-type»), отношениям между моделью и метамоделью в метамоделировании, или — между потенциальным и фактическим в лингвистике [191].

Конкретнее — следует отнести их к отношению абстракции типа R_{abs} [189] (когда более детальный тип абстрагируется в связанный с ним родительский тип) или F_{abs} . Это отношение может быть смоделировано функцией.

Отношения метамодели — описывающей язык моделирования, в том числе графический — с моделью могут быть описаны разными видами отношений вида соответствия («Conforms To»).

Полученные частные модели — по крайней мере частные модели состояний и переходов при функционировании среды $M_{[u]}^{es}$ и состояний, переходов при функционировании системы $M_{[u]}^{ss}$ — используются для композиции частных моделей в комплексную модель функционирования системы в различных условиях среды.

Композиция моделей состояний и переходов реализуется на основании причинно-следственных связей состояний и переходов, путём композиций цепочек состояний и переходов благодаря тому, что отдельные — более короткие, не связанные отношениями причины и следствия — цепочки состояний связываются в более длинные цепочки. Такая операция [192] связана с отношением «целое и составная часть» (structural relationship, whole-part).

Заметим, что используемое обозначение «комплексного индекса» $[u]$ и его отношение с «частным индексом» может быть отнесено к отношению «целое и часть». Отношение комплексного индекса и теоретико-графовой структуры, используемой для его описания, может быть передано отношением «порождения». Так, нумерация вершин в ветви дерева может быть порождена обходом дерева в глубину или в ширину, и обе эти нумерации могут рассматриваться как порождённые деревом.

Полученные модели функционирования СТС и среды, их взаимодействия могут проверяться, а затем оптимизироваться на соответствие наблюдениям путём задания меры соответствия $\mu_{[u]} = \mu(I_{[u]}, M_{[u]}^f)$ модели наблюдениям и последующей оптимизации параметров модели для получения лучшего соответствия. Построение лучшей модели может иметь вид оптимизационной задачи (поиска наилучшего соответствия модели данным).

Модель $M_{[u]}^{esfi}$ позволяет оценивать различные операционные (прагматические) свойства путём построения на её основе мер соответствия эффектов требованиям к ним: $M_{[u]}^{esfi}$.

Расчёт (вывод) меры на модели состоит в вычислении мер соответствия $\mu_{[u]}^{esfi}$ для различных состояний СТС и её среды при функционировании на основе сопоставления частей ГДВСС (гипердерево вложенных сетей и состояний), соответствующих $M_{[u]}^{fi}$ и $M_{[u]}^{efi}$ на одной ветви комплексной модели ГДВСС.

Модель функционирования с ассоциированными мерами $\mu_{[u]}^{esfi}$ соответствия эффектов требованиям $M_{[u]}^{esfi}$, полученная в результате расчётов, содержит те же ветви, но может не содержать вложенных сетей и состояний (в них может не быть необходимости). Таким образом, операции по получению (расчёту) $M_{[u]}^{esfi}$ на основе $M_{[u]}^{efi}$ и $M_{[u]}^{fi}$ принимают вид операции (\downarrow_{μ}) симплификации [187] с расчётом меры соответствия:

$$M_{[u]}^{esfi} := M_{[u]}^{efi} \downarrow_{\mu} M_{[u]}^{fi}.$$

Полученная модель $M_{[u]}^{esfi}$ используется для оценивания показателей различных операционных (прагматических) свойств и решения математических задач исследования операционных свойств на ГДВСС-моделях.

Задачи синтеза с использованием альтернативных ГДВСС принимают вид симплификации с использованием операций Σ , \min , \max :

$$\Psi(\pi_{[u]}) := \downarrow_{\Sigma, \min, \max} M_{[u]}^{esfi}.$$

Здесь $\pi_{[u]}$ — одна комплексная альтернатива из структурированного с использованием А-ГДВСС $M_{[u]}^{Asfi}$ множества возможных альтернатив функционирования системы, $\pi_{[u]} \in M_{[u]}^{Asfi}$, $[u]$ — универсальный мультииндекс А-ГДВСС.

$M_{[u]}^{Asfi}$ имеет вид структурированных в виде дерева альтернатив и соответствующих этим альтернативам моделей функционирования, т. е.:

$$M_{[u]}^{Asfi} = M_{[u]}^{A \odot M_{[u]}^{sfi}}.$$

Задача синтеза принимает вид:

$$\pi^{\text{opt}} := \text{Arg} \max_{\pi_{[u]} \in M_{[u]}^A} \Psi(\pi_{[u]}),$$

где $\Pi_{[u]}$ — множество возможных альтернатив, структурированное с использованием $M_{[u]}^{Asfi}$.

Вопрос задачи исследования потенциала формулируется как описание подграфа $\pi_{[u]}$ графа — модели M_u с требуемыми свойствами. Описание требуемых свойств задаётся с использованием, например, предиката на графе. Значение предиката $p(M_u)$ истинно, если подграф обладает требуемым свойством.

Решение задачи — поиск такого подграфа (логический вывод) на графовой модели, который позволил бы найти удовлетворяющие условия задачи подграф (или доказать отсутствие решения).

Поиск такого подграфа при решении задачи исследования потенциала реализуется на основе расчёта значений показателей потенциала, которые входят в выражение для предиката на подграфе.

На основе описанных моделей $M_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]})$ и $M_{[u]}^{fi}(I, T_{[u]})$, задающих возможные реализации последовательностей состояний и переходов (для последовательностей моментов $T_{[u]}$), определяются двойственные модели $Ms_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]})$ возможных состояний среды и $Ms_{[u]}^{fi}(I, T_{[u]})$ состояний системы в заданные моменты $T_{[u]}$.

Затем, на основе полученных моделей, создаётся комплексный граф расчётов функциональной модели. В нём с (гипер-) дугами, заданными $[u]$, ассоциированы расчёты функциональных зависимостей.

Запишем последовательности реализованных комплексных переходов $m_k^k \in \tau_{[u]}$ и полученную в результате последовательность состояний $S_p^s \in \sigma_{[u]}$ на границе СТС в виде последовательности S_h^s , $h \in [u]$. Ей соответствует последовательность комплексных переходов между состояниями слоя (ветвь дерева между слоями). Эта последовательность соответствует и моменту времени T_p , $p \in [u]$, причём одному моменту может соответствовать несколько последовательностей с соответствующими им вероятностями $p_{[u]}$ реализации $\tau_{[u]}$. Состояния между слоями могут использоваться для расчёта, но затем, при решении задач исследования потенциала, могут не использоваться.

Последовательность состояний и переходов (ветвь дерева) S_h^s , $h \in [u]$ сформирована при условии, что был реализован (заданный) сценарий $Sc_q \subset Ms_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]})$ функционирования среды, случайные величины воздействий среды на элементы приняли значения $\hat{Z}_{<k>}(T_p) \subset Ms_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]})$ и использованы предписания выполнения информационных и неинформационных операций π_{au} , π_{bu} в соответствии с выполненными для получения предписаний ТИО информационных технологий I , что будем записывать $S_h^s(\hat{Z}_{<k>}(T_p), \pi_{[u]}, I_{[u]}) \subset Ms_{[u]}^{fi}(I, T_{[u]})$, $[u]$ — универсальный индекс массива.

Ветвь рассчитывается на основе модели слоёв симплексов.

Введём допущение, что система находится в состоянии $S_p^s \in \sigma_{[u]}$ (состояние «наблюдается») несмотря на то, что его продолжительность может быть нулевой) с момента T_p окончания предшествующего — ведущего в состоянии — перехода до момента T_{p+1} окончания последующего перехода. Моменты начала и окончания наблюдения состояния случайны и зависят от реализуемых последовательностей S_h . Однако интервал $[0, T^r]$ разбит детерминированными моментами $T_{[u]}$. Если произвольный момент времени $T \in [T_p, T_{p+1}]$, $p \in [u]$, то он считается равным T_p . В результате считается, что в произвольный момент T может наблюдаться одно из возможных в T_p (комплексных) состояний $\langle S_p^s \rangle$, $p \in [u]$ системы. Такие состояния формируются одним из «измерений» универсального индекса $[u]$.

Обозначим $P_p^s(T_p, S_p^s, \hat{Z}_{<k>}(T_p), \pi_{[u]}, I_h)$ — вероятность наблюдения состояния S_p^s системы в заданный момент времени T_p реализации $S_h^s(\hat{Z}_{<k>}(T_p), \pi_{[u]}, I_h)$;

$T^H(S_p^s)$ — момент начала наблюдения состояния S_p^s (равен T_p);

$T^{ok}(S_p^s)$ — момент окончания наблюдения состояния S_p^s .

Выражение для расчёта вероятности $P_p(T_p, S_p^s, \hat{Z}_{<k>}(T_p), \pi_{[u]}, I_h)$ наблюдения S_p^s в T_p примет вид:

$$P_p^s(T_p, S_p^s, \hat{Z}_{<k>}(T_p), \pi_{[u]}, I_h) = \\ = \left(P \left(T^H(S_p^s, \pi_{[u]}) \leq T_p \right) P \left(T^{ok}(S_p^s, \pi_{[u]}) > T_p \right) \right).$$

Эти вероятности следует рассчитать для всех $S_p^s, S_h^s(\hat{Z}_{<k>}(T_p), \pi_{[u]}, I_h)$ и для заданных альтернатив $\hat{Z}_{<k>}(T_p), \pi_{[u]}, I_h$.

Далее предположим, что при заданном $Sc_h \subset Ms_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]})$ предписания I_h тоже заданы однозначно и поэтому $S_h^s(\hat{Z}_{<k>}(T_p), I_h)$ известно и единственно.

При известном S_h^s определим ненулевые $P_p^s(T_p, S_p^s, Sc_h, I_h)$ для $p = \overline{1, P}$.

Тогда для заданного момента времени T_p и сценария Sc_h функционирования среды получим дискретное распределение вероятностей проявления состояний из S_h^s в этот заданный момент:

$$\zeta(T_p, S_p^s, \hat{Z}_{<k>}(T_p), \pi_{[u]}, I_h) = \langle (T_p, p_p^s(T_p, S_p^s, \hat{Z}_{<k>}(T_p), \pi_u, I_h), p \in [u] \rangle.$$

Здесь $[u]$ — комплексный универсальный индекс.

Каждая последовательность S_h^s может быть реализована с некоторой вероятностью, в зависимости от того, какие предписания были выданы на РМ при тех или иных условиях среды и как среда воздействовала на СТС при реализации предписаний (в зависимости от $Sc_h \subset Ms_{[u]}^{efi}(I^e, T_{[u]})$).

Эта вероятность определяется как произведение вероятностей того, что будут реализована последовательность переходов m_k^k и, в результате, состояния S_h^s .

Обозначим:

$q_p(m_k^k)$ — вероятность актуализации комплексного перехода $m_k^k = \tau_{[u]}$ в СТС, ведущего в состояние S_h^s (ассоциирована с ребром в теоретико-графовой модели ветви $B_i \sim S_h^s$ дерева слоёв); $g_{[u]}(\tau_{[u]})$ — соответствующая вероятность комплексного перехода, описанная с использованием многомерного массива с универсальным индексом $[u]$.

$Q(S_h^s)$ — вероятность актуализации последовательности состояний и переходов ветви S_h^s (или, альтернативно, измерения $[u]$). Тогда

$$Q(S_h^s) = \prod_{p=1, L(S_h^s)} q_p(m_k^k, S_h^s),$$

где $L(S_h^s)$ — длина последовательности переходов S_h^s (число переходов в S_h^s), $L \leq P$. Поскольку длины могут быть разными, в случае использования вектора — или измерения многомерного массива — следует взять максимальную длину, а «лишние» ячейки заменить пустыми значениями и не учитывать в расчётах, т. е. в случае использования комплексного индекса — $[u]$.

Заметим, что, в соответствии с процедурой построения теоретико-графовой параметрической модели $B_i \sim S_h^s$, может быть реализован только одна S_h^s , и при этом:

$$\sum_{h=\overline{1,B}} Q(S_h^s) = 1,$$

где B — число ветвей $B_i \sim S_h^s$, то есть равно числу возможных непустых последовательностей состояний и переходов.

Если ветви описываются в виде многомерных матриц состояний и переходов, то число ветвей соответствует числу соответствующих ненулевых комплексных индексов $[u]$ многомерного массива, описывающих последовательности состояний.

Тем самым для каждого из S_h^s задано $\zeta(T_p, S_h^s)$ и при этом может быть реализована одна и только одна последовательность S_h^s (последовательность состояний по комплексному индексу $[u]$).

Обозначим $P_h^s\{T_p, S_h^s\} = \langle P_p^s(T_p, S_h^s), p = \overline{1, P} \rangle$ вектор из $P_p^s(T_p, S_h^s)$ для заданного S_h^s .

$Q_h^s = \langle Q(S_h^s), h = \overline{1, B} \rangle$ вектор из $Q(S_h^s)$ для каждого из S_h^s .

$P(T_p) = [Q_h^s \cdot P_h(T_p, S_h^s)]$ — матрица размерностью $B \times P$, описывающая вероятности переходов в различные состояния СТС на границе со средой в заданные моменты времени $T_p, [B \times P] \in [u]$.

$B \times P$ — матрице соответствует совокупность подиндексов, задающая соответствующую подматрицу вероятностей актуализации состояний. Номер $p \in [u]$ однозначно задаёт интервал времени и момент T_p , ему соответствующий. Номер h задаёт ветку дерева. Матрица рассчитывается на основе фрагментов реализаций сетей ТлОп между моментами времени проверки.

В общем случае имеется отображение теоретико-графовых моделей в системы подмножеств, заданных многомерными массивами — подизмерениями $[u]$.

Теоретико-графовые модели позволяют задать структуры, с которыми ассоциированы результаты расчётов, а также структуры, позволяющие эти расчёты выполнить — с помощью алгоритмов на графах.

Соответствующие многомерные массивы и функции расчёта их частей, ассоциированные с переходами, предназначены для выполнения той же задачи.

Заметим, матрица $P(T_p)$ задаёт условные распределения вероятностей P_p^s при заданных S_h . В массивах, индексированных измерениями $[u]$, ячейки со значением «0» описывают состояния, реализация которых невозможна.

Наблюдаться может только одно состояние S_p^s среды, описанное структурой порождённых данных.

Вероятности $P_p^s(T_p, S_h^s, \hat{Z}_{<k>}(T_p))$ наблюдения $Q(S_h^s)$ соответствуют ячейкам $[u]$. Закон распределения состояний, требуемых средой $\zeta^r(T_p)$, имеет вид:

$$\zeta^r(T_p) = (P(T_p), T_p), p \in [u].$$

Обозначим $\hat{Y}_{<j>}(T_p)$ — вектор случайных величин прогнозируемых эффектов, проявляющихся на границе СТС в моменты времени $T_p \in [0, T^r]$ на горизонте планирования функционирования СТС.

Эти эффекты ассоциированы с *теоретико-графовой моделью функционирования СТС в изменяющихся условиях на границе с СТС*. Полученные помеченные теоретико-графовые модели задают алгебраическую модель функционирования СТС на границе с СТС в изменяющихся условиях. Модель имеет вид помеченного дерева. Пометки соответствуют случайным величинам эффектов, проявляющихся в моменты времени T_p реализации информационных операций на границе с СТС одним из возможных способов при условии того, что переходы между — информационными, неинформационными — состояниями привели к этому способу реализации ТИО. Эффекты ассоциированы с состояниями выполнения ТИО на границе назначенным (предписанным) способом, ассоциированным с вершиной дерева, а вероятности того, что такой способ будет назначен, действия и соответствующие им переходы, ведущие в состояние, ассоциированы с ребром дерева, ведущим в эту вершину.

Характеристики законов распределения векторной случайной величины $\hat{Y}_{<j>}(T_p)$ могут быть представлены в виде многомерных массивов с комплексным индексом $[u]$. Обозначим их $C_{[u]}(T_p)$. Переходы обозначим многомерными функциональными зависимостями $\tau_{[u]}(C_{[u]})$.

Совокупности $C_{[u]}(T_p), \tau_{[u]}(C_{[u]})$ задают состояния и переходы между ними. Совокупности таких многомерных массивов зададут функциональную модель СТС (и её функционирования) на границе СТС и среды СТС в виде *комплекса рекуррентных функциональных зависимостей, заданных в многомерном массиве*. Заметим, в указанных многомерных массивах часть элементов могут быть пустыми, но если они представлены структурой типа дерево, таких пустых элементов удастся избежать.

$\hat{Y}_{<j>.p}(T_p, S_p^s, S_h^s)$ — значение вектора $\hat{Y}_{<j>}(T_p)$ в момент T_p при заданной последовательности S_h^s и фиксированном состоянии S_p^s в этой последовательности. Ассоциирована с узлом дерева. С ребром, ведущим в эту вершину, ассоциирована вероятность перехода, соотношения для расчёта вероятности.

Соответственно, характеристики этой векторной случайной величины в виде многомерных массивов — $C_{[u]}(T_p)$. Характеристики рёбра $\tau_{[u]}(C_{[u]})$.

$$\hat{Y}_{<j>}(T_p, \hat{Z}_{<k>}(T_p)) = \langle \hat{Y}_{<j>.p}(T_p, S_p^s, S_h^s) Q(S_h^s) P_p^s(T_p, S_p^s, \hat{Z}_{<k>}(T_p)) \rangle.$$

Для этих векторов может быть составлен массив характеристик прогнозируемых эффектов для заданного сценария функционирования среды и различных заданных моментов времени. В этом массиве «первое измерение» — параметры прогнозируемых эффектов, второе — возможные достигнутые состояния (значения достигнутых эффектов) на границе СТС, третье — моменты времени, в которые наблюдаются состояния.

Задав указанные массивы для различных возможных сценариев (из числа B возможных), получим ещё одно измерение многомерного массива, задающего изменения характеристик случайных величин $\hat{Y}(T_p)$ прогнозируемых эффектов во времени, для разных возможных последовательностей состояний и переходов при функционировании системы.

Полученный многомерный массив задан для одной реализации сценария функционирования среды. Модель функционирования среды будет рассмотрена ниже.

Многомерный массив $\hat{Y}(T_p)$ задаёт функциональную алгебраическую модель (функционирования) среды в заданный (к заданному) моменту T_p .

Функциональная вычислительная модель задаётся с использованием индекса $[u]$ путём задания гипердуг $\chi \in [u]$, описывающих расчёт функций (параметров, переменных и действий с ними для расчёта значений функций).

Модель описывается на основе зависимости E_z характеристик интегральных эффектов функционирования СТС в зависимости от характеристик условий функционирования s_w^r , от вскрытых последовательностей действий в зависимости от условий (в том числе в зависимости от сетей операций $N_{[u]}$) и в зависимости от переменных x_z в задачах исследования потенциала.

Таким образом, функциональная модель в алгебраической форме может быть записана как параметрическая зависимость интегральных эффектов от частных, вскрытая с использованием индекса $[u]$:

$$E_{[u]}^{\hat{Y}} = E_{[u]}(T_{[u]}, x_{[u]}, C_{[u]}, C_{[u]}, N_{[u]}).$$

Указанная зависимость описывается за счёт указания зависимостей параметров характеристик комплексных случайных величин от параметров частных (элементарных, заданных из документации как исходные данные).

Ячейкам массива, задающего параметры законов распределения, сопоставлены характеристики законов распределения вероятностей СВ прогнозируемых эффектов $\hat{Y}(T_p)$.

Массив составлен для разных состояний и последовательностей состояний и переходов при функционировании СТС (т. е. при условии наступления событий, связанных с наблюдением альтернативных последовательностей прогнозируемых состояний и переходов при функционировании). Затем состояния характеризуются параметрами разных эффектов, разных моментов времени, разных частных характеристик, используемых для расчёта эффектов (т. е. результатов, требуемых средой).

Эти модели в виде массивов являются основой для расчёта показателей потенциала СТС, показателей операционных свойств использования информационных технологий.

Модель функционирования системы можно записать также в агрегированном виде (усреднённых значений), как вероятностную смесь случайных величин, наблюдаемых в заданный (заданные) момент (моменты) времени.

Усреднив по состояниям S_p^s , возможным в заданный момент времени T_p при реализации одной заданной последовательности состояний и переходов S_h^s (усреднив по ветке в заданный момент), получим алгебраическое выражение для расчёта вектора эффектов в заданный момент времени:

$$\hat{Y}_{[u]}(T) = \hat{Y}_{\langle j \rangle}^B(T_p, S_h^s) = \sum_{p=1, P} \hat{Y}_{\langle j \rangle, p}(T_p, S_p^s, S_h^s) P_p(T_p, S_p^s, S_h^s).$$

Эта случайная величина — основа для расчёта (усреднённых) значений прогнозируемых эффектов в заданный момент времени $\hat{Y}_{[u]}(T)$ при условии заданной реализации функционирования и его условий. Для расчёта этой случайной величины необходимо усреднить значения эффектов по всем последовательностям S_h^s (по всем веткам $B_i \sim S_h^s$, реализация которых возможна

в заданный момент времени при заданных условиях и реализации функционирования).

$$\hat{Y}_{<j>}(T_p) = \sum_{h=1, B} \hat{Y}_{<j>}^B(T_p, S_h^S) Q(S_h^S).$$

В результате для любого РС-1 и перехода при его реализации (т. е. при заданной последовательности S_h^S до начала РС-1) получают законы распределения эффектов функционирования СТС при условии, что этот переход при РС-1 реализован. Эта величина совместно с величиной требуемых эффектов при реализации того же перехода позволяет оценить показатель потенциала, накопленный к реализации РС-1 при реализации заданного перехода. Она же используется для исследования других операционных свойств, в том числе операционных свойств информационных технологий.

Для любого момента времени с использованием полученных соотношений получают параметры случайных величин — значений прогнозируемых эффектов в этот момент времени. Они описывают сечение случайного процесса изменения прогнозируемых значений эффектов функционирования.

3.2.2.1.2. Функциональные модели функционирования среды СТС

Теоретико-графовая модель среды включает последовательность требуемых состояний и переходов при функционировании среды, вызванных календарным планом функционирования среды.

Календарный план функционирования среды реализуется при исполнении ТлОп среды одним из возможных способов.

В результате формируется сценарий функционирования среды в виде частично упорядоченной последовательности ТлОп среды, выполняемых каким-либо из возможных способов. Эта последовательность вызывает последовательность состояний среды и переходов между ними. В общем случае переходы могут быть случайными.

В СТС такая последовательность состояний и переходов представляется в виде дерева требуемых средой состояний и переходов между ними.

В рамках допущений работы эти состояния предполагаются заданными в возможностном смысле, необходимость в их раскрытии (как это делалось для состояний системы) не учитывается.

При изменении требуемого состояния могут меняться или не меняться все последующие требуемые средой состояния.

Указанные состояния предполагаются проверяемыми при реализации информационных операций на границе СТС и среды — редуцированных симплексов 1-го рода.

На рисунке 69 прямоугольниками с границей, проведённой жирной линией, показаны состояния, полученные в результате такого перехода между состояниями среды, которые в результате перехода требования к результатам поменялись.

Этим переходам соответствуют рёбра, выделенные жирной линией.

Например, переходу

1–1.2

соответствует изменение последовательности требований к эффектам с 1-1.1-1.1.1-1.1.1.1-1.1.1.1.1 на 1-1.2-1.2.1-1.2.1.1-1.2.1.1.1 (требования изменились один раз, более не менялись). Смене перехода соответствует единственное появление большего номера в последовательности нумераций;

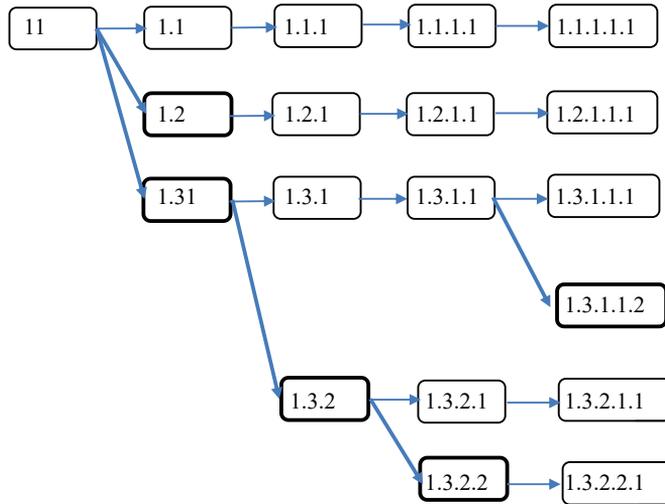


Рисунок 69. Изменения требуемых состояний среды

а переходу 1-1.3 с 1-1.1-1.1.1-1.1.1.1-1.1.1.1.1 на 1-1.3-1.3.1-1.3.1.1-1.3.1.1.1 (требования изменились 1 раз, более не менялись), ему снова соответствует единственное появление большего номера в последовательности нумераций.

А также более сложные случаи:

с 1-1.1-1.1.1-1.1.1.1-1.1.1.1.1

на 1-1.3-1.3.1-1.3.1.1-1.3.1.1.2 (требования изменились 2 раза, случаю соответствует появление большего номера дважды в последовательности нумераций, больший номер появляется не подряд). Отсутствию появления больших номеров в последовательности соответствует сохранение изменившихся требований. Возможен случай изменения

с 1-1.1-1.1.1-1.1.1.1-1.1.1.1.1

на 1-1.3-1.3.2-1.3.2.1-1.3.2.1.1 (изменение требований подряд два раза, а затем оставление их без изменений, случаю соответствует появление большего номера дважды подряд в последовательности нумераций) и

с 1-1.1-1.1.1-1.1.1.1-1.1.1.1.1

на 1-1.3-1.3.2-1.3.2.2-1.3.2.2.1 (изменение требований подряд три раза, а затем оставление их без изменений, случаю соответствует появление большего номера трижды подряд в последовательности нумераций).

Каждая из таких нумераций задаёт комплексное измерение, часть индекса $[u]$, что будем обозначать $u \in [u]$.

Обозначим $s_p = (Y_{<j>,>p}^0, Z_{<k>,>p})$ — p -е состояние CTC $<j, k, p> \in [u]$ в последовательности из P состояний и переходов $S_n = <s_p>, p = \overline{1, P}$.

Номера p образуют сечение $[u]$, соответствующее последовательности моментов времени и разным реализациям последовательностей с номерами h , а j и k — последовательности номеров (измерения) параметров законов распределения в многомерном массиве с индексом $[u]$.

Состояния характеризуются моментами перехода в состояние (начала актуализации состояния в результате перехода) — такими, что число этих моментов конечно и равно $P: T_p \in [0, T^r], p = \overline{1, P}$.

Последовательность S_h состояний и переходов сформирована при условии реализации сценария Sc_h функционирования среды, что будем записывать $S_h(Sc_h)$, $h \in [u]$. Номера сценариев образуют измерение в индексе $[u]$. По этому измерению определена случайная величина, представляющая собой значения мер соответствия эффектов требованиям в условиях, заданных каждым номером сценария функционирования среды. По этим же номерам осуществляется суммирование при расчёте скалярного значения показателя потенциала.

Введём допущение, что система находится в состоянии s_h (состояние «наблюдается» несмотря на то, что его продолжительность может быть нулевой) с момента T_p окончания предшествующего — ведущего в состояние — перехода до момента T_{p+1} окончания последующего — в последовательности Sc_h — перехода. Моменты начала и окончания наблюдения состояния зависят от реализуемых $S_h(Sc_h)$. Интервал $[0, T^r]$ разбит на части. Если произвольный момент времени $T \in [T_p, T_{p+1}]$, то он считается равным T_p . В произвольный момент T может наблюдаться состояние из $\langle s_p \rangle$, $p = \overline{1, P}$.

Обозначим $P_p(T_p, s_p, Sc_h)$ — вероятность наблюдения состояния s_p среды в заданный момент времени T_p реализации $S_h(c_h)$.

Указанные вероятности ассоциированы с элементами индекса $[u]$, описывающими измерения, описывающие меры возможности реализации состояний в заданный момент времени. Эти измерения соответствуют «двойственным» расчётам по отношению к расчётам последовательностей состояний. Они ассоциированы с совокупностями состояний, возможных в заданный момент времени (одновременно) и не связанных причинно-следственными связями или (и) отношениями следования, в отличие от состояний, связанных такими отношениями, ассоциированными с ветвями, соответствующими реализациям последовательностей состояний.

Таким совокупностям соответствуют ветви деревьев состояний, наблюдающихся в заданный момент времени. Этим ветвям также соответствует измерение в индексе $[u]$. Его «двойственность» заключается в том, что в указанное измерение — по ветви дерева одновременных состояний — может войти один и только один элемент из индекса, которому указанное измерение двойственно (по ветви дерева последовательности состояний).

$T^H(s_p)$ — момент начала наблюдения состояния s_p .

$T^{Ok}(s_p)$ — момент окончания наблюдения состояния s_p .

Выражение для расчёта вероятности $P_p(t_p, s_p, Sc_h)$ наблюдения s_p в T_p примет вид:

$$P_p(T_p, s_p, Sc_h) = \left(P(T^H(s_p)) \leq T_p \right) P\left((T^{Ok}(s_p)) > T_p \right).$$

Эти вероятности следует рассчитать для всех s_p , $S_h(Sc_h)$ и всех Sc_h .

Задав Sc_h , определим ненулевые $p_p(T_p, s_p, Sc_h)$ для $p = \overline{1, P}$. Будем считать, что $S_h(Sc_h)$ единственно. Тогда для заданного момента времени T_p и сценария Sc_h получим дискретное распределение вероятностей $\zeta(T_p, Sc_h)$ проявления состояний из S_h в этот заданный момент. Закон построен при условии реализации Sc_h . Каждая $S_h(Sc_h)$ может быть актуализирована с некоторой вероятностью. Эта вероятность определяется как произведение вероятностей того, что будет реализована последовательность переходов S_h .

Обозначим m_p — переход, ведущий в состояние s_p .

Здесь переход — это ассоциированное с ребром дерева изменение состояния;

$q_p(m_p)$ — вероятность актуализации перехода m_p (ассоциирована с переходом в теоретико-графовой модели последовательности состояний и переходов среды);

$Q(S_h)$ — вероятность актуализации последовательности состояний и переходов $S_h(Sc_h)$.

Тогда

$$Q(S_h) = \prod_{p=1, L(S_h)} q_p(m_p, S_h),$$

где $L(S_h)$ — длина последовательности переходов S_h (число переходов в S_h). Эта длина соответствует размеру одного из измерений [u].

Поскольку длины могут быть разными, в векторе следует взять максимальную длину, а «лишние» ячейки заменить пустыми значениями.

Заметим, что в соответствии с процедурой построения теоретико-графовой параметрической модели $S_h(Sc_h)$, заданной концептуальной моделью, может быть реализован только один S_h , и при этом:

$$\sum_{h=1, Sc} Q(S_h) = 1,$$

где Sc — число сценариев Sc_h , совпадает с числом S_h последовательностей состояний и переходов. Тем самым для каждого из Sc_h и S_h задано (дискретное) распределение $\zeta(t_p, Sc_h)$, и при этом может быть реализована только одна последовательность Sc_h и затем — одна из S_h .

Обозначим $P_h\{(T)_p, Sc_h\} = \langle p_p(T_p, s_p, Sc_h), p = \overline{1, P} \rangle$ (вектор из $p_p(T_p, s_p, Sc_h)$) для заданного Sc_h и, по допущениям, заданного S_h .

$Q_h = \langle Q(Sc_h), h = \overline{1, Sc} \rangle$ вектор из $Q(Sc_h)$ для каждого из Sc_h и S_h .

$P(T_p) = \{[Q]_h \cdot P_h(T_p, Sc_h)\}$ — матрица вероятностей наблюдения состояний в заданный момент времени T_p размерности $Sc \times P$. Номер p однозначно задаёт интервал времени и момент T_p . Индексы матрицы $Sc \times P$ содержатся в [u].

Матрица $P(T_p)$ задаёт условные распределения вероятностей при заданных Sc_h и S_h . В матрице ячейки, которым не соответствует состояние (в связи с тем, что длина S_h оказалась меньше максимально возможной), имеют значение «пусто» а ячейки со значением «0» описывают состояния,

реализация которых невозможна. Возможно создание структуры индексов [u] переменной длины — например, в виде индекса элементов графа.

Наблюдаться может только одно состояние s_p среды, описанное матрицей, вероятности наблюдения которого $Q(S_h)p_p(T_p, s_p, S_{c_h})$ и соответствующие ячейкам матрицы. Закон распределения состояний среды $\zeta(T_p)$ имеет вид:

$$\zeta(T_p) = (\mathbf{P}(T_p), T_p).$$

Запись T_p вместо традиционного (непрерывного) момента времени T позволяет сопоставить модели функционирования среды и системы по последовательности дискретных детерминированных моментов времени и благодаря этому получить детерминированную и конечную структуру индекса [u].

Обозначим $\hat{Y}_{<j>}^A(T_p)$ — вектор случайных величин требований, предъявляемых средой к СТС в заданный момент времени $T_p \in [0, T^*]$ на горизонте планирования, заданном моментом окончания функционирования СТС T^* .

$\hat{Z}_{<k>}(T_p)$ — вектор случайных величин воздействий среды на элементы СТС. При условии реализации одной из S_{c_h} эти векторы принимают следующие значения:

$$\hat{Y}_{<j>}^\partial(T_p, S_{c_h}) = \langle \hat{Y}_{<j>,p}^\partial(T_p, s_p, S_h)Q(S_{c_h})p_p(T_p, s_p, S_{c_h}) \rangle.$$

Для них может быть составлен массив характеристик возможных требуемых эффектов для заданного сценария функционирования среды и различных заданных моментов времени. В этом массиве «первое измерение» — параметры, второе — состояние, третье — моменты времени и состояния, возможные в эти моменты. Для случайных величин воздействий среды на СТС могут быть получены значения:

$$\hat{Z}_{<k>(T_p, S_{c_h})} = \langle \hat{Z}_{<k>,p}(T_p)Q(S_{c_h})p_p(T_p, s_p, S_{c_h}) \rangle.$$

Для них может быть составлен массив характеристик случайных величин воздействий среды при заданном сценарии функционирования среды и для различных моментов времени. В этом массиве, аналогично выше рассмотренному, «первое измерение» — параметры, второе — состояние, третье — моменты времени и состояния, возможные в эти моменты.

Задав указанные массивы для различных возможных сценариев (из числа S_c возможных), получим ещё одно (четвёртое) измерение многомерного массива, задающего изменения случайных величин $\hat{Y}^A(T_p)$ требований и $\hat{Z}^A(T_p)$ воздействий среды на элементы СТС во времени, для разных возможных состояний среды и сценариев функционирования среды (в разных «условиях» среды).

Массивы величин $\hat{Y}^A(T_p)$ и $\hat{Z}^A(T_p)$ задают функциональную модель функционирования среды.

Ячейкам массива следует сопоставить характеристики законов распределения вероятностей СВ требований $\hat{Y}^A(T_p)$ характеристик случайных величин влияния на элементы СТС $\hat{Z}^A(T_p)$. Они наблюдаются при условии наступления событий, состоящих в наблюдении возможных состояний при

функционировании среды по одному из возможных сценариев функционирования. Индексы ячеек содержатся в комплексном индексе [u].

Модель функционирования среды можно записать также в агрегированном виде (усреднённых значений), как вероятностную смесь случайных величин:

$\hat{Y}_{<j>}^{*o}(T_p, Sc_h) = \sum_{p=1}^P \hat{Y}_{<j>.p}^{*o}(T_p, s_p, Sc_h) p_p(T_p, s_p, Sc_h)$ — сначала реализовав агрегирование по возможным состояниям при одном значении Sc_h . Эта случайная величина — усреднённая (математическое ожидание) для всех состояний, которые могут наблюдаться в моменты T_p для Sc_h .

Затем, для массива в целом, реализуем агрегирование по всем возможным Sc_h : $\hat{Y}_{<j>}^{*o}(t_p) = \sum_{h=1}^{Sc} \hat{Y}_{<j>.h}^{*o}(T_p, Sc_h) Q(Sc_h)$.

$$Z_{<k>}^*(t_p, Sc_h) = \sum_{p=1}^P \hat{Z}_{<j>.p}^*(t_p, s_p, Sc_h) p_p(t_p, s_p, Sc_h),$$

$$\hat{Z}_{<j>}^*(t_p) = \sum_{h=1}^{Sc} \hat{Z}_{<j>.h}^*(t_p, Sc_h) Q(Sc_h).$$

В результате реализация любого РС-1 известным способом характеризуется функциональной моделью, описывающей параметры случайных величин — значений требований и значений характеристик воздействий на элементы СТС для заданного сценария актуализации состояний.

Эта модель, в свою очередь, позволяет задать вероятностные меры ответственности эффектов требованиям в разных условиях. Эти вероятностные меры формируют затем многомерную случайную величину, индексированную [u].

При заданном моменте времени полученные функциональные зависимости — усреднённые, для заданного момента времени — задают законы распределения вероятностей случайных величин — требований среды при функционировании СТС и — усреднённые, для заданного момента времени — законы распределения случайных величин воздействий среды на СТС. Функциональные модели среды могут быть представлены как отображение параметрических теоретико-графовых моделей в массивы, позволяющие задать функциональные зависимости, описывающие значения требований к эффектам в различных условиях функционирования. Отображения могут быть представлены как отображения узлов, ветвей, сечений дерева состояний и переходов между состояниями среды в элементы массивов, описывающих требования. Реализовывать (рассчитывать) указанные отображения предлагается путём обходов теоретико-графовой модели (дерева). Примеры таких отображений представлены в разделе 4.

3.2.2.1.3. Функциональные модели соответствия на границе СТС и среды в задачах исследования потенциала

Функциональные модели соответствия на границе СТС и среды строятся как отображения массивов характеристик значений эффектов и характеристик законов распределения требований среды в массивы характеристик мер соответствия эффектов требованиям, т. е. в значения многомерной слу-

чайной величины, индексированной [u]. Эта многомерная случайная величина задаёт реляционную или графовую вероятностную модель [193, 194], описывающую альтернативные функционирования на основе вероятностной меры [195]. Отличие этой модели в том, что вероятностные меры по разным измерениям [u] рассчитываются как функциональные зависимости. Их расчёт описан в следующем подразделе.

Функциональные модели функционирования СТС строятся путём отображения теоретико-графовых моделей, их частей в массивы характеристик законов распределения эффектов для различных условий функционирования.

Полученные в результате массивы и функции на них позволяют задать функциональные соотношения в массивах, описывающие значения эффектов в различных условиях функционирования и затем — значения мер соответствия эффектов требованиям в различных условиях функционирования.

Теоретико-графовые модели функционирования СТС получают путём реализации комплекса отображений теоретико-множественных концептуальных моделей, а именно — в результате порождения теоретико-графовых моделей, соответствующих концептуальным.

Порождение функциональных моделей функционирования СТС может быть представлено как комплекс отображений, выполняемых с моделями.

Порождение моделей последовательностей соответствий эффектов требованиям реализуется за счёт отображений массивов характеристик значений эффектов и характеристик законов распределения требований среды в характеристики мер соответствия эффектов требованиям.

Теоретико-графовые модели таких соответствий получают путём реализации комплекса отображений теоретико-множественных концептуальных моделей в теоретико-графовые модели, соответствующие реализациям концептуальных моделей.

В результате порождение функциональных моделей соответствий тоже может быть представлено как комплекс отображений, выполняемых с моделями. Наконец, аналогичным образом формируются и отображения моделей при описании альтернатив и затем — при задании функциональных зависимостей на альтернативах с использованием построенных моделей.

Наконец, модель задачи строится как описание отображения вопроса задачи в математическую формулировку этого вопроса — такую, что для поиска решения — ответа на вопрос — уже разработаны математические методы решения, имеются модели, методы и реализующие их алгоритмы, позволяющие получить ответ на сформулированный вопрос задачи. Модель задачи соответствует математическому описанию поиска подграфа с заданными свойствами на вероятностной функциональной модели [196], описывающего меры соответствия эффектов требованиям в заданные моменты времени. Указанную вероятностную функциональную модель $M_{\mu_{[u]}^{fi}}(I, T_{[u]})$ получают путём отображения моделей эффектов $M_{S_{[u]}^{fi}}(I, T_{[u]})$ и требований к ним $M_{S_{[u]}^{efi}}(I, T_{[u]})$, записанных в терминах состояний, в многомерную модель M_{μ} мер соответствия, которые заданы как меры возможности реализации предикатов, задающих требуемое соответствие эффектов требованиям.

Численно значения таких предикатов для одномерного случая и детерминированных требований рассчитываются как значение функции распределения эффектов в точке, соответствующей значению требования:

$$M\mu = p(\hat{y} \leq y^A) = F_{\hat{y}}(y^A).$$

Это же выражение может быть записано с использованием вероятностного предиката Р:

$$M\mu = P(\hat{y}, y^A, \leq).$$

В случае если требования случайны, они могут быть дискретизированы и рассчитан дискретный закон распределения соблюдения требований. Для вектора эффектов и требований к эффектам вероятностная мера примет вид многомерного массива вида:

$$M\mu_{[u]} = p(\hat{Y}(T_{[u]}) \leq (>) \hat{Y}^A(T_{[u]})).$$

Это же выражение может быть записано с использованием последовательности (вектора) значений вероятностного предиката Р:

$$M\mu_{[u]} = P_{[u]}(\hat{Y}(T_{[u]}), \hat{Y}^A(T_{[u]}), \leq (>)).$$

Если требуемое отношение имеет вид R, отличный от неравенства, в том числе если $R_{[u]}$ имеет комплексный вид:

$$M\mu_{[u]} = P_{[u]}(\hat{Y}(T_{[u]}), \hat{Y}^A(T_{[u]}), R_{[u]}).$$

В указанных моделях индексы $T_{[u]}$ задают последовательности соответствий (во времени), причём моменты $T_{[u]}$ — детерминированные.

Функциональная модель последовательности соответствий может быть представлена на основе разработанной теоретико-графовой модели соответствия. А именно — для каждого порта дерева слоёв и переходов на основе рассчитанных пометок \hat{Y}, Y^A получают пометку путём расчёта мер $P_{oss} \{P_{R_1}(\hat{Y}, \hat{Y}^d)\}$. Число портов на каждой ветви при принятых допущениях совпадает с числом состояний в заданной при расчёте ветви дерева последовательностей состояний и переходов среды.

Каждому дереву с такой рассчитанной разметкой сопоставляют массив μ , описывающий меры соответствия $\mu_1(\hat{Y}, \hat{Y}^d; R_1) = P_{oss}(P_{R_1}(\hat{Y}, \hat{Y}^d))$ эффектов требованиям в условиях заданных последовательностей состояний среды.

Для каждой ветви с рассчитанными характеристиками эффектов, каждого момента времени рассчитывают меры возможности актуализации цепочек событий. Размерности массива аналогичны массивам, описывающим прогнозируемые эффекты.

Номерам по координатам измерений массива соответствуют номера эффектов $\mu_{[u][ch][i]}$, затем номера узлов $\mu_{[ch][k][j][i]}$ одной ветви (номера портов одной ветви дерева слоёв состояний и, следовательно, при принятых допущениях они совпадают с номерами узлов в ветви дерева состояний среды СТС), $\mu_{[u][k][j][i]}$ — номера ветви дерева состояний и переходов симплексов при функционировании СТС, $\mu_{[ch][k][j][i]}$ — номера ch ветви дерева состояний и переходов среды.

Такие последовательности будем также записывать $\mu_{[u]}$.

Расчёты выполняются для заданной ветви A_i^B дерева альтернатив, что означает заданную последовательность альтернативных переходов $m_p \dots m_k \dots m_n(m_i)$, задающих одно значение возможной переменной X .

Затем меры агрегируют: по эффектам ($[i]$). Предполагается, что значения $\mu_{[u][i]}$ мер возможности соответствия эффектов требованиям для разных i -х эффектов независимы друг от друга и определяются лишь случайными факторами.

Поэтому можно рассчитать комплексную меру возможности $\mu_{[u][j][*]}$ того, что все эффекты будут соответствовать требованиям:

$$\mu_{[u][j][*]} = \mu_{[u][j][I]} = \prod_{i=1, I} \mu_{[u][j][i]}.$$

Здесь $[I]$ означает, что мера композирована для всех элементов измерения $[i]$. Затем меры можно агрегировать по ветвям $S_h^s [h]$ в дереве слоёв состояний СТС (для всех агрегированных состояний СТС в моменты проверки, соответствующие номеру слоя).

Ранее мера возможности того, что соответствующая ветвь будет реализована, была задана вектором $Q_h^s = \langle Q(S_h^s), h = \overline{1, B} \rangle$ — вектор из мер возможности $Q(S_h^s)$ актуализации для каждой из S_h^s .

$P(T_p) = [Q_h^s \cdot P_h(T_p, S_h^s)]$ — матрица (размерности $B \times P$) вероятностей переходов СТС в различные состояния на границе со средой в заданные моменты времени T_p .

Для агрегирования по ветвям следует меру соответствия для каждого из состояний свернуть — по формуле вероятностной смеси — с мерой возможности того, что в момент времени T_p выполняется именно j -й переход (наблюдается j -е состояние).

$$\mu_{[ch][B][j][I]} = \sum_{\substack{h=\overline{1, B} \\ p=\overline{1, P}}} Q_h^s \cdot P_h(T_p, S_h^s) \mu_{[ch][h][j][*]}.$$

Здесь B — число ветвей дерева состояний и переходов при реализации симплексов, ch — измерение, соответствующее номерам ветви дерева состояний и переходов среды. Полученные значения следует использовать для порождения функциональной модели соответствия на границе среды и СТС.

Модель получают путём расчёта мер соответствий для всех узлов дерева состояний и переходов СТС и затем путём расчёта комплексной меры соответствия с учётом мер возможности реализации средой последовательностей требуемых состояний на границе СТС и среды.

Рассмотрим расчёт мер соответствия для разных состояний среды и особенности формирования этих состояний.

Требуемые состояния среды характеризуются вероятностями своей актуализации, рассчитываемыми, в соответствии с моделью функционирования среды, как:

$$P(T_p) = [Q(Sc_h) \cdot p_p(T_p, s_p, Sc_h)].$$

Рассчитаем значения в матрице Ψ :

$$\Psi = [\mu_{[ch][B][j][l]} \cdot Q(ch) \cdot p_p(T_p, s_p, ch)].$$

Здесь ch — номер последовательности состояний и переходов среды Sc_h (ветви дерева), i — номер уровня слоя. В связи с принятыми допущениями номера уровней слоя и номера вершин в Sc_h соответствуют друг другу.

Полученное выражение задаёт меры возможности соответствия эффектов требованиям при реализации $[ch][j]$ РС-1 (ch -я ветвь, $[j]$ -й узел ветви) при условии актуализации соответствующей ветви.

Такие соотношения задают массив вероятностных и возможностных мер потенциала («матрицу потенциала»).

В массиве потенциала меры соответствия эффектов требованиям для каждой последующей вершины одной ветви, т. е. $\mu_{[c][B][j][l]}$, $\mu_{[c][B][j+n][l]}$ для фиксированного c и целых n , функционально зависят друг от друга (каждое последующее соответствие функционально зависит от предыдущего).

В связи с этим целесообразно оценивать меру соответствия по вектору терминальных (или, в качестве альтернативы, минимальных значений) соответствий — т. е. по одному соответствию для каждой последовательности мер $\mu_{[c][B][j][l]}$, $\mu_{[c][B][j+n][l]}$. Например, вектор терминальных мер соответствия примет вид $\mu_{[ch][B][J][l]}$, где J — номер последнего (терминального) значения, ch — переменная, номер ветви. В и I — константы, указывающие на то, что соответствующие измерения были комплексированы в точку.

Вектор минимальных значений мер примет вид $\mu_{[ch][B][J^*][l]}$, J^* — номер минимального (худшего) значения соответствия.

Тогда скалярная функция потенциала:

$$\psi^T = \sum_{ch=1, B^c} \mu_{[ch][B][J][l]} \cdot Q(ch),$$

поскольку одно из событий «проверка РС-1» в ветви произойдёт.

$$\psi^{min} = \sum_{ch=1, B^c} \mu_{[ch][B][J^*][l]} \cdot p_j(T_j, s_j, ch) \cdot Q(ch),$$

поскольку результат худшей РС-1 наблюдается с вероятностью $p_{j^*}(T_{j^*}, s_{j^*}, ch)$. Здесь B^c — число ветвей A_i^c дерева состояний и переходов среды, т. е. $A_i^c; i = \overline{1, B^c}$.

3.2.2.1.4. Модель расчёта мер соответствия для узлов дерева состояний и переходов среды и ветвей дерева переходов и состояний среды

Полученные соотношения описывают действия по «стягиванию» деревьев состояний и переходов СТС и, затем, состояний и переходов среды по следующему алгоритму:

1. Для каждой комплексной вершины (порта) рассчитать меру возможности того, что для всех эффектов выполнятся требования:

$$\mu_{[u][J][l]} = \prod_{i=1, I} \mu_{[u][J][l]i}.$$

Альтернативно: рассчитать минимум мер соответствия, ассоциированных с портом, сохранить.

Альтернативно: сохранить вектор мер соответствия.

2. Обходом «в ширину» рассчитать меры соответствия для стягивания узлов одного уровня дерева в один узел ветви дерева состояний и переходов среды (т. е. в предположении, что длится именно тот РС-1, который соответствует уровням и узлам соответствующих деревьев):

$$\mu_{[ch][B][j][l]} = \sum_{\substack{h=1, B \\ p=1, P}} Q(S_h^S) \cdot \mu_{[ch][h][j][*]}.$$

Альтернативно: рассчитать меру возможности для момента времени T_p :

$$\mu_{[ch][B][j][l]} = \sum_{\substack{h=1, B \\ p=1, P}} Q(S_h^S) \cdot P_h(T_p, S_h^S) \mu_{[ch][h][j][*]}.$$

Альтернативно: передать в качестве параметра в узел дерева состояний и переходов среды массив мер $\mu_{[ch][h][j][i]}$.

3. Осуществить обход дерева состояний и переходов среды в глубину, рассчитав:

$$\psi^T = \sum_{ch=1, B^c} \mu_{[ch][B][j][l]} \cdot Q(ch).$$

Альтернативно: рассчитать

$$\psi^{min} = \sum_{ch=1, B^c} \mu_{[ch][B][j^*][l]} \cdot p_j(T_j, S_j, ch) \cdot Q(ch).$$

Альтернативно: рассчитать массив

$$\mu_{[p_p][Q][ch][h][j][i]}.$$

3.3. Примеры функциональных моделей

3.3.1. Примеры функциональных моделей систем

Предложенные модели и постановки задач были сформулированы на основе теоретико-множественных описаний объектов исследования. Представленные теоретико-множественные модели, например многомерная случайная величина Ω , должны быть сконструированы (рассчитаны). Такие вычисления выполняются с использованием функциональных моделей. Примеры вычислений показаны с использованием соотношений, введённых выше. В этих соотношениях значения вероятностной меры рассчитываются согласно алгебре вероятностей. Вероятностные меры рассчитываются на основе элементарных вероятностей \hat{B}_{ui} , рассчитываемых согласно выражениям для расчёта вероятностного предиката и выражений \hat{A}_{ui} , \hat{E}_{ui} расчёта вероятностей. Для вычисления этих вероятностей необходимы характеристики состояний. В общем случае характеристики неинформационных состояний представляются как характеристики случайных величин измеримых эффек-

тов функционирования (неинформационных). Информационные эффекты функционирования заданы как информация i_u о возможных способах a_u действий A_u . Элементарные эффекты ассоциированы с начальными \hat{s}_u^b или конечными (финишными) состояниями \hat{s}_u^e для каждого способа a_u действия. Пусть, для примера, эти эффекты — \hat{r}_u — количество ресурсов и \hat{g}_u — количество выпущенного продукта. Среди других характеристик состояний \hat{s}_u^s и \hat{s}_u^e — особый вид ресурса, время \hat{t}_u выполнения действия A_u согласно способу действий a_u . Время выполнения действия обуславливает моменты \hat{T}_u^b начала (активации) состояния действия и \hat{T}_u^e окончания действия. Обобщённая функциональная модель элементарного действия принимает вид c_u :

$$c_u := \langle c_u^b, c_u^e, t_u, p_u \rangle. \quad (13)$$

Среди других возможных характеристик состояний начала и окончания a_u — элементарные вероятности p_u активации состояний и соответствующих им переходов. Переход ассоциирован с конечным состоянием. Информация i_u о реализации способа a_u действия включает вектор c_u характеристик a_u , а также информацию i_u^a для людей или устройств (актуаторов) о том, как реализовать a_u — инструкции, описания — и другую информацию о a_u (связи с другими a_u и другими A_u , правила выполнения a_u). Поясним возможную структуру указанных векторов на примере эффектов, допустив, что двух параметров распределения вероятностей — а именно левой l_u и правой r_u границ области распределения — достаточно для экспликации закона распределения, а также то, что число возможных конечных состояний при реализации a_u счётно и равно n :

$$\begin{aligned} c_u^b &:= \langle r_{ul}^b, r_{ur}^b, g_{ul}^b, g_{ur}^b \rangle; \\ c_u^e &:= \langle r_{ul1}^e \dots r_{uln}^e, r_{ur1}^e \dots r_{urn}^e, g_{ul1}^e \dots g_{uln}^e, g_{ur1}^e \dots g_{urn}^e \rangle; \\ t_u^b &:= \langle T_{ul}^b, T_{ur}^b, T_{ul1}^e \dots T_{uln}^e, T_{ur1}^e \dots T_{urn}^e \rangle; \\ p_u^e &:= \langle p_{u1}^e \dots p_{un}^e, P_u^b, P_{u1}^e \dots P_{un}^e \rangle. \end{aligned} \quad (14)$$

Начальное состояние очередной a_u совпадает с конечным состоянием одной из предыдущих a_u . Начальные и конечные состояния рассчитываются согласно функциям $f^{be} c_u$:

$$\begin{aligned} f^{be} c_u &:= \langle r^{bf} c_u, g^{bf} c_u, T^{bf} c_u, P^{bf} c_u \rangle; \\ r^{bf} c_u: r_{ul1}^e &:= r_{ul1}^b + r_{ul1}; r_{ur1}^e := r_{ur1}^b + r_{ur1}; \dots \\ \dots r_{uln}^e &:= r_{uln}^b + r_{uln}; r_{urn}^e := r_{urn}^b + r_{urn}; g^{bf} c_u: \\ g_{ul1}^e &:= g_{ul1}^b + g_{ul1}; g_{ur1}^e := g_{ur1}^b + g_{ur1}; \dots \\ \dots g_{uln}^e &:= g_{uln}^b + g_{uln}; g_{urn}^e := g_{urn}^b + g_{urn}; T^{bf} c_u: \\ T_{ul1}^e &:= T_{ul1}^b + t_{ul1}; T_{ur1}^e := T_{ur1}^b + t_{ur1}; \dots \\ \dots T_{uln}^e &:= T_{uln}^b + t_{uln}; T_{urn}^e := T_{urn}^b + t_{urn}; P^{bf} c_u: \\ P_{u1}^e &:= P_{u1}^b p_{u1}^e; \dots P_{un}^e := P_{un}^b p_{un}^e. \end{aligned} \quad (15)$$

Обозначим C_u — матрица возможных характеристик a_u ; G_u — граф возможных последовательностей a_u , $F_u(G)$ — рассчитывается с использованием обхода графа G_u — с применением функции $f^{be} C_u$, применённой к каждому a_u в последовательности G_u , и C_{0u} — как матрица характеристик a_u графа G_u . Тогда

$$C_u = F_u(C_{0u}) \dots \circ \dots \left(F_u(\dots (G)) \right) \quad (16)$$

позволяет рассчитать значения элементов C_u в корректной последовательности, заданной графом G .

3.3.2. Пример функциональной модели среды

Обозначим C_u^{da} — многомерный массив требуемых значений r_u^{da} , g_u^{da} , T_u^{da} затраченных ресурсов, произведённого продукта и требуемых моментов окончания действий A_u^e среды на границе с системой (для которых система должна обеспечить требуемые состояния системы на границе) для разных способов действий a_u^e среды согласно планам π_u^e . Эти значения характеристик среды используются для расчёта требуемых величин ресурсов r_u^d , произведённых продуктов g_u^d и моментов времени T_u^d , в которые требуется завершить множества A_u^e действий среды согласно способам a_u^e этих действий в разные моменты T_u функционирования системы. Моменты T_u и T_u^d предполагаются детерминированными, но значения r_u^d , g_u^d в общем случае случайны, т. е. \hat{r}_u^d , \hat{g}_u^d . Тем не менее далее используем предположение, что все требуемые значения неслучайны, но события, состоящие в актуализации различных требований, случайны.

$p_u^d := p_u^e$ — это многомерный массив вероятностей p_u^e соответствующих случайных событий, состоящих в том, что требования актуализируются.

Указанные вероятности рассчитаны как значения вероятностных предикатов, описывающих события, состоящие в том, что в момент T_u соответствующие действия среды начнутся (поскольку необходимые для их начала действия выполнены). Такое событие \hat{H}_u^e состоит в том, что требования актуализированы, и это влечёт требования r_u^d , g_u^d к функционированию системы, согласно введённому отношению \mathcal{R}^e на характеристиках эффектов:

$$p_u^e(a_u^e, \pi_u^e, T_u) = \text{Poss} \left(p(\hat{H}_u^e(\pi_u^e); \mathcal{R}^e) \right). \quad (17)$$

Обозначим fe_u — функция, которая позволяет рассчитывать требуемые значения характеристик состояний среды r_u^d , g_u^d в зависимости от моментов T_u^d , событий \hat{H}_u^e и планов $\pi_u^e \in \Pi_u^e$ функционирования среды с учётом предыдущих требуемых значений характеристик r_u^{*d} , g_u^{*d} и предыдущих событий

$$\hat{H}_u^{*e}: fe_u(r_u^{*d}, g_u^{*d}, \hat{H}_u^{*e}) = \langle r_u^d, g_u^d, \hat{H}_u^e \rangle.$$

Функциональная модель среды позволяет рассчитать многомерный массив C_u^d требуемых средой состояний на границе с системой:

$$C_u^d = f e_u(C_u^{da}) \dots \circ \dots (f e_u(\dots (G^e))). \quad (18)$$

Она позволяет рассчитать C_u^d в их последовательности, заданной деревом G^e состояний среды начиная с нулевого состояния s_u^{0e} и согласно последовательностям переходов C_u^{da} .

3.3.3. Примеры функциональных моделей взаимодействия системы и среды

На основе многомерных массивов C_u и C_u^d рассчитываются значения предикатов $p(S_i^s, S_i^e, i_i; \mathcal{R})$ для всех элементов многомерных массивов — таким образом, рассчитывается многомерный массив p значений предикатов (многомерный массив вероятностей):

$$p(C_u, C_u^d) := \langle p_u(C_u, C_u^d, \mathcal{R}, G) = F_{r_u}(r_u^d; G, \mathcal{R}) F_{g_u}(g_u^d; G, \mathcal{R}) F_{T_u^e}(T_u^d; G, \mathcal{R}). \quad (19)$$

Здесь $F_{r_u}(r_u^d; G, \mathcal{R})$ — функция распределения вероятностей потреблённого ресурса r_u , прогнозируемого для расходования при реализации a_u , построенная согласно отношениям $\mathcal{R} (<, >, =)$ и G (согласно последовательностям и множествам состояний, сформированных на основе этого графа) для аргумента r_u^d , представляющего собой требуемое значение потреблённого ресурса.

$F_{g_u}(g_u^d; G, \mathcal{R})$ — функция распределения вероятностей произведённого продукта g_u , прогнозируемого в результате a_u , построенная согласно отношениям $\mathcal{R} (<, >, =)$ и G (согласно последовательностям и множествам состояний, сформированных на основе этого графа) для аргумента g_u^d , представляющего собой требуемую величину произведённого продукта.

$F_{T_u^e}(T_u^{de}; G, \mathcal{R})$ — функция распределения вероятностей момента времени T_u^e окончания a_u , построенная согласно отношению \leq и G (согласно последовательностям и множествам состояний, сформированных на основе этого графа) для аргумента T_u^{de} , представляющего собой требуемое значение момента окончания a_u .

3.3.4. Пример математических постановок задач в функциональном виде

Задача расчёта $p(C_u, C_u^d)$ может быть представлена как расчёт многомерной вероятностной меры $\Omega(T_u)$ согласно выражениям 13–19, с последующим решением соответствующих задач синтеза (выражения 9 и 12) в функциональном представлении. Пусть $p_u(G_u) \circ p_u^d(G_u) \circ p(C_u, C_u^d, G_u)$ — операции (в алгебре теории вероятностей), заданные в зависимости от структуры деревьев G_u состояний и переходов системы и среды в виде обходов этих деревьев с расчётом пометок (заданные «на» деревьях). Согласно обходам деревьев G_u в ширину или глубину, в случае функциональных зависимостей, значения вероятностей перемножаются для каждой ветви дерева. Такой расчёт реализуется для вероятностей состояний и переходов, вызванных одной

цепочкой причинно-следственных связей состояний при функционировании системы и среды. Соответственно, $y \in Y$ — индексы альтернативных $G_u, U \in Y$. Тогда в качестве скалярного значения показателя потенциала $\psi(\hat{\Omega})$ используем математическое ожидание случайной величины $\hat{\Omega}$. Задача синтеза примет следующий вид.

Дано: $O, C, S, M, T, Y \supset U, P^e, P^s(\pi^e, O, G(\pi^s, \pi^e), C, S, M)$.

Рассчитать:

$$\begin{aligned}
 c_u^b &:= \langle r_{ul}^b, r_{ur}^b, g_{ul}^b, g_{ur}^b \rangle; \\
 c_u^e &:= \langle r_{ul1}^e \dots r_{uln}^e, r_{ur1}^e \dots r_{urn}^e, g_{ul1}^e \dots g_{uln}^e, g_{ur1}^e \dots g_{urn}^e \rangle; \\
 t_u^b &:= \langle T_{ul}^b, T_{ur}^b, T_{ul1}^e \dots T_{uln}^e, T_{ur1}^e \dots T_{urn}^e \rangle; \\
 p_u &:= \langle p_u^e \rangle, p_u^e := \langle p_{u1}^e \dots p_{un}^e, P_u^b, P_{u1}^e \dots P_{un}^e \rangle; \\
 p_u^d &:= p_u^e; p_u^e(a_u^e, \pi_u^e, T_u) = Poss(p(\hat{H}_u^e(\pi_u^e); \mathcal{R}^e)). \\
 f^{be} c_u &:= \langle r^{bf} c_u, g^{bf} c_u, T^{bf} c_u, P^{bf} c_u \rangle; \\
 r^{bf} c_u; r_{ul1}^e &:= r_{ul1}^b + r_{ul1}^e; r_{ur1}^e := r_{ur1}^b + r_{ur1}^e; \dots \\
 \dots r_{uln}^e &:= r_{uln}^b + r_{uln}^e; r_{urn}^e := r_{urn}^b + r_{urn}^e; g^{bf} c_u: \\
 g_{ul1}^e &:= g_{ul1}^b + g_{ul1}^e; g_{ur1}^e := g_{ur1}^b + g_{ur1}^e; \dots \\
 \dots g_{uln}^e &:= g_{uln}^b + g_{uln}^e; g_{urn}^e := g_{urn}^b + g_{urn}^e; T^{bf} c_u: \\
 T_{ul1}^e &:= T_{ul1}^b + t_{ul1}^e; T_{ur1}^e := T_{ur1}^b + t_{ur1}^e; \dots \\
 \dots T_{uln}^e &:= T_{uln}^b + t_{uln}^e; T_{urn}^e := T_{urn}^b + t_{urn}^e; P^{bf} c_u: \\
 P_{u1}^e &:= P_{u1}^b p_{u1}^e; \dots P_{un}^e := P_{un}^b p_{un}^e. \\
 C_u &= F_u(C_{0u}) \dots \circ \dots (F_u(\dots (G))) \\
 C_u^d &= f e_u(C_u^{da}) \dots \circ \dots (f e_u(\dots (G^e))). \\
 p(C_u, C_u^d) &:= \langle p_u(C_u, C_u^d, \mathcal{R}, G) = F_{r_u}(r_u^d; G, \mathcal{R}) F_{g_u}(g_u^d; G, \mathcal{R}) F_{T_{ui}^e}(T_{ui}^d; G, \mathcal{R}), \\
 \psi(T; O_y, C_y, S_y, M_y) &:= \sum_{u=1}^{U(G)} (p_u(G_u) \circ p_u^d(G_u) \circ p(C_u, C_u^d, G_u));
 \end{aligned} \tag{20}$$

а затем найти:

$$\begin{aligned}
 &\langle O^* \in O, C^* \in C, S^* \in S, M^* \in M \rangle; \\
 &\langle O^*, C^*, S^*, M^* \geq \underset{y \in Y}{argmax} \psi(T; O_y, C_y, S_y, M_y).
 \end{aligned}$$

3.4. Общий случай изменяемого функционирования

В общем случае актуальна проблема моделирования изменяемого функционирования при использовании различных технологий (как информационных, так и других — например, с использованием открытых бизнес-процессов или с использованием распределённых бизнес-процессов). Предлагается использовать модели, принимающие вид вложенных моделей, основанных на деревьях $G_y, y \in Y, Y \in U$. Альтернативы $G_u, u \in U$ моделей

G_y — это модели состояний и переходов (возможно, вложенных и комплексных), построенные для одной из возможных альтернатив — технологий, характеристик её использования — T^s функционирования системы и её среды T^e . Состояния и переходы в таких моделях задают ветви деревьев. Каждое дерево соответствует альтернативному множеству ветвей. Каждая ветвь соответствует альтернативной последовательности состояний и переходов, которая может произойти в результате реализации цепочки причинно-следственных связей. Эти связи соединяют различные виды состояний системы и её среды, включая информационные. Структура G_y определена альтернативными решениями, структура G_u определена характеристиками используемых технологий (включая ИТ) и последовательностями состояний среды. Вероятности $p := p_u(G_u), p_u^d(G_u), p >$ переходов и характеристики состояний C_u, C_u^d известны. Они определены технологиями: T^s — используемой системой при функционировании и T^e — используемой средой системы. Общий вид функциональной модели функционирования СТС принимает вид композиции универсальных функциональных зависимостей $f_u := s_u^b \xrightarrow{f_u} s_u^e$ между комплексными универсальными состояниями $s_u := s_u^s, s_u^e$ системы s_u^s и среды s_u^e . А именно — эти состояния такие, что s_u^b вызывает s_u^e и, возможно, какие-либо другие состояния, но причиной, вызвавшей s_u^e , является только s_u^b и его причины. Состояние s_u^e , в свою очередь, может вызвать (стать причиной) других состояний. Комплексные состояния s_u формируются путём пересчёта характеристик C_u системы и C_u^d среды с применением функции $f^{be}_{C_u}$, применённой к каждому a_u в последовательности G_u для системы и в последовательности, заданной деревом G^e состояний среды начиная с нулевого состояния s_u^{0e} , согласно последовательностям переходов C_u^{da} . При этом состоянии среды рассчитываются с использованием функции f_{e_u} . Функции f_u представляют собой комплекс — множество, вектор — функций $\langle f_u \rangle$, каждая из которых имеет тот или иной вид в зависимости от аргументов и значений функций, входящих в начальное и конечное состояние (в зависимости от того, изменения состояний чего описывают функции — например, системы или среды). Состояния s_u — комплекс состояний, описывающих разнородные характеристики системы и среды (множество или вектор разнородных характеристик). Функции f_u , соответственно, делятся на классы $f_{uk} \subseteq f_u$ по видам комплексов характеристик (частных состояний), образующих комплексное состояние. По видам характеристик выделяют виды частных состояний — состояния системы s_u^s и среды s_u^e , информационные s_u^I и неинформационные s_u^{NI} состояния. Виды состояний могут комбинироваться. Комбинации видов состояний определяют классы функций f_{uk} . Тем самым комбинации видов состояний позволяют разбить f_u на классы f_{uk} . Каждый класс характеризуется особенностями задания состояний и перехода (функции). Так, информационное состояние описывает переход. В зависимости от информационного состояния реализуются переходы с разными характеристиками, т. е. результат (следствие) информационного состояния — один из альтернативных переходов.

3.4.1. Функциональные модели изменяемого функционирования достижения цели в заданных условиях

Функциональные модели задач формулируются как функциональные выражения, заданные на *FASAN*-моделях. *FASAN* — семейство (комплекс) графов, вид эшграфа, в котором задано множество графов (основа *FASAN*) и функциональных отображений на графах с заданными свойствами.

Эшграфы определены в работах [177, 197, 198]. Там же приведены примеры. Ряд свойств и особенностей использования эшграфов приведён в **приложении L**.

В *FASAN* в качестве основы выступают гиперграфы, описывающие множества состояний и отношений между ними, и сети, описывающие множество действий и отношений между ними. В качестве операций выступают:

- операции композиции моделей, в частности — между множествами состояний и действий, между множествами действий и состояниями, между состояниями, между действиями;

- операции, подобные изменениям характеристик в реальности (передача вещества, энергии, сведений); другие операции расчёта функциональных моделей (расчёты мер соответствия, других вероятностей).

С использованием *FASAN* и других систем графов возможно описание целенаправленно изменяемых (альтернируемых) функционирований, в том числе функционирований, описываемых сетями ТлОп, моделями бизнес-процессов, сетями состояний и переходов. При этом альтернирование может быть описано отображениями. Описание в виде комплексов отображений даёт возможность описать сложные изменения, например, когда состав ТлОп меняется полностью и несколько раз, в зависимости от состояний среды и системы, а не выборочно, для отдельных реализаций как для известных моделей альтернативных сетей, моделей бизнес-процессов.

Каждый возможный случай альтернирования соответствует какому-либо сечению сети и состоянию рабочих мест СТС.

Разработан алгоритм для того, чтобы сопоставлять альтернативные сети возможным сечениям и, тем самым, альтернативным состояниям СТС.

Пары возможных альтернативных состояний системы и её среды отображаются в комплексное состояние старта новой (альтернативной предшествующей) сети.

Эта новая (альтернированная) сеть может быть отображена снова во множество комплексных состояний возможных последующих изменений.

Затем используются алгоритмы формирования сечений сети. Их использование для альтернирования позволяет сформировать деревья комплексных состояний и сетей в зависимости от возможных альтернативных сценариев изменения условий среды.

Указанные возможности построения комплексной теоретико-графовой модели дают основания дать следующее определение семейства альтернативных стохастических сетей операций:

Обозначим: $H = (E, N)$ — гиперграф с гипердугами $e_s \in E$, такими, что каждая гипердуга e_s ассоциирована с рабочим местом Wp_p и его состоянием.

Каждое действие a_i в сети N_p ассоциировано с двумя состояниями: стартовым S_n^s и финишным S_m^f .

Каждое состояние S_s соответствует результату какого-либо действия.

Тем самым, задавшись известным списком операций, ассоциированным с сечением $c_k(T_m)$, таким, что операции сечения выполняются в заданный момент T_m , мы можем рассчитать состояние системы $S^s(c_k, T_m) = \cup_{c_k} S_s, s \in c_k$, при условии, что в момент T_m выполняются операции сечения c_k .

FASAN — множество операций $A = \{a_i\}, a_i \sim S_s(Wp_p, e_s)$, ассоциированных с ними состояний $S_s(Wp_p, e_s)$, множество сетей $N_p \subseteq (A_p \in A, E_p \in A_p \times A_p)$ и множество функций на помеченных графах, относящихся к одному из трёх видов функций:

$f^{NS}: N_p \rightarrow S^s(c_k, T_m)$ — вид функции, которая отображает сеть во множество возможных состояний $S^s(c_k, T_m)$ системы, заданных как комплексы состояний рабочих мест, проявляющихся при условии одновременной — в заданный момент T_m — реализации одного из комплексов операций, входящих в сечение c_k сети N_p ;

$f^{SS}: (S^s(c_k, T_m), S^e(T_m)) \rightarrow S^a(T_m)$ — вид функции, которая отображает пары состояний системы S^s и среды S^e в состояния S^a альтернирования функционирования системы;

$f^{SN}: S^a(T_m) \rightarrow N_n$ — вид функции, которая отображает состояние альтернирования $S^a(T_m)$ в запланированную к реализации альтернативную сеть N_n операций.

Функции выполняются последовательно, конечное число раз.

Используются сети операций со стартовой и финишной операцией.

Сети операций N_p, N_n — ориентированные ациклические графы, такие, что каждая вершина ассоциирована с действием (операцией) на заданных рабочих местах Wp_p системы. Начальная вершина (Старт) не имеет входящих дуг и ассоциирована с ожиданием начала комплекса операций.

Конечная вершина (Финиш) — операция отправки отчёта о завершённом комплексе действий и ожидания дальнейших указаний.

Теоретический формализм FASAN может быть использован для развития технологий Process Mining и Process Analysis [199–201] в направлении использования стохастических сетей операций с произвольно распределёнными длительностями работ, выполняемых последовательно-параллельно и альтернируемых при наступлении заданных событий.

Последовательности сетей, состояний FASAN могут быть упорядочены в семейство сетей и состояний и представлены в виде дерева.

Часть ветви такого дерева с двумя изменениями, двумя состояниями, четырьмя отображениями и двумя альтернативными сетями показана на схеме (рисунок 70).

На фрагменте сети показано одно из возможных сечений. Оно соответствует одному из возможных изменений (альтернирований) функционирования системы. Это сечение — результат отображения вида f^{NS} из сети во множество комплексных состояний системы S_m^s и затем в комплексное состояние S_p^{se} системы и её среды S_k^e (полученное с использованием информационной операции). Состояния системы и среды изображены треугольниками. Затем реализуется отображение вида f^{SN} , из комплексного состояния

системы и среды s_p^{se} , в состояние актуализации альтернирования s_n^a и затем отображение в новую сеть $N_n(s_n^a)$. Это отображение также реализуется информационной операцией. В результате реализации последнего отображения получают инструкции и описания, необходимые для того, чтобы реализовать новую, альтернированную сеть операций.

Комплексная модель функционирования СТС в изменяющихся условиях формируется путём описания структуры данных для представления функционирований СТС в изменяющихся условиях и рассчитываемых результатов функционирования СТС в изменяющихся условиях.

Комплексность модели заключается в рассмотрении комплекса факторов функционирования — изменений среды, реакций с использованием информационных действий, реализаций функционирований в условиях воздействий среды и реализации возможных состояний при функционировании.

Комплексные модели делятся на два класса. Первый класс — модели, предназначенные для расчёта эффектов. Второй класс — модели, предназначенные для расчёта показателей.

Первая модель включает фрагменты (планируемых) сетей ТлОп между проверяемыми (и соответственно, рассчитываемыми) возможными состояниями при функционировании СТС и получаемые в результате реализации таких сетей возможные состояния. Схема формирования модели функционирования СТС с использованием комплексных состояний приведена ниже (рисунок 70).

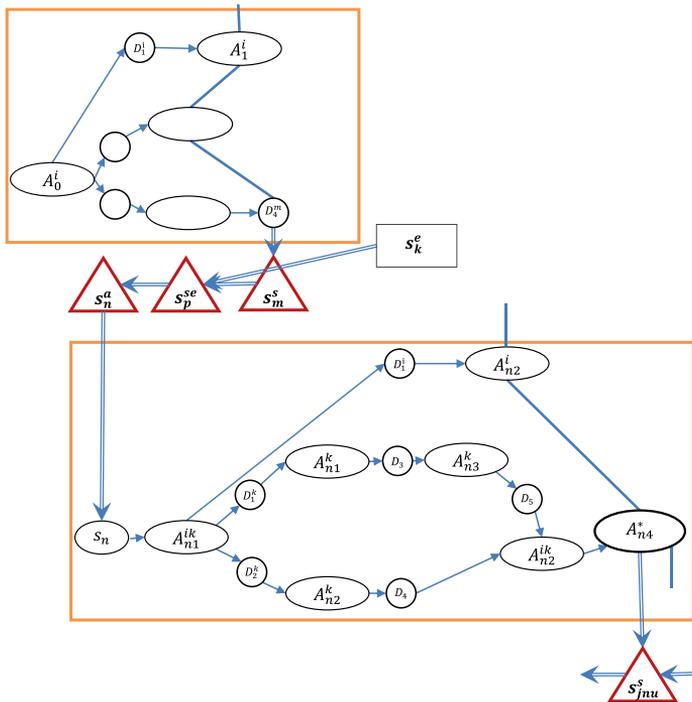


Рисунок 70. Фрагмент FASAN модели формирования последовательностей комплексных состояний

Состояния при функционировании СТС обладают общностью, состоящей в том, что они описываются характеристиками свойств, случайны и связаны друг с другом причинно-следственными связями, которые предполагаются нами известными.

Эти причинно-следственные связи вызываются действиями СТС (например, реализацией плана) или — действиями среды. Действия ведут к переходам между состояниями. Это даёт возможность представить последовательности состояний унифицированно, а затем рассмотреть особенности реализации видов состояний. Таких унифицированных возможных состояний может быть несколько, по разным причинам, и они могут быть комплексными. К этим состояниям могут вести разные сети, полученные в результате воздействий среды при реализации планируемой сети ТлОп. При моделировании нас интересуют состояния, требуемые средой. Они требуются в моменты T_p . Обозначим такие обобщённые возможные состояния СТС S_{pi}^s . Сети, ведущие к состояниям S_{pi}^s , обозначим N_{pi}^s . На переходах между состояниями заданы законы распределения вероятностей. Вероятности состояний (значения дискретных функций распределения вероятностей для каждого из состояний) сопоставим парам состояний (рёбрам) и обозначим p_{pi} .

Все состояния предполагаются такими, что к ним ведут разные последовательности переходов. В итоге образуется структура ветвящихся состояний (в случае представления графом — дерево). Такие деревья назовём деревьями возможных состояний при функционировании СТС. Указанные состояния СТС зависят от требуемых средой состояний S_{pi}^r и вероятностей их актуализации q_{pi} в те же моменты времени T_p .

В результате на совокупностях последовательностей состояний оказываются заданными вложенные дискретные законы распределения вероятностей, формируемые произведениями p_{pi} для разных совокупностей ветвей и разных дуг этих ветвей. Формируемые произведения p_{pi} удобно представлять в виде сечений деревьев возможных состояний в связи с тем, что в сечениях состояния не связаны отношениями следования, формируя возможные состояния в известные моменты времени и законы распределения возможных состояний в эти моменты времени.

С переходами между состояниями СТС ассоциированы альтернативные фрагменты сетей N_{pi}^s , поскольку действия в СТС описываются сетями ТлОп. С сетями, в свою очередь, ассоциированы функциональные соотношения расчёта характеристик эффектов f_{epi}^s и функциональные соотношения $h_{epi}^s(T)$ расчёта вероятностей реализации состояний по окончании фрагментов сетей N_{pi}^s в заданные моменты времени.

Благодаря использованию f_{epi}^s и $h_{epi}^s(T)$ реализуется пересчёт состояний S_{pi}^s по окончании N_{pi}^s на основе состояний начала N_{pi}^s и действий, принимаемых средой и СТС, в том числе — информационных действий, связанных с изменением предписаний функционирования.

Полученные состояния S_{pi}^s позволят далее вычислить меры соответствия прогнозируемых состояний требуемым средой состояниям $w_{qapu}(I_a, S_q)$.

Выполним классификацию состояний по видам причинно-следственных связей и переходов.

Действия вне СТС, в её среде вызывают изменения среды СТС (2). Среда СТС меняет требуемые средой от СТС состояния S_q^r . Требуемые состояния S_q^r — причина изменения состояний СТС (2). Эти состояния требуются в заданные моменты T_p , в которые средой требуются $S_q^r := \{S_{qp}^r, p = 1, \bar{P}\}$. Эти требования являются (3) причиной реализации информационных операций (проверки состояний среды, СТС, их соответствия, выработки альтернатив) и назначения альтернативных планов действий при функционировании СТС.

Далее, в зависимости от требований среды и характеристик информационных операций, СТС выполняет то или иное функционирование (начиная с информационных операций). Назначение неинформационных действий при функционировании реализуется информационными операциями. Тем самым причиной информационных операций являются S_{qp}^r , а причиной неинформационных действий — действия информационные. Соответственно, (4) — информационные характеристики операций и ИТ. Их результатом являются информационные состояния S_{aqp}^i , описывающие характеристики — в том числе планы, способы, сети — предпринимаемых информационных действий, и S_{bqp}^i , описывающие характеристики — в том числе планы, способы, сети — неинформационных действий. Для реализации информационных действий необходима информация о состояниях среды и СТС.

Возможные состояния среды и СТС, по поводу актуализации которых возможно получение информации, в каждый из моментов T_p описываются как возможные результаты действий среды и СТС на предыдущем интервале $[T_{p-1}, T_p]$. Эти состояния — исходные для информационных действий и вызываемых ими информационных состояний.

Таким образом, вид состояний и переходов (5) — описания информационных N_{aqp}^i и затем вызванных ими неинформационных N_{bqp}^m действий (например, в виде описаний планов, сетей работ), предпринимаемых в результате воздействия среды, а также информационные состояния СТС S_{aqp}^{is} и среды S_{aqp}^{ie} , вызывающие начало этих действий (и являющиеся состояниями начала соответствующих сетей).

При реализации действий СТС возможны — изменяющиеся в моменты T_p — воздействия среды, которые могут приводить к изменению запланированного выполнения действий (способов действий, сетей операций). Такие изменения могут вести, например, к незапланированным состояниям, отказам, а затем дополнительным (незапланированным) ТлОп — способам ТлОп, сетям ТлОп — и в результате — к состояниям S_{naqp}^s СТС в результате воздействий среды (6), отличным от состояний, которые планировались при реализации N_{bqp}^m .

Наконец, комплексное состояние — состояние СТС как результат выполнения действий на комплексе РМ — в результате функционирования обозначим S_{enaqj}^s . Это состояние СТС к очередному моменту T_{p+1} описывается сложившимся в результате выполнения комплекса работ N_{bqp}^m на РМ, с учётом возможных неплановых состояний и с учётом возможных неплановых действий. Состояние S_{enaqj}^s относится к виду (7) комплексных состояний в момент времени проверки состояния СТС T_p и является заключительным в последовательностях состояний и переходов разных видов. После него

опять реализуются состояния, связанные с проверкой состояний системы и среды, и затем — информационные действия и состояния. В результате от этих состояний зависит дальнейший «цикл» реализации описанных видов состояний.

Как видно, описанные виды состояний обладают общностью, несмотря на наличие особенностей их последовательностей, ведущих к необходимости рассмотрения состояний в требуемом порядке. Эта общность состоит в случайности состояний, переходов и в том, что каждое последующее состояние зависит от предыдущего, но не от предшествующих этому предыдущему. Кроме того, состояния и переходы образуют регулярно ветвящийся процесс, возможно, состоящий из комплексных состояний.

Поэтому целесообразно представить каждый результат ветвления в виде последовательности индексов разных видов, описывающих комплексный индекс, сопоставленный ветви состояний.

Обозначим $u = \bar{1}, \bar{U}$ — такой комплексный индекс последовательности состояний при заданных планах функционирования и ИТ, включающий в себя в качестве подиндексов индексы состояний и переходов (действий) разных видов ($u \sim \text{eпаqr} \dots \text{eпаqr}(p + 1)$) в циклах реализации состояний, образованных состояниями на промежутках T_p, T_{p+1} времени от проверки текущего состояния СТС к проверке последующего состояния.

Информационные операции, соответствующие информационные состояния, планы функционирования, представленные в составе информационных состояний, состояния в результате выполнения планов, в том числе и вызванные воздействиями среды, нумеруют при таком методе индексации комплексными индексами по схеме «одна последовательность частных индексов — один комплексный индекс».

Таким образом, комплексный индекс образуется благодаря сочетаниям частных индексов частных маршрутов в дереве состояний. Частные индексы — номера альтернативных вершин в ветвях дерева состояний, которым сопоставлен комплексный индекс.

При реализации расчётов по ветви в порядке проявления причинно-следственных связей (т. е. в порядке индексации) могут быть получены реализации последовательности состояний, соответствующие возможным реализациям функционирования в заданных условиях. Такие реализации имитируют проявление эффектов при функционировании и позволяют вскрыть зависимости эффектов от переменных и параметров.

Уточним указанные зависимости. Комплексные индексы разделим на комплексные индексы переменных состояний и индексы зависимых состояний. Переменные состояния — такие состояния, которые могут быть непосредственно созданы (выбраны) пользователями. Зависимые состояния — такие состояния, характеристики которых зависят от характеристик переменных состояний. Опишем комплексный индекс зависимых состояний.

Так, комплексный индекс u неконтролируемых факторов — число, получаемое из частных индексов, описывающих частные неконтролируемые факторы. Например, комплексные индексы могут быть получены за счёт последовательной нумерации получаемых комбинацией частных факторов ветвей. В число частных индексов входят номер u_q требований среды, u_n

случайного воздействия среды на выполнение плана мероприятий, u_e случайного завершения комплекса работ и формирования состояний в результате завершения работ, u_p — индекс момента времени проверки состояния СТС и его соответствия требованиям.

Тогда $\mathbf{u} = u_p \times u_q(u_p) \times u_n(u_q) \times u_e(u_n)$, $p = \overline{1, P}$ — комплексный индекс неконтролируемых факторов.

Индекс получают выстраиванием структуры возможных последовательностей, в которой каждому элементу одной подпоследовательности соответствует несколько возможных элементов последующей, но не более чем по одной последующей для каждой из предшествующих (дерево).

Такая структура вызывается принятыми допущениями, а именно: тем, что причинно-следственные связи состояний предполагаются заданными (в вероятностном смысле), а разные последовательности связей ведут к разным состояниям.

Заметим, что в соответствии с принятыми допущениями первый элемент в последовательности — номер момента времени проверки состояния СТС и среды СТС, детерминированный.

Обозначим \mathbf{z} — комплексный индекс, описывающий контролируемые факторы (переменные) в массиве $U_{[u]}$.

К ним относятся:

$z_a = \langle z_{ap}(T_p) \rangle$ — комплексный индекс, нумерующий номера способов реализации ТИО (т. е. наборов характеристик ТИО и предписаний их выполнения) между моментами времени проверки, задаваемыми индексом u_p ;

$z_\pi = \langle z_{bp}(z_{ap}(T_p)) \rangle$ — комплексный индекс, нумерующий номера планов функционирования между моментами времени проверки, задаваемых u_p .

Индексы зависят друг от друга так, что каждому индексу z_{ap} соответствует несколько возможных элементов последующей последовательности индексов, но не более чем по одной последующей $z_{bp}(z_{ap})$ для каждой из предшествующих (дискретная функциональная зависимость, заданная в виде дерева, т. е. подобная табличному заданию функции). Эта зависимость индексов задаёт комплексный индекс:

$$\mathbf{z} := \{z_p, p = \overline{1, P}; z_p = \langle z_{ap} \times z_{bp} \rangle \}.$$

Комплексные индексы \mathbf{z} и \mathbf{u} зависимы, поскольку определены для одного многомерного массива $U_{[u]}$. Эта зависимость описывается так же, как в индексах \mathbf{z} и \mathbf{u} по отдельности, т. е. как (целочисленная) функциональная зависимость с конечным числом аргументов и значений. Такая зависимость может описываться деревом или совокупностями векторов целых чисел, задающих аргументы и значения рекуррентно рассчитываемых функций.

В этой последовательности индексы переменных стоят на первом месте и зависят только от (детерминированных) моментов времени, а индексы \mathbf{u} зависят от переменных. В результате образуется комплексный многомерный индекс $[z, \mathbf{u}] = [z_p, \mathbf{u}(z_p)]$, в котором отдельные подиндексы образуют целочисленные измерения.

Индекс $[z, \mathbf{u}]$ позволяет задать функциональные зависимости между переменными значениями характеристик, образующими конечное номеруемое \mathbf{z} множество $X_z := \{x_z; z = \overline{1, Z}\}$ переменных значений планов π_{pp} ,

и характеристик информационных операций π_{ap} и эффектами $E_{[z,u]}$ функционирования СТС в результате реализации этих планов π_{bp} , полученных в результате использования ИТ с характеристиками π_{ap} .

Характеристики $C_{[z,u]} = \langle F_i(x_z; c_u) \rangle$ случайных эффектов, где $F_i(x_z; c_u)$ — функции, задающие зависимости характеристик случайных величин — эффектов $\hat{E}_{[z,u]}$ функционирования — от переменных x_z и параметров c_u для каждой последовательности индексов \mathbf{z}, \mathbf{u} .

Наличие таких зависимостей гарантируется (корректным) построением теоретико-графовых моделей комплекса состояний СТС при функционировании в изменяющейся среде СТС, обеспечивающим наличие и необходимое описание связи между состояниями, в том числе — между состояниями, описываемыми переменными в решаемых задачах, и зависящими от них состояниями, описываемыми характеристиками эффектов.

$C_{[z,u]}$ рассчитывается путём выполнения операций с характеристиками случайных величин при проходе по последовательностям комплексных состояний (ветвям деревьев).

$w_{[z,w]} := Poss(\hat{E}_{[z,w]}(x_z) \sim E_{[w]}^r(q_q))$ — многомерный массив результатов вычислений, описывающий соответствие (обозначено \sim , принимает вид $<, \geq, =$ или комплекса отношений) между случайными величинами $\hat{E}_{[z,w]}$ эффектов, полученных при функционировании СТС, к требуемым моментам времени проверки соответствия состояний СТС требованиям к ним $E_{[w]}^r(q_q)$ со стороны среды.

Массив получают для той части состояний $S_{z,w}(x_z)$ СТС, $\mathbf{w} < \mathbf{u}$, которые проверяются на границе системы и среды (то есть тех, к которым средой предъявлены требования) и для которых рассчитываются характеристики эффектов $C_{[z,w]}(x_z) \subset S_{z,w}(x_z)$ и предъявляются требования $E_{[w]}^r(q_q)$.

Кроме $w_{[z,w]}$ для состояний $S_{z,w}^s(x_z)$ при функционировании СТС рассчитываются вероятности $p_{z,w}(x_z)$ событий $\hat{A}_{z,w}(x_z)$, зависящих от переменных x_z и состоящих в том, что в момент T_p , соответствующий индексам \mathbf{z}, \mathbf{w} , состояние $S_{z,w}^s(x_z)$ СТС будет актуализировано.

Для возможных состояний при функционировании среды S_w^e рассчитываются вероятности $q_{[w]}$ событий $\hat{A}_{[w]}$, не зависящих от переменных (в соответствии с принятыми допущениями) и состоящих в том, что в момент T_p , соответствующий индексу \mathbf{w} , состояние \hat{A}_w среды СТС будет актуализировано.

Обозначим $W_{[z,w]} := w_{[z,w]} \cup p_{[z,w]}(x_z) \cup q_{[w]}$ — многомерный массив, включающий $w_{[z,w]}$ и вероятности $p_{[z,w]}(x_z), q_{[w]}$. $W_{[z,w]}$ — общая характеристика потенциала СТС, описывающая случайную величину меры соответствия прогнозируемых эффектов изменяющимся требованиям со стороны среды и в условиях изменяющихся случайных воздействий со стороны среды.

Эти меры для разных ветвей описывают случайную величину потенциала СТС для разных условий. Полученная структура описывает результаты функционирования в изменяющихся условиях.

Сечения структуры $W_{[z,w]}$ позволяют рассчитать комплексные меры соответствия для разных моментов времени. Сечения образуют проекции случайной величины, представляющей собой обобщённую характеристику

потенциала, рассчитанную для изменяющихся условий в зависимости от переменных x_z и параметров C_u .

Построенные $C_{[u]}$ и x_z дают возможность описать переходы $\tau_{[u]}$ и $\tau_{[z,u]}(x_z)$ как пары состояний $C_{[u]}$, x_z , ассоциированные с предикатом «вызывать и определять характеристики следующего состояния». Он передаётся дугой дерева состояний. Корректно построенное дерево состояний позволяет описать $\tau_{[u]}$ и $\tau_{[z,u]}(x_z)$, а затем связать их с $C_{[u]}$ и x_z в комплексную структуру данных — функциональную модель $C_{[z,u]}(x_z)$. Она и позволяет рассчитать $W_{[z,w]}$ ($u > w$).

Задача построения зависимостей $C_{[z,u]}(x_z)$ для различных условий среды — разных подиндексов w из u — и различных переменных x_z представляет собой отдельную подзадачу, подзадачу функционального моделирования. Она решается за счёт: 1) построения дерева состояний и переходов как субстрата функциональной модели, отвечающей на вопрос: как формируются состояния, связаны ли они; 2) построения параметрических и функциональных зависимостей на построенном дереве состояний; 3) формирования $C_{[z,w]}(x_z)$ как многомерной функциональной модели.

Затем из использованной модели $C_{[z,w]}(x_z)$ порождается модель $W_{[z,w]}$.

Сформированные модели $C_{[z,w]}(x_z)$ и $W_{[z,w]}$ могут позволить породить описание задач исследования на языках решения оптимизационных задач или языках программирования, пригодных для описания задач для последующего решения солверами (solvers).

Пример постановки задачи исследования потенциала при заданной модели $C_{[z,w]}(x_z)$ примет вид:

Дано: $X_z = \{x_z, z = \overline{1, Z}\}$, $\{C_{[z,w]}(x_z), z = \overline{(1, Z)}\}$.

Найти:

$$x_{zopt} = \text{Arg} \max_{z=\overline{1, Z}} W_{[z,w]}(x_z),$$

где $w_{[z,w]} = \text{Poss}(\hat{E}_{[z,w]}(x_z) \sim E_{[w]}^r(q_q))$, $W_{[z,w]} = w_{[z,w]} \cup p_{[z,w]}(x_z) \cup q_{[w]}$.

Переходы $\tau_{[u]}$, $\tau_{[z,u]}(x_z)$, в $C_{[z,w]}(x_z)$ служат для получения $W_{[z,w]}$. Вероятности $p_{[z,w]}(x_z)$ рассчитываются, например, с использованием N_{bqp}^m .

Заметим, что в такой постановке традиционные ограничения (например, по ресурсам и времени) ограничиваются $E_{[w]}^r(q_q)$ и входят в состав выражения для расчёта меры соответствия $w_{[z,w]}$. После вычисления мер соответствия фрагменты сетей, ассоциированных в моделях $C_{[z,w]}(x_z)$ с комплексными переходами, и характеристики промежуточных состояний могут быть отброшены, а получившаяся в результате структура $W_{[z,w]}$ может служить для решения задач.

3.4.2. Функциональная модель реализации технологической неинформационной операции

Функциональной моделью ТНИО является операция o_1 , описывающая переходы a_1 в результате ТНИО. a_1 — «переход из состояния в состояние, вызванный исполнением предписаний при реализации симплекса на РМ» (переход от состояний при функционировании СТС, имеющих информа-

ционный вид и полученных при ТИО, к состояниям реализации исполнителями последующих, в соответствии с предписаниями, ТНИО и с завершающими ТИО проверки состояния). Этот переход может реализовываться человеком, исполнительным устройством (например, актуатором — ТНИО, сенсором — ТИО). Соответствует переходу из одного состояния, включающего информационную и неинформационную составляющие, к одному из конечных состояний, в зависимости от условий среды. Моделируется последовательностью из нескольких элементарных моделей ОП. А именно — моделей операционных примитивов реализации (начального) ТИО-1 проверки состояния РМ и выдачи предписаний на выполнение ТНИО, моделей ОП ТНИО предписанным способом и моделей ОП завершающего ТИО-2 проверки результатов симплекса, выполненного предписанным способом. Пусть $s_{[u]}^{NI} \subseteq s_{[u]}^{AN}$ — универсальное, заданное универсальным индексом $[u]$ состояние, описывающее неинформационную составляющую состояний $s_{[u]}^{AN}$ начала $s_{[u]}^{ANb}$ и окончания $s_{[u]}^{ANe}$ перехода в результате реализации ТлОп. Каждое из таких — и ряда других — состояний включает информационную $s_{[u]}^I$ и неинформационную $s_{[u]}^{NI}$ составляющие. Информационная — предписательная и прогнозная — составляющая начального состояния включает описания: выбранного способа реализации ТлОп; прогнозируемых результатов реализации ТлОп. Эти сведения могут быть переданы на РМ ТлОп с других РМ (в том числе информационных). Этим и обусловлено название «информационные состояния» (части состояний). Далее будем предполагать, что эти сведения детерминированы. Недетерминированным является лишь реализация события, состоящего в реализации того или иного конечного состояния из возможных (и описанных в начальном информационном состоянии).

Предметная (характеризующая статику) составляющая начального состояния $s_{[u]}^{St}$ включает описание характеристик $c_{[u]}^{St}(e_{[u]})$ состояний элементов $e_{[u]}$ ТлОп перед началом ТлОп. Эти сведения порождаются на РМ, на котором реализуется ТлОп. Так, они могут быть порождены как результат измерений.

Характеризующая динамику составляющая $s_{[u]}^D$ начального состояния включает описание возможных характеристик $c_{[u]}^D(f_{[u]})$ функций $\langle c_{[u]}^{St_e} \rangle := f_{[u]}(c_{[u]}^{St_b}, c_{[u]}^D)$, связывающих характеристики заданного состояния элементов ТлОп перед началом ТлОп $c_{[u]}^{St_b}$ и характеристики состояний по её окончании $\langle c_{[u]}^e \rangle := \langle c_{[u]}^{St_e} \rangle$. Вектор $\langle c_{[u]}^e \rangle$ в общем случае случайный. Поэтому на элементах $c_{[u]}^e$ вектора — множествах характеристик для каждого состояния — задаётся распределение вероятностей $\mathcal{F} \langle c_{[u]}^e \rangle (c_{[u]}^e) := \langle P(c_{[u]}^e) \rangle$, т. е. распределение задаётся в виде вектора вероятностей. В число характеристик $c_{[u]}^{St_b}, c_{[u]}^{St_e}$ состояния $s_{[u]}^{St}$ входят: характеристики «целевых» результатов $c_{[u]}^g$ (произведённой продукции, услуг разных видов); характеристики «обеспечивающих» результатов $c_{[u]}^r$ (характеристик затраченных ресурсов $r_{[u]}$ разных видов); характеристики особого ресурса $c_{[u]}^T$ — моментов и промежутков времени, характеризующих выполнение

ТЛОп на РМ и ожидания. Функции f^g , связывающие характеристики «целевых» результатов начального и конечного состояний $\langle c_{[u]}^{g_e} \rangle := f^g(c_{[u]}^{g_b}; c_{[u]}^{D_g})$, в общем случае — случайные функции случайного аргумента. В рассматриваемом случае случайная функция задаётся законом распределения вероятностей на конечном векторе возможных состояний в результате выполнения ТЛОп.

Может принимать вид функции интенсивности или (и) интегральной функции. Например, ресурсы могут иметь вид ресурсов вида «энергия», интегральных ресурсов (ограничены к какому-либо моменту времени и расходуются с накопленным итогом) или ресурсов вида «мощность» (ограничены в каждый момент времени, неизрасходованный ресурс не может быть передан для расходования в будущем) и их комбинаций. Общее функциональное соотношение для расходования ресурсов принимает вид:

$$\langle c_{[u]}^{r_e} \rangle := f^g(c_{[u]}^{r_b}; c_{[u]}^{D_r}).$$

Сведения о характеристиках содержатся в инструкциях и описаниях на элементы РМ. Будем предполагать, что эти сведения детерминированы, но описывают, в частности, вероятностные зависимости — результатов ТЛОп от исходных состояний — в результате воздействий среды. Информационная, предписательная и прогнозная составляющая каждого (из возможных) конечных состояний включает описания возможных последующих предписаний по выполнению действий. Далее будем предполагать, что эти сведения детерминированы. Неинформационная составляющая конечного состояния включает состояния — измеренные и рассчитанные — элементов ТЛОп по окончании ТЛОп.

3.4.3. Функциональные модели реализации технологических информационных операций

Функциональная модель ТИО — соответствующие ТИО операции o_n^i и моделируемые ими переходы a_n^i, a_1^i — «переход между состояниями, вызванный проверкой состояния». Этот переход может реализовываться человеком, техническим устройством (например, сенсором), вычислительным устройством, и в зависимости от состояний среды переход может реализовываться по-разному. В результате переход может характеризоваться случайностями. Результат перехода (значение операции, функции) — сведения о состоянии. Переход моделируется распределением вероятностей на множестве возможных, неслучайных сведений о состоянии. Переход может быть охарактеризован случайной дискретной функцией неслучайного аргумента. В качестве аргумента выступают сведения о выполненных предписаниях.

Частный случай такого перехода — проверка состояния на границе СТС и среды. Указанным переходам соответствует элементарный показатель частичного достижения цели при функционировании. Моделируется с использованием одной или нескольких элементарных моделей ОП. В них входят модели ОП ТИО, проверяющих состояние на границе СТС и среды,

и модели ОП ТИО, выдающих предписания для реализации последующих ТлОп.

Функциональные модели технологических информационных операций формирования предписаний, передачи сведений описывают соответствующие информационные операции вида o_3 , o_4 . Операция вида o_3 описывается как a_3 — «переход между состояниями, состоящий в передаче информационного состояния во времени или (и) в пространстве». Этот переход может быть реализован человеком, техническим устройством (коммуникатором, сетевым устройством). a_3 может быть задана с использованием детерминированной функции детерминированного аргумента. Она сопоставляет сведения источника сведениям приёмника. Примеры такого вида переходов — передача, приём, сохранение, накопление сведений. Операция вида o_4 описывается a_4 — «переход между состояниями, состоящий в назначении сведений по результатам оперирования». Этот переход тоже может быть реализован как человеком, так и вычислительным устройством. Далее предполагается, что операция o_4 тоже описывается детерминированной функцией детерминированного аргумента. Примеры такого вида переходов — измерение, диагностика состояний, прогнозирование, выработка предписаний («diagnostic, predictive or prescriptive use of information»).

Переходы в ряде случаев могут делиться на виды. Например, a_4 , в свою очередь, может делиться на «наблюдаться совместно» и «ненулевая мера возможности выполняться совместно в заданный момент времени». Указанные переходы делятся на виды в зависимости от того, какие состояний и как могут быть реализованы совместно, в один момент времени. Описанные информационные операции и соответствующие переходы, в отличие от неинформационного перехода, требующего входных (начальных) и выходных (конечных) состояний как информационного, так и неинформационного вида, могут моделироваться цепочками информационных состояний, например: — переход от проверенных состояний СТС на границе к получению и затем передаче полученных предписаний для СТС на ТИО РС-2, т. е. передача полученных РС-1 предписаний; — переход от проверенных состояний к выдаче предписаний. Последовательности состояний, получаемые с использованием переходов с учётом других видов отношений, формируют модель функционирования СТС в виде последовательностей возможных состояний. Порождение этой модели реализуется с использованием комплексных моделей, строящихся на основе элементарных. При порождении моделей они связываются в комплекс благодаря использованию отношений между моделями и отображениями моделей. При этом элементы разных теоретико-графовых моделей — дуг, вершин, пометок — разных объектов моделирования связываются в комплекс регулярным образом, описываемым для каждой модели на основе введённых видов отношений и отображений, описывающих комплексные состояния и переходы.

Каждый объект моделирования может моделироваться последовательно моделями разных видов. Так, строятся графовые модели (на основе концептуальных), затем помеченные теоретико-графовые, функциональные (на графах), алгоритмические функциональные (на графах).

3.5. Методы решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС

3.5.1. Структура методов решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала

Методы решения задач исследований (оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обладающих требуемым потенциалом) включают (рисунок 71): методы оперирования теоретико-графовыми моделями задач исследований; методы порождения вычислительных моделей; методы оперирования нечёткими числами; методы решения оптимизационных задач; методы оперирования данными в решаемых задачах.



Рисунок 71. Структура методов решения задач исследования потенциала

В свою очередь, методы оперирования теоретико-графовыми моделями (рисунок 72) задач исследований делятся на методы оперирования моделями разных видов (теоретико-графовыми концептуальными, теоретико-графовыми алгебраическими, теоретико-графовыми функциональными, теоретико-графовыми алгоритмическими и программными теоретико-графовыми моделями), методы композиции и декомпозиции моделей, комплексирования (скрытия) и симплицирования (уточнения) моделей.



Рисунок 72. Методы оперирования теоретико-графовыми моделями

Теоретико-графовые концептуальные модели строятся на основе концептуализации задач исследования. Используются программные средства представления знаний в диаграмматическом виде, в частности — в формате MindMaps.

Концептуализация проблемы исследования потенциала может быть представлена как регулярное расширение графов. Такое порождение может быть представлено графо-геометрически в виде построения графов на основе построенных диаграмм и теоретико-множественных форм концептуальной модели. Примеры таких графо-геометрических представлений вербальных моделей описаны в **приложении К**.

Из дескриптивных концептуальных теоретико-графовых моделей проблемы следует получить прескриптивные теоретико-графовые модели задач оценивания, анализа и синтеза по показателям потенциала, а затем и модели решения задач.

Для этого предложено использовать ряд других видов моделей.

Теоретико-графовые алгебраические модели строятся на основе концептуальных диаграмматических моделей. При этом вводятся дополнительные концепты, описывающие элементы теоретико-графовых алгебраических моделей и их связи с концептуальными диаграмматическими моделями. Цель построения таких новых теоретико-графовых моделей — порождение таких моделей, оперированием с которыми можно получить предписания по решению задачи (например, в виде текста программы на императивном языке).

Для достижения указанной цели формируются модели последовательностей состояний — так, чтобы соблюдались принципы, соблюдение которых необходимо для расчёта характеристик состояний (принцип технологичности). При этом оказывается необходимым ввести ряд новых элементов моделей и соответствующих им концептов.

Теоретико-графовые параметрические модели строятся на основе теоретико-графовых алгебраических моделей путём назначения пометок, ассоциированных с элементами (поименованных, идентифицированных) теоретико-графовых алгебраических моделей. В качестве пометок выступают числа, случайные величины, значения переменных.

Создание пометок основывается на понятиях концептуальной модели о состояниях элементов системы, состояниях системы. А именно — пометки элементов теоретико-графовых моделей вводятся на основе составления понятий о состояниях — и соответственно, о характеристиках — с их реа-

лизациями (числами, переменными, числовыми множествами, отношениями на числовых множествах) — с одной стороны, и с денотатами понятий — с другой.

В результате за счёт понятий о состояниях (и составляющих их характеристиках) достигается *корректный переход от денотатов к теоретико-графовым помеченным моделям денотатов*.

Для отражения некоторых из параметров оказывается необходимым ввести дополнительные элементы моделей (например, отражающие особые виды состояний или позволяющие проще их рассчитать).

Например, для отражения состояний морфологической, функциональной структуры СТС и состояния технологий их использования необходимо использовать состояния (и соответствующие пометки графов), сами, в свою очередь, являющиеся графовыми моделями.

Такие пометки вводятся на основе отношений ассоциации и позволяют корректно перейти от изменений, целенаправленных совершенствований денотатов, к моделям таких изменений.

Теоретико-графовые функциональные модели строятся на основе теоретико-графовых параметрических моделей путём указания функций, связывающих переменные и параметры.

При этом используется *принцип секвенциальности расчётов*. Он основан на свойстве (секвенциальности) строящихся моделей состояний, которые построены таким образом, что состояния РМ, являющиеся причиной последующего состояния, всегда предшествуют состояниям-следствиям и соединены с состоянием-причиной дугой (ребром на дереве).

В связи с этим свойством — секвенциальности моделей состояний — для расчёта последующих состояний на теоретико-графовых моделях достаточно знать предшествующее состояние — соединённое ребром, дугой с рассчитываемым состоянием — и знать то, каков механизм формирования нового (новых) состояния (состояний). Указанный механизм ассоциирован с совокупностью (возможно, одноэлементной) дуг (рёбер) графов состояний и переходов или — с двойственными ему совокупностями пар переходов и событий.

Способ действия ассоциирован со всем множеством переходов, возможных в результате действия этим способом (каждый переход — в тех или иных условиях воздействия среды).

Ребро (дуга) — модель реализации перехода (или события, в двойственной модели). В модели переходов и состояний переход описывает результат действия из заданного состояния заданным способом. Технологичность моделируемого функционирования означает, что все такие способы действий и их возможные результаты известны и описаны достаточно подробно для того, чтобы задать функциональные зависимости между состояниями.

Принцип основывается на том, что состояния и переходы при функционировании СТС упорядочены при моделировании так, чтобы для расчёта каждого результирующего состояния достаточно было лишь полного описания начального состояния перехода и функциональных соотношений, описывающих способ действия в каких-либо условиях (модели перехода). Такое описание существует, в связи с технологическим характером функцио-

нирования СТС и тем, что теоретико-графовая модель функционирования позволяет упорядочить состояния СТС в виде дерева состояний и переходов так, чтобы состояния и переходы были описаны полностью (т. е. достаточно для задания функциональных связей).

С использованием принципа становится возможным порождение функциональных моделей из построенных параметрических моделей и построенных концептуальных моделей. Порождение реализуется путём указания функциональных связей, описанных способами действия из заданных состояний.

Эти функциональные связи порождают, используя концептуальные модели изменения состояний и соответствующие им функциональные зависимости. Эти концептуальные модели изменения состояний и зависимости предполагаются заданными на основе разработанных в соответствующих той или иной научной дисциплине (физике, химии, теории надёжности) зависимостей состояний.

В связи с этим они в концептуальной модели не приводятся, но предполагаются заданными (в известной научной и методической литературе).

Роль концептуальных моделей зависимостей состоит в установлении корректного соответствия между денотатами зависимостей и их моделями.

Указанные концептуальные модели и зависимости формируются на основе природных законов, закономерностей ряда видов.

По видам проявления:

Так, вид *природных закономерностей* — такие закономерности, которые описываются концептуальными и формальными зависимостями, как правило (чаще всего) аналитического вида, проявляющимися в результате преобразования вещества и энергии.

Закономерности вида *организационных закономерностей* — такие закономерности, которые проявляются в различных аспектах предметно-преобразующей деятельности коллектива людей.

По видам реализации:

Закономерности достижения конечной цели. Это закономерности, в соответствии с которыми формируются эффекты, требуемые средой на границе с СТС, — потребляемые в среде (целевые) или предоставляемые ей (обеспечивающие).

Закономерности совершенствования (структуры, функций системы, технологии её функционирования). Это закономерности, в соответствии с которыми изменяются механизмы, средства и цели формирования эффектов, требуемых средой на границе с СТС.

Принцип секвенциальности позволяет описать соответствие между последовательностями состояний СТС и переходов между ними при функционировании в изменяющейся среде и последовательностями расчётов функциональных соотношений разных видов: организационные закономерности предшествуют проявлению природных, закономерности совершенствования — закономерностям достижения конечных целей.

Деревья состояний, позволяющие реализовать принцип секвенциальности, получают при использовании концептуальных моделей задач исследования потенциала для построения теоретико-графовых моделей.

В результате построения таких теоретико-графовых моделей получают алгебраическую модель задачи, позволяющую породить модели параметрические и затем функциональные модели за счёт раскрытия содержания (деталей, аналитических особенностей) состояний и переходов. Тем самым с использованием указанного принципа на основе концептуальной модели удаётся построить функциональную модель.

Функциональная модель может служить затем *для порождения программной модели*.

Программная модель порождается в соответствии с *принципом имитации последовательности причинно-следственных связей*, передаваемых теоретико-графовыми моделями, вычислениями на этом графе. А именно — вычисления реализуются при реализации обхода графовой модели, «имитируя» выполнение возможных последовательностей причинно-следственных связей.

Каждая из причинно-следственных связей «имитируется» вычислением функциональных связей, ставящих в соответствие начальному состоянию элементов, участвующих в реализации связи, конечного состояния после реализации причинно-следственной связи в тех или иных условиях её реализации.

Пользуясь концептуальными моделями (описывающими лишь ограничения и спецификации описания причинно-следственных связей), получают графы (реализации концептуальных моделей), описывающие алгебраические теоретико-графовые модели формирования эффектов при функционировании в изменяющейся среде и содержащие описания возможных последовательностей причинно-следственных связей между состояниями. Эти связи заданы лишь идентификаторами переходов.

Затем, на основе этих моделей и на основе концептуальных моделей состояний, получают помеченные переменными и параметрами состояний алгебраические графовые модели, в которых возможные последовательности причинно-следственных связей заданы последовательностями идентификаторов зависимостей между характеристиками состояний. Такие идентификаторы функциональных зависимостей ассоциированы с возможными переходами между состояниями.

Затем получают помеченные функциональными зависимостями теоретико-графовые модели. Функциональные зависимости получают на основе имеющихся (известных) моделей, описывающих переходы между состояниями аналитически.

Функциональные зависимости затем описываются с использованием выражений на языке программирования (программных моделей).

Создаваемые функциональные и программные теоретико-графовые модели отличаются общим свойством, состоящим в том, что *они конструируемы (с использованием операций композиции) при обходах графа*.

Это свойство вызывается особенностями обходов графов и использованием принципа секвенциальности.

А именно — за счёт секвенциальности и задаваемой обходом линейной последовательности посещения смежных вершин в обходах получают свойство линейной упорядоченности расчётов с теоретико-графовой моделью,

которая обладает свойством секвенциальности и для которой задан обход теоретико-графовой модели. Обход задан для ациклических ориентированных графов и деревьев.

Поэтому граф модели должен быть связным и без петель — для того, чтобы с его помощью можно было рассчитать все требуемые выражения в предопределённой последовательности. Расчёты могут быть выполнены путём обхода графа (в глубину, в ширину) с расчётом функциональных соотношений при обходе в заданной последовательности посещения вершин.

Свойство линейной упорядоченности расчётов состоит в том, что для расчёта функциональных зависимостей моделей задач должно быть достаточно выполняемых при обходе последовательностей вычислений.

Вычисления выполняются с теми параметрами, переменными и зависимостями, которые ассоциированы с элементами теоретико-графовых моделей, связанных с ассоциированным и рассчитываемым функциональной зависимостью математическим объектом одним элементом графа (дугой, ребром, гипердугой).

Последовательность вычислений задаётся видом обхода теоретико-графовой модели (в глубину, в ширину графа). Из таких линеаризованных на основе обходов моделей следует породить комплексную функциональную модель, описывающую конечную последовательность функциональных выражений для расчёта показателей в зависимости от переменных в решаемых задачах, а затем и программную модель для расчёта функциональных выражений.

Порождение реализуется до тех пор, пока полученных графов не будет достаточно для передачи полученной (терминальной) модели $Y_{m,j,k}(t) = \bigoplus_{k=1,K_j} (y_{m,j,k}(t))$ решаемой задачи программе для расчёта, компилятору, интерпретатору или (и) программе — решателю математических задач (например, оптимизационных).

В качестве такой терминальной модели для задач оценивания, анализа и затем синтеза может быть использован любой язык программирования, средства расчётов на основе таблиц Microsoft Excel, языки оптимизационного моделирования, например AMPL (Algebraic Mathematical Programming Language), gDPS (general Dynamic Programming Specification language).

Решение задач исследований в алгебраическом представлении состоит в порождении описанных расширяемых моделей, обладающих такими свойствами, чтобы с их помощью могли быть успешно сформулированы и получены ответы на вопросы задач, сформулированных на основе задач, возникающих у практиков. Описанная совокупность расширенных теоретико-графовых моделей (алгебраических систем) строится на этапе методологизации проблемы.

Методы оценивания соответствия моделей наблюдениям описаны в **приложении Р**.

Методы оперирования вычислительными моделями включают методы порождения программного кода, текстов для приложений расчёта, текстов описаний вычислений [202].



Рисунок 73. Методы оперирования вычислительными моделями

Методы порождения программного кода моделей основываются на возможностях существующих программных комплексов и используют стандартные языки, в том числе языки описания [203] оптимизационных задач.

Программным кодом описываются элементарные функциональные преобразования при реализации принципа секвенциальности, а затем и их комплексы при обходе и реализации линеаризации вычислений.

За счёт секвенциальности вычислений и последующей линеаризации на основе обходов из программного представления функциональных математических выражений получают целевой текст модели (программы или спецификации расчётов).

В зависимости от используемого текста различают несколько видов порождения текстов программ.

Методы порождения текстов спецификаций для стандартных приложений расчётов основываются на возможностях существующих программных комплексов — например, в части порождения файлов, которые могут быть прочитаны программой Excel.

Методы порождения текстов спецификаций вычислений основываются на возможностях порождения текстов на специализированных языках описания вычислений — например, в форматах MathML, T_EX.

Методы решения оптимизационных задач делятся на частные методы, разработанные для решения одной задачи синтеза, и общие методы, использующие описания задач (оптимизационных задач, задач анализа) на основе языков описания задач и решателей оптимизационных задач.

Частные методы включают метод случайного поиска с сохранением промежуточных результатов, метод ветвей и границ, метод динамического программирования.

Применение этих методов основывается на учёте особенностей построенных математических моделей.



Рисунок 74. Методы решения оптимизационных задач

А именно — расчёт значений показателей представляет собой последовательный обход деревьев состояний, проверяемых на границе СТС, среды

и перемножение соответствующих проверяемым состояниям вероятностей в последовательностях возможных значений вероятностей.

Эта особенность и даёт возможность использовать ряд частных методов оптимизации.

Общие методы описания оптимизационной задачи для решателей классов оптимизационных задач. Они состоят в создании такой спецификации вычислений, которая позволила бы использовать существующие средства решения задач (решатели, solvers) для решения класса оптимизационных задач, описываемых разработанными моделями.

Предложено использовать несколько известных способов описания оптимизационных задач. Так, возможен вывод текста на языке AMPL с последующим решением описанной задачи. Однако такое представление может быть связано с дополнительными затратами на реализацию целочисленного программирования. Например, динамическое программирование [204–206] может быть реализовано, например, за счёт генерации текста описания задачи на языке gDPS («general dynamic programming specification language»), в частности — с использованием ADP («Algebraic Dynamic Programming») или динамического программирования на NH-графах.

Возможность генерации текста в gDPS, ADP возможна в связи с тем, что модели для расчёта показателей носят специфический характер вложенных деревьев, расчёты на которых реализуются последовательно, а целевая функция имеет вид вероятностных смесей разного вида (сумм произведений вероятностей) [207–211].

Кроме описания оптимизационной задачи в виде текста для решателей оптимизационных задач могут использоваться другие общие методы описания задач для различных прикладных программ.

Так, может использоваться представление в виде функциональных соотношений пакета Microsoft Excel® и последующее автоматизированное решение задач анализа и синтеза средствами (в том числе подключаемыми решателями) этого пакета прикладных программ.

Это представление позволяет интегрировать разработанные модели с представлением для решения задачи анализа средствами Microsoft Excel® и решателем оптимизационных задач Microsoft Excel® и благодаря этому решать как задачи анализа, так и задачи дискретно-непрерывной оптимизации.

Методы оперирования данными в решаемых задачах делятся на методы получения, хранения данных, методы представления данных, методы преобразования и интерпретации данных.



Рисунок 75. Методы оперирования данными

Для оперирования данными предложено использовать методы представления, хранения и использования графов [212–215].

Графы предложено хранить в графовой базе данных, такой как GraphDB, Neo4J, Amazon Neptune [212, 216–218].

Полученные теоретико-графовые модели и алгоритмы на них могут использовать оперирование случайными графами, расширениями графов, представлять функционирования систем разных видов [219–221] с использованием графов [222–225], а затем описывать с их помощью функциональные [224] и программные модели [226] на основе графов.

Создание концептуальных диаграмм целесообразно с использованием приложений MindMaps. Сохранение полученных диаграмм в графовую БД возможно за счёт преобразования файлов, в том числе с использованием оперирования графами на основе использования приложений оперирования онтологиями [227–229].

Аналогичным образом возможно преобразовать концептуальные модели в другие форматы представления знаний (OWL, RDF). Затем реализуется ассоциирование параметров и переменных с графами и затем ассоциирование функциональных связей с графами [230].

Для хранения таких, ассоциированных, данных целесообразно использовать специализированные хранилища, связанные с графовой базой данных.



Рисунок 76. Методы оперирования нечёткими числами

Методы решения задач исследований, кроме того, делятся по решаемым задачам (оценивания, анализа и синтеза).

Рассмотрим особенности методов решения задач по видам решаемых задач. Они определяются тем, какие модели используются для применения методов (видом модели соответствующей задачи), и тем, какое оперирование моделью задачи используется для её решения.



Рисунок 77. Методы решения оптимизационных задач

Методы решения задач оценивания используют модель функционирования в виде дерева. Расчёт реализуется в последовательности обхода дерева. Причём функциональная модель задана так, что для расчёта очередного значения на дереве нужно знать только предыдущий элемент графа и характеристики перехода.

В результате таких особенностей представления модели задачи оценивания при обходе модели задачи оценивания возможна генерация текста программ оценивания показателей, файлов, специфицирующих расчёт показателя.

Задача анализа. Метод решения задач анализа опирается на особенности используемой модели задачи анализа.

Модель задачи анализа формируется на основе модели задачи оценивания, путём задания наборов возможных значений переменных, а затем решения типовых задач анализа за счёт оценивания показателей для разных значений переменных и изучения особенностей зависимости целевой функции от значений переменных.

В связи с этим простейшим методом решения задачи анализа представляется использование возможностей формирования файлов прикладных программ, рассчитывающих значения показателей, а затем формирование возможных значений переменных в соответствующем программном средстве оценивания (например, Microsoft Excel).

Метод решения задачи синтеза определяется используемой моделью задачи синтеза. Задача синтеза описывается моделью в виде множеств альтернативных ветвей, связанных в комплекс деревьями состояний и переходов и выражений для расчёта показателей.

Дереву с указанием всех альтернативных ветвей соответствует структурированная совокупность вычислений, позволяющая рассчитать значения целевой функции для всех элементов множества выбора.

Вычисления структурированы ветками дерева — так, что продвижение по ветке и выполнение (возможно, вложенных) расчётов позволяет выполнить последовательность вычислений зависимых переменных так, чтобы рассчитать значение целевой функции для одного возможного значения переменных из множества возможных значений переменных.

Метод решения задачи синтеза направлен на то, чтобы сократить объём расчётов для нахождения оптимальных значений переменных. Сокращение может иметь разный вид и достигаться разными методами.

Простейший способ сокращения состоит в том, чтобы не вычислять значения целевой функции на всех элементах множества выбора.

Предложено структурировать множество выбора так, что каждый элемент множества выбора представляется в виде последовательности частных решений. В качестве таких решений используется выбор одного из возможных способов выполнения ТлОп — если ТлОп выполняются только на одном РМ — или выбор одной из возможных комбинаций способов выполнения ТлОп (при выполнении на нескольких РМ).

Модели таких частных решений и их последовательностей образуют дерево альтернатив.

Методы формирования альтернатив

Совокупность вычислений для разных элементов множества выбора структурирована моделью дерева состояний и переходов, с использованием которой вычисления порождаются.

На основе этой модели порождена модель альтернативных состояний и переходов.

Математическая теоретико-графовая модель альтернативных ветвлений. С использованием альтернативных ветвлений задаётся множество переменных в решаемых задачах и осуществляется отбор допустимых, кандидатур на оптимальные, альтернатив. Используются понятия концептуальной модели: элемент СТС, операционный примитив, переменная.

Теоретико-графовая модель строится на основе сведений технологической документации как рёбра дерева возможных состояний при функционировании, инцидентные одной вершине (родительской), в которой может быть реализовано альтернативное ветвление. Родительская вершина, где реализуется альтернативное ветвление, соответствует состоянию, заданному при условии того, что переменные, от которых это состояние зависит, приняли известные значения. При этом эти значения переменных таковы, что последовательность состояний при таких значениях переменных может вести именно к альтернативному состоянию, соответствующему заданной вершине дерева альтернативных состояний и реализации альтернатив.

Простейший пример отображения переменных деревом состояний показан ниже (рисунок 78).

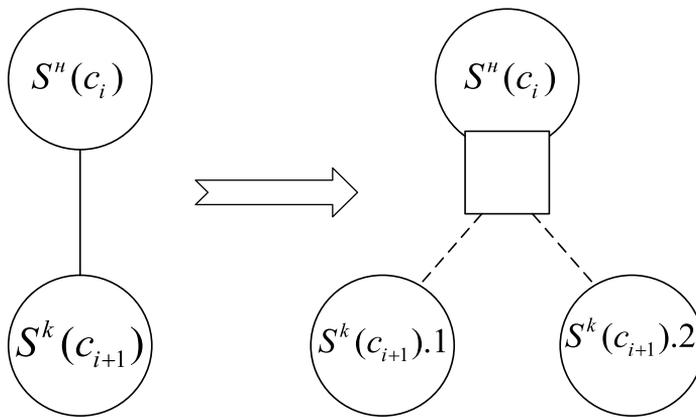


Рисунок 78. Формирование альтернатив

Переход между состояниями $S^h(c_i)$, $S^k(c_{i+1})$, который был единственно возможным, преобразуется в два альтернативных перехода, из которых следует выбрать один. Например, такой вариант переменных может соответствовать безошибочной реализации ОП на РМ, характеристики которого заданы (слева), и того же ОП на том же РМ, но в случае, если имеется альтернативное значение характеристик РМ (справа). Альтернативность такого вида описана квадратом в месте ветвления.

Альтернативный переход соответствует действию (или совокупности действий) по реализации одной из альтернатив. Например, таким действием может быть изменение состава СТС, изменение характеристик элементов СТС, изменение функций элементов СТС, изменение способа действий с элементами СТС.

В результате того или иного альтернативного действия СТС переходит в разные альтернативные состояния. При этом то, в какое альтернативное

состояние перейдёт СТС, зависит от предыдущего альтернативного состояния, определяющегося последовательностью реализаций альтернатив.

Последовательность реализации альтернатив, у которой нет продолжения, соответствует одному из вариантов реализации альтернатив.

Указанные действия по реализации альтернатив, как и рассмотренные ранее ТлОп, могут включать информационные и неинформационные операции. Возможные реализации альтернатив детерминированы принятыми решениями. Решения принимаются на этапе планирования связи со спецификой решаемых задач.

В связи с этим действие по реализации альтернативы предполагается примитивом (аналогично ОП), и здесь исследуется лишь результат такого действия в виде одного из детерминированных состояний — результатов реализации альтернатив. Это состояние предполагается информационным.

Например, результат реализации альтернативы — способ действия, выбранный и закреплённый в виде предписаний для начинаемой ТлОп, выбранные для реализации ТлОп на РМ элементы, состав которых задан предписаниями, выбранные элементы СТС, состав которых определён документацией на систему.

Соответственно, последовательность альтернативных состояний соответствует альтернативной последовательности предписаний, необходимых для функционирования. Предполагается, что эти предписания достаточны для функционирования в любых рассматриваемых условиях функционирования (воздействиях среды, реализованных состояниях СТС, целях), поскольку имеются для всех таких вариантов функционирования.

Варианты функционирования отличаются от альтернатив тем, что варианты задаются при функционировании, в зависимости от тех или иных событий, варианты функционирования исследуются как последовательности действий, на которые затрачиваются ресурсы, и эти последовательности действий моделируются.

Реализация альтернатив может рассматриваться в виде последовательностей состояний (заданных предписаний) и переходов (реализации альтернатив, заданий предписаний), таких, что для того, чтобы был реализован переход в состояние (задание предписаний), необходимо и задание предшествующих в последовательности предписаний.

В такой цепочке задания предписаний эти предписания могут относиться к предписаниям одного вида по разным элементам — например, способы разных действий — предписания вида «способ действия», но для разных ТлОп, или — предписаниям разного вида (по одному, разным элементам) — например, предписания по составу ингредиентов на РМ, предписания о технологии функционирования ингредиентов на РМ.

Возможные последовательности задания предписаний разных видов показаны на схеме (рисунок 79).

Они определяются особенностями задания предписаний. Например, предписания о способе ТлОп могут быть заданы только для заданных предписаний о составе элементов на РМ с заданными предписаниями об их характеристиках и с заданной технологией реализации ТлОп на РМ.



Рисунок 79. Формирование видов предписаний

Возможные последовательности задания предписаний одного вида определяются особенностями отношений объектов, для которых назначаются предписания их использования.

Например, предписания о составе элементов на РМ сборки изделий могут быть заданы лишь после того, как ясен (хотя бы предварительный) состав элементов на РМ обработки изделий — для того, чтобы было ясно, какие изделия и с какими характеристиками необходимо собирать.

Или — способ ТлОп сборки изделия следует задавать, предварительно задав предписания как о составе ингредиентов РМ сборки, так и задав предписания о ТлОп производства собираемых частей изделия.

Указанные связи предписаний — связи предписаний, вызванные причинно-следственными связями при реализации предписаний на практике.

Они вызываются технологией реализации предписаний неинформационными действиями. Эти неинформационные действия могут иметь вид реализации предписаний любого вида. Кроме них последовательности задания альтернатив могут быть связаны отношениями последовательности разработки предписаний. Они вызываются технологией реализации информационных действий создания предписаний. Создаваться в том или ином порядке могут предписания любых видов. Тем самым последовательность задания предписаний может комбинироваться с другими последовательностями альтернатив (рисунок 80).

Пусть теперь переход между состояниями не только альтернативен, но и вариативен в результате учёта возможных ошибок.

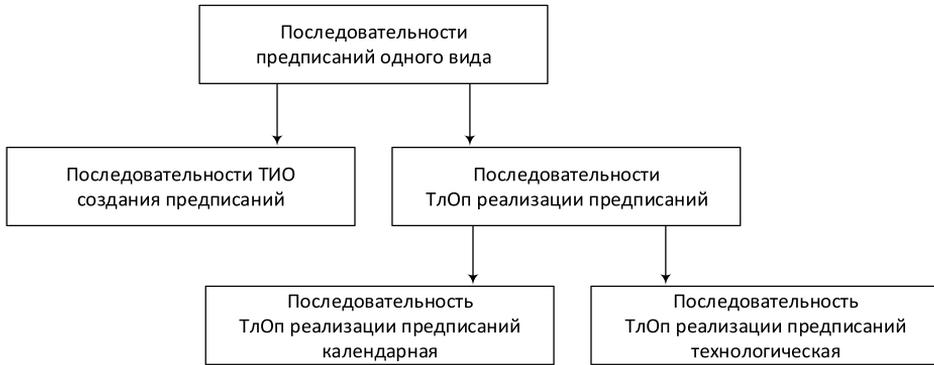


Рисунок 80. Задание последовательностей альтернатив

Здесь под вариативностью понимается альтернативность, вызванная возможным воздействием среды. При этом предполагается, что результат действия зависит и от реализованной альтернативы способа действия (предписаний), и от вариативного действия среды.

Например, вариативными могут быть переменные, характеризующие результат реализации выбранного способа реализации проверочного ТИО (т. е. результаты реализации предписаний способа в вариативных условиях среды).

Задаваемые детерминированно альтернативы и определяемые возможными действиями среды альтернативы оказываются связанными функционально (рисунок 81).

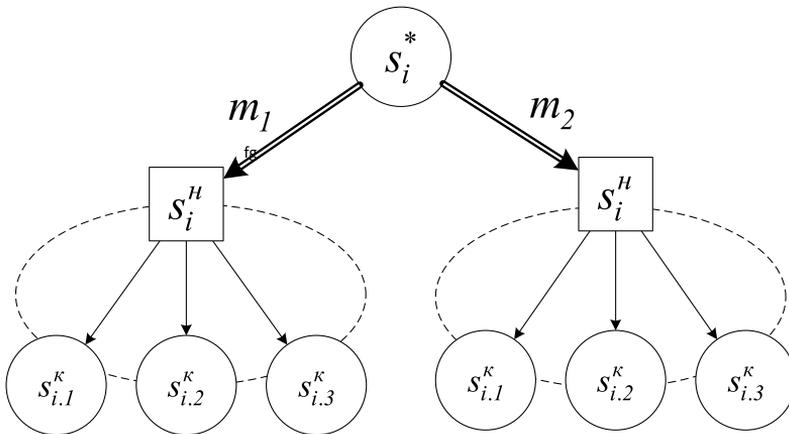


Рисунок 81. Связи альтернатив и вариантов расчётов

При этом в зависимости от реализованной (детерминированной) альтернативы способа действия получают разные варианты действий среды и вероятности исходов соответствующих событий в поддереве, описывающем исходы при функционировании. Указанная связь может быть описана композицией поддеревьев, в которой каждой ветви первого дерева в паре

деревьев, описывающей композицию, сопоставлено дерево возможных исходов и характеристики этих исходов.

Вершине с пометкой s_i^* сопоставлено состояние перед началом ТОП, для которого способ ТОП ещё не специфицирован. Вершинам с пометкой s_i^H — начальное состояние ТОП при одной из заданных альтернатив способа действия. Вершинам с пометкой $s_{i,j}^k$ — конечное состояние в результате реализованного перехода. Дуги, помеченные m_1, m_2 , соответствуют назначению (альтернативных) способов ТОП.

При этом отношение, передаваемое первым деревом, имеет смысл «задание детерминированной альтернативы — способа действия и начало реализации этой альтернативы», а отношение, передаваемое вторым, — «реализация одной из возможностей окончания начатого заданным способом действия при одном из возможных действий среды».

Соответственно, смена альтернативы (способа ОП) может приводить к смене не одного последующего возможного состояния в результате реализации ОП заданным способом T_3 , а комплекса состояний, каждое из которых соответствует возможному завершению ОП заданным способом, но в результате разных возможных воздействий среды — переходу в результате ТОП.

Таким возможным исходам реализации ОП способом T_4 соответствует комплекс возможных состояний. Его можно также представить ориентированным гиперребром эшграфа [176, 184] или метаграфа [185] (проиллюстрировано прерывистым овалом на диаграмме).

В случае дискретно-непрерывных или непрерывных возможных состояний множество возможных состояний может задаваться параметрами множества альтернатив (например, минимальное и максимальное значения множества возможных состояний).

Для описания комплексных альтернатив может оказаться необходимым комбинировать разные виды альтернатив — например, альтернативы, вызываемые изменением состава, характеристик элементов СТС и альтернативы, вызываемые изменением технологии функционирования СТС.

Кроме того, возможно комбинирование выбора действий субъекта деятельности с СТС, и затем, в зависимости от такого выбора, среда может реализовать выбор одного из возможных действий среды. В работе действия среды, в частности — изменения целей, заданы и не зависят от действий СТС, формируя возможные последовательности состояний.

Однако это допущение может быть в дальнейшем снято. Тогда указанный случай будет соответствовать формированию комплексных альтернатив действий СТС и её среды.

Такого вида альтернативы предложено представлять последовательностями альтернативных ветвлений (возможно, вложенными для удобства представления).

Так, в рассмотренном случае сначала должно быть представлено альтернативное (не стохастическое) ветвление (например, в виде параметров множества выбора), описывающее реализации альтернатив состава СТС, затем — реализацию альтернатив технологии СТС, а затем — соответствующее каждому из детерминированных альтернатив вероятностное ветвление, характеристики которого зависят функционально от детерминированного

выбора и описывают возможные действия среды в зависимости от альтернатив, реализованных СТС.

Если альтернативы описываются непрерывно — например, в виде функциональных ограничений на непрерывном множестве выбора, — графом возможно описать функциональные ограничения и их параметры.

Соответственно, модель переменных можно описать как допустимые последовательности альтернатив детерминированного выбора, вводимых как альтернативные рёбра — альтернативные переходы между состояниями (реализация альтернативы) и соответствующие реализациям альтернатив альтернативные (результатирующие) состояния.

Переход от модели состояний и переходов, используемой в задаче оценивания, к модели, используемой в задачах анализа и затем синтеза, состоит в замене единственного альтернативного состояния (результата реализации альтернативы) деревьями таких состояний.

Заменяемому состоянию соответствует одно из состояний, соответствующее в новом дереве состоянию в результате выбора детерминированной альтернативы, которая в модели ранее не была возможна.

Если альтернатива последовательная — композиция альтернатив реализуется последовательно, получают цепочки альтернатив.

Если состояние вложенное, т. е. получено в результате выполнений ТлОп на нескольких РМ и сочетания полученных результатов, то следует рассмотреть сочетания альтернатив выполнения ТлОп одновременно, на разных РМ, в виде цепочек соответствующих альтернатив, по одной альтернативе на каждом РМ.

При этом модели альтернатив следует сочетать с моделями сочетаний состояний по результатам выполнения ТлОп на параллельно (одновременно) занятых РМ.

Модели детерминированных альтернатив будут вложенными в модели композиций состояний на разных РМ.

Заметим, что последовательности таких альтернативных детерминированных ветвлений (в том числе вложенные) соответствуют одному возможному альтернативному плану — создания, модернизации, конверсии и других видов функционирования СТС в соответствии с планами функционирования.

Совокупность последовательностей — структурированное в виде дерева альтернатив множество возможных планов функционирования.

Каждая последовательность задана ветвлениями — детерминированными альтернативами (соответствующими альтернативным способам ОП и, соответственно, альтернативным планам).

Эту последовательность детерминированных альтернатив следует отличать от вероятностных ветвлений при реализации плана, как последовательности возможных действий среды в результате выбранных (возможно, вложенных) детерминированных альтернатив.

Вероятностные результаты реализации плана могут представлять собой ветвления в результате возможных воздействий среды при реализации ТлОп на одном РМ и (или) комбинированные ветвления в результате воздействия среды во время выполнения ТлОп одновременно, на нескольких РМ.

Модель возможных событий и состояний в результате функционирования, в виде вероятностных ветвлений, соответствует заданному альтернативному плану, полученному как ветвь дерева альтернатив.

Тем самым дерево возможных — в результате действий среды — состояний и переходов (дерево переходов) соответствует одной ветви дерева (детерминированных) состояний при реализации альтернатив и переходов в виде задания альтернатив (дерева альтернатив).

При решении задачи оценивания потенциала потенциал оценивается для заданного плана функционирования СТС, т. е. используется одна ветвь дерева альтернатив. Эту ветвь можно рассматривать как проекцию дерева переходов для заданной ветви альтернатив, т. е. для заданного плана.

Ветвь дерева переходов следует рассматривать как реализацию последовательности состояний при функционировании СТС по заданному плану, соответствующему ветви дерева альтернатив.

Соответствующие ветвям деревьев альтернатив деревья переходов могут быть объединены в комплексное дерево, описывающее как детерминированные альтернативы, так и вероятностные ветвления в деревьях переходов. В этом случае ветви этого дерева рассматриваются в качестве реализации как детерминированных, так и вероятностных ветвлений в последовательностях.

Другой способ композиции — для уменьшения сложности моделей, каждая ветвь дерева альтернатив может быть сопоставлена дереву переходов.

В этом случае каждой ветви дерева (детерминированных) альтернатив соответствует дерево (вероятностных) переходов.

При этом в первом варианте — при первом варианте композиции моделей — уменьшается число рассматриваемых подветвей деревьев переходов (поскольку часть таких ветвей пересекается для разных ветвей деревьев альтернатив). Во втором варианте композиции деревья получаются менее сложными.

Возможно создание композиций деревьев, объединяющих лучшие свойства обоих представлений — например, благодаря введению отношения идентичности последовательностей и отношений доминирования одних последовательностей другими.

Композиция подмоделей может быть описана отображениями моделей разных видов.

Рассмотрим такое отображение на примере отображения (безальтернативных) деревьев переходов — для которых план задан и не меняется — в альтернативные деревья, где имеются альтернативные ветвления.

Такое отображение соответствует переходу от модели задачи оценивания к модели задач анализа и синтеза благодаря исследованию альтернатив функционирования СТС.

Альтернативы функционирования получают за счёт выполнения комплексов действий по реализации альтернатив.

Действия по реализации альтернатив представляют собой последовательности информационных и неинформационных технологических действий, объединённые в симплексы — симплекс реализации альтернативы или альтернативный симплекс. Например, ТИО подготовки модернизации РМ, ТНИО модернизации, ТИО проверки модернизированного РМ.

Сочетания таких симплексов и создают комплексную альтернативу. Соответственно, моделирование комплексных альтернатив реализуется в виде возможных последовательностей альтернативных симплексов.

Результат реализации каждого из альтернативных симплексов — отображение элементов РМ в новое состояние, из которого ТлОп выполняются по-другому, чем до реализации альтернативного симплекса.

Соответственно, в модели последовательности состояний при реализации функционирования альтернативный симплекс ведёт к новым ветвям дерева состояний и переходов при функционировании начиная с реализации альтернативы. Поэтому моделировать комплексы альтернатив возможно как отображения деревьев реализации функционирований.

Альтернативные симплексы могут выполняться до или во время целевого функционирования. В первом случае отображения в новые состояния не связывают с исполнением ТлОп, новые состояния планируются (в будущем). Во втором после реализации альтернативного симплекса может быть выполнен (новый) переход в дереве реализации функционирований, а затем, возможно, другой альтернативный симплекс.

Для отображения состояний дерева состояний и переходов в результате функционирования (в результате реализации альтернативного симплекса) следует выполнить теоретико-графовую операцию разделения состояний.

Эта операция меняет состояния по окончании проверочной ТИО того (тех) симплексов, которые предшествуют выполнению симплексов, подвергающихся альтернированию.

Для указания на такие (альтернируемые) симплексы следует использовать модели связи симплексов.

При альтернировании меняются состояния готовности к выполнению альтернируемой ТлОп и способ её реализации.

В модели состояний и переходов в результате реализации функционирования эти изменения проявляются как разделение состояния по окончании симплекса на несколько альтернативных состояний.

Между этими состояниями и следует ввести переход, который ранее в модели не отражался, поскольку она была безальтернативной и в описании реализации альтернативы не было необходимости.

На модели альтернатив следует отразить «старую» альтернативу (ранее не отражённую), для реализации которой не нужно реализовать альтернирование, а достаточно выполнить ТИО, и новую альтернативу.

Альтернируемый переход между состояниями соответствует назначению нового состояния готовности и способа реализации последующей (последующих) ТлОп путём выдачи новых предписаний на их выполнение.

Альтернируемые переходы могут моделироваться комплексной моделью с моделями состояний и переходов при реализации функционирования (т. е. как часть комплексного дерева) или отдельной моделью реализации альтернатив, но так, чтобы между моделью реализации альтернатив и моделью реализации функционирования было установлено соответствие по состояниям готовности.

Такое соответствие, например, может быть установлено отдельной теоретико-графовой моделью, устанавливающей отношения идентичности

между состояниями, для каждой из ветвей дерева альтернативных состояний и состояниями готовности к реализации ТлОп на модели состояний и переходов при функционировании СТС.

В дереве альтернатив каждой ветви соответствует комплекс альтернатив, соответствующий тому или иному плану функционирования (с учётом конверсий, модернизаций и других функционирований).

Следует различать разные получающиеся альтернативные деревья, поскольку комплексам альтернативных способов соответствуют разные планы функционирования, выбираемые на разных этапах планирования разными ТИО. Такой выбор возможен из-за использования разных информационных технологий и разных методик решения различных задач.

Потенциал СТС в работе рассчитывается по такому поддереву дерева с альтернативными вершинами, что все рёбра поддерева относятся к одному комплексу планов функционирования, зафиксированному до начала функционирования, но, возможно, для разных условий среды, т. е. для одной ветви дерева альтернатив, но для дерева (множества ветвей) возможных переходов, соответствующего этой одной ветви дерева альтернатив.

Такой расчёт может быть реализован, например, путём построения отдельного дерева возможных переходов — в разных условиях среды — для каждой из комплексных альтернатив (каждого комплексного плана).

В этом случае модель реализации возможного плана представляется деревом переходов (достаточным для расчёта потенциала), а совокупность возможных планов комплексным деревом альтернатив, таким, что альтернативные подветви соответствуют реализации одной из комплексных детерминированных альтернатив (одного из комплексных планов).

В дальнейшем могут быть исследованы другие комплексные операционные свойства, в том числе — описывающие поддерева альтернатив.

Деревья альтернатив могут быть порождены разными методами и на разных уровнях учёта альтернативности — например, с учётом альтернативности технологий, состава элементов.

За счет этого сохраняется особенность, состоящая в том, что такие альтернативы — детерминированные, а решения о них принимаются человеком с использованием той или иной ИТ и моделей для решения соответствующих задач. Деревья состояний и переходов при реализации функционирования (по заданному комплексному плану) могут порождаться разными методами на разном уровне учёта возможностей. Возможности могут рассматриваться как недетерминированные.

Один из простейших методов порождения возможных реализаций — порождение с использованием комбинатора (вложенные вероятностные деревья состояний, полученные при выполнении ТлОп одновременно на разных РМ).

В этом случае, как было указано, строится дерево всех возможных комбинаций ТОП, реализуемых на параллельных РМ в различных условиях среды, а затем оценивается каждая из комбинаций.

В случае детерминированных альтернатив, реализуемых на параллельных РМ, на этапе планирования рассматриваются детерминированные альтернативные планы, а возможные реализации заданных планов на РМ учитывают возможные окончания ТлОп в результате возможных воздействий среды.

Соответствие между поддеревом возможных комбинаций состояний (каждой его ветвью) при функционировании на нескольких РМ и деревом состояний и переходов в результате функционирования может задаваться благодаря композиции обходов на этих деревьях.

Совокупность различных последовательностей состояний, которые могут проявиться как в результате назначения (выбора) детерминированных альтернатив, так и в результате реализации вероятностных возможностей как на одном, так и на нескольких РМ, назовём комплексными ветвлениями.

Модель комплексного ветвления в виде дерева будем называть деревом комплексных ветвлений (деревом ветвлений). Дерево комплексных ветвлений может содержать последовательности ветвлений вероятностного вида (вероятностных комбинаций состояний РМ, вероятностных ветвлений состояний РМ в результате действий среды), последовательности детерминированных альтернативных ветвлений (комбинаций детерминированных ветвлений на нескольких РМ, детерминированных ветвлений морфологической и функциональной структуры РМ, способов реализации ТлОп на РМ), может содержать комбинации ветвлений (последовательности комбинаций, комбинации, одновременно реализуемые на разных РМ).

Выстраивание такого комплексного дерева возможно разными методами в разном виде — например, как последовательность альтернативных ветвей и последующие вероятностные ветви в составе поддеревьев вероятностных ветвлений, соответствующих каждому альтернативному ветвлению, или в виде комплексного дерева. Возможно представление такого комплексного дерева в виде вложенных деревьев состояний — например, в ветвь, соответствующую комплексной альтернативе, вкладывается дерево вероятностных ветвлений. Подобное вложение реализуется и было описано ранее при моделировании вероятностных ветвлений на нескольких РМ, на которых параллельно выполняются ТлОп.

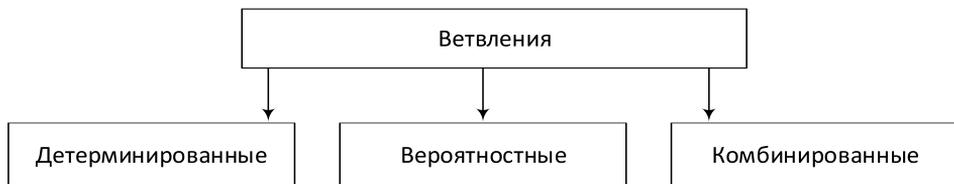


Рисунок 82. Виды ветвлений



Рисунок 83. Виды детерминированных альтернатив

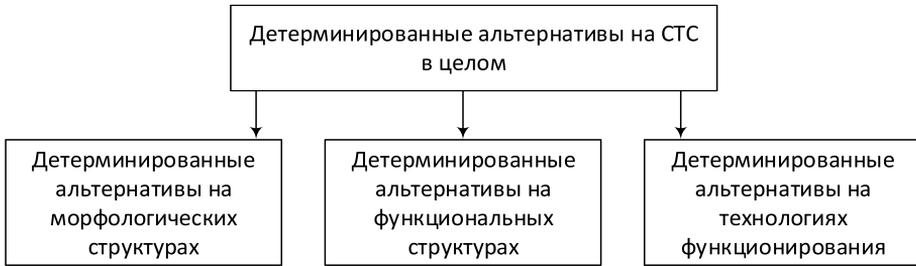


Рисунок 84. Детерминированные альтернативы на СТС в целом

Методы моделирования комплексных ветвлений при функционировании СТС опираются на следующие классификационные схемы формирования ветвлений при функционировании. В результате комплексного описания ветвлений — в виде, например, вложенных состояний — на одном дереве (например, комбинаторе) фиксируется последовательность, соответствующая указанию, например, заданных предписаний (для детерминированных ветвлений). На другом, вложенном дереве, может быть указана, например, последовательность и комбинации событий для вероятностных ветвлений в допустимом порядке. Указание альтернативных ветвлений возможно реализовать путём указания номера варианта в обходе. Это даёт возможность затем восстанавливать обход по номеру. Каждой возможной последовательности детерминированных альтернатив (плану, комплексному плану), возможно, включающему комбинированные — например, вложенные — решения, соответствует ветвь в описываемом дереве альтернативных ветвлений. Она может быть далее раскрыта с использованием вложения или с использованием ассоциирования с последующей моделью. Как вложение, так и ассоциирование графов понимается как общий случай отображения или соответствия.



Рисунок 85. Виды вероятностных ветвлений



Рисунок 86. Виды комплексных ветвлений

Так, ветви в дереве альтернатив соответствует — ассоциировано, вложено — дерево возможных состояний и переходов в результате функцио-

нирования по заданному плану (модель реализации функционирования для соответствующего возможного плана).

Кроме указанного соответствия состояний, обеспечиваемого построением деревьев ветвлений разных видов, возможны дополнительные ограничения на состав предписаний (детерминированных альтернатив) при построении деревьев ветвлений. Например, не все комбинации предписаний допустимы или не все комбинации предписаний следует рассматривать, поскольку некоторые из них заведомо неоптимальные.

Эта особенность может быть использована при построении деревьев ветвлений путём удаления недопустимых, доминируемых, неоптимальных комбинаций детерминированных ветвлений, а затем сокращения возможных вероятностных ветвлений, что может существенно упростить решение задач исследований. Для отражения недопустимых, доминируемых, неоптимальных альтернатив между альтернативами могут быть установлены отношения порядка. Эти отношения могут быть переданы с использованием дуг, ассоциированных с деревьями ветвлений путём *установления соответствий упорядочения (отображений, описывающих отношения значений показателей)*. Деревья ветвлений разных видов могут быть использованы для определения и оценивания потенциала технологии других операционных свойств.

Рассмотрим детерминированные альтернативы при изменении морфологической и (или) функциональной структуры системы, технологии функционирования (ГлОп и их характеристик).

Их изменения проявляются через изменения соответствующих ОП (ОП ТИО, ОП ТНИО), вызванных изменениями структуры и технологий. При этом такие изменения ОП, в отличие от изменений ОП, рассматриваемых при учёте изменений среды при функционировании СТС, отличаются тем, что они реализуются до начала функционирования системы по достижению (изменяющейся) цели — до изменённого целевого функционирования — или до затронутого этими мероприятиями целевого функционирования. Эти изменения носят характер мероприятий по совершенствованию (например, модернизационных, инновационных мероприятий), поэтому их и следует осуществить до последующих мероприятий целевого функционирования.

В результате следует рассмотреть деревья детерминированных альтернатив, каждому из которых соответствует реализация одной из возможных последовательностей — возможно, вложенных, выполняемых на разных РМ — ОП, в том числе в случае проявления воздействий со стороны среды — переходных (или конверсионных) ОП. Тем самым вероятностные ветвления исследуются при функционировании и при условии выбора детерминированных альтернатив до функционирования. В будущем возможно рассмотрение вероятностных альтернатив, в том числе связанных с воздействиями среды до начала функционирования и реализацией соответствующих мероприятий (например, модернизационных). Полученные результаты должны, в частности, позволить оценить модернизационный потенциал СТС.

Последовательности конверсионных ОП при функционировании моделируются аналогично тому, как моделируется комплекс ОП и его возможные результаты для случая, когда реализуется заданный план функционирования СТС. Так, комплекс переходных (конверсионных) ОП может включать

вложенные комплексы ОП, может описываться возможными реализациями функционирования в различных условиях среды.

Эти последовательности переходных ОП (и соответствующие им возможные реализации функционирования по совершенствованию СТС и её функционирования) ведут к изменениям системы, технологии, ОП за счёт выполнения переходных (конверсионных) функционирований разного вида при функционировании — в результате возможных воздействий со стороны среды.

Эти возможные переходные функционирования формируют соответствующие поддерева возможных состояний и переходов при переходных функционированиях и деревья состояний и переходов при функционировании в целом.

Затем, на основе полученных деревьев альтернатив — до начала функционирования — и соответствующих каждой из ветвей деревьев альтернатив деревьям состояний и переходов, в том числе в результате переходных процессов, следует решить задачу синтеза планов функционирования в изменяющейся среде. Планы описываются последовательностями — возможно, вложенными — альтернативных ветвлений. Соответственно, каждая из задач планирования решается для поиска лучшей ветви дерева детерминированных альтернатив до начала функционирования (подготовки СТС к функционированию).

По результатам решения задач следует выбрать ту ветку дерева альтернатив, которая обеспечивает наилучший потенциал за счёт реализации соответствующих планов переходных процессов при функционировании.

При этом из-за специфики свойства потенциала переходные процессы при функционировании (конверсии) должны быть оптимальными для того, чтобы обеспечивались оптимальные планы подготовки СТС к функционированию в соответствии с той или иной альтернативной ветвью.

Тем самым решение задач планирования по показателю потенциала оказывается разбитым на комплексы оптимизационных задач.

Границы решаемых задач определены по началу функционирования СТС после реализации той или иной ветки дерева альтернатив для подготовки СТС к функционированию в изменяющихся условиях среды.

При учёте взаимодействий системы и среды (т. е. тогда, когда не только среда ведёт к изменениям функционирования СТС, но и наоборот) следует указать совместную структуризацию ОП как при функционировании, так и при совершенствовании СТС и расширить описание задач исследования потенциала. В этом случае альтернативные ветвления до начала функционирования могут моделироваться как комплексные, вероятностные и детерминированные ветвления. Последовательности ОП как вероятностные ветвления в результате воздействий среды могут осуществляться в этом случае как до, так и во время функционирования, причём ОП совершенствования, функционирования системы и действия среды могут зависеть друг от друга.

Такая зависимость может моделироваться деревом ветвлений — альтернативных и возможных — при реализации ОП СТС и действий среды СТС. Затем следует выбрать те последовательности (ветви) детерминированных альтернатив и вызванных ими возможных переходов, которые обеспечи-

вают лучший потенциал СТС. Такие модели ветвлений должны позволить сформулировать новые задачи исследований как формальные задачи оценивания, анализа и синтеза по показателю потенциала СТС в различных условиях, а затем сформулировать эти задачи как задачи моделирования и решить с использованием, например, методов исследования операций и математического программирования. В результате использования предложенных методов построения моделей функционирования СТС, в частности — методов моделирования альтернатив в виде деревьев альтернативных ветвлений и методов моделирования вероятных ветвлений в виде деревьев возможных состояний и переходов, проявляется ряд особенностей методов решения задач анализа и синтеза, вытекающих из структуризации альтернатив с использованием предложенных методов моделирования. Эти особенности методов решения задач структурированы на рисунке (рисунок 87).

Во-первых, модели структурированы так, что вычисления с использованием этих моделей («вычисления на моделях») реализуются таким образом, что каждое последующее состояние вычислений на дереве определяется (зависит от) только предшествующим состоянием вычислений (говорят: «состояния вычислений сериализованы»). Эта особенность связана с особенностями построения дерева состояний и переходов в результате концептуализации — так, что последовательности состояний и переходов не совпадают.

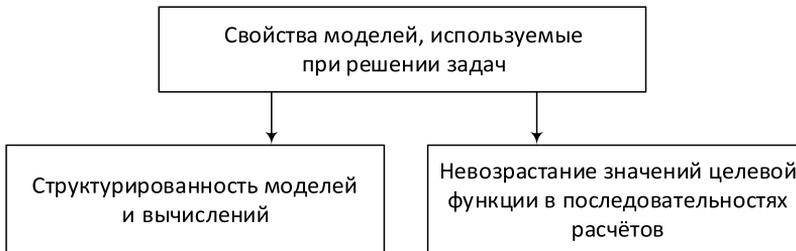


Рисунок 87. Свойства моделей, используемые при решении задач

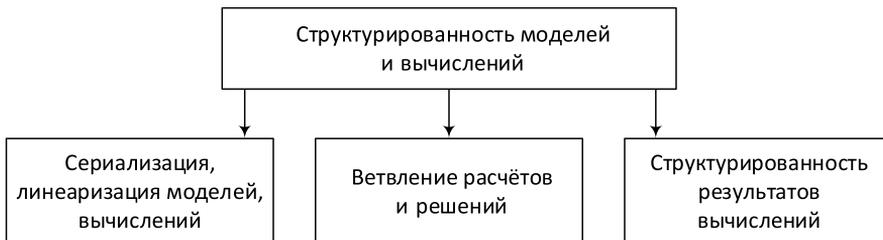


Рисунок 88. Схема структурирования моделей и вычислений

В связи с этой же особенностью расчёты повторяют возможные последовательности альтернатив состояний системы при функционировании, в соответствии с заданной последовательностью реализации альтернативных ветвлений по способам действий СТС — с заданной ветвью дерева альтернативных ветвлений — и по (способам) действиям среды СТС. На

дереве возможных состояний и переходов и альтернативных деревьях ветвлений сериализация используется совместно с обходами — сетей ТлОп, ациклического графа, дерева — и может приводить в результате к линейаризации вычислений и к построению деревьев вычислений. В результате при выполнении цепочек вычислений возможно, в ряде случаев, запоминать лишь текущее состояние и характеристики ещё не пройденных состояний, а пройденные состояния возможно отбросить (сериализация функциональных и программных моделей).

Во-вторых, вычисления структурированы той же моделью альтернативных состояний и альтернативных переходов так, что если какая-либо начальная последовательность вычислений — общая для расчётов значений целевой функции с какими-либо другими расчётами значений целевой функции, то в повторном расчёте этой части нет необходимости. Это свойство связано со структурой дерева состояний и переходов, с использованием которого реализуются вычисления и сериализируются вычисления (*структурированность результатов* вычислений). Может принимать вид сепарабельности.

В-третьих, решение задачи разбивается на последовательность частных решений, каждое из которых описывается ветвью дерева альтернативных состояний и переходов. Каждой ветви альтернативных состояний и переходов из корня в какую-либо невисячую вершину соответствуют последовательность уже принятых частных решений выбора альтернатив и возможные последовательности последующих альтернативных ветвлений (*свойство декомпозируемости* решений на частные последовательности). Возможные решения удобно структурировать в деревья альтернативных решений.

В-четвёртых, рассчитываемые значения целевой функции носят характер вложенных вероятностных смесей — интегральных сумм произведений вероятностей, принимающих значение от 0 до 1. У таких функций есть ряд особенностей, позволяющих установить верхнюю и нижнюю оценки её значений на множестве возможных альтернатив (частных и комплексных).

Это свойство может быть названо *свойством невозрастания значений* целевой функции в последовательностях расчётов. Например, если частично достигнутое значение показателя потенциала — для заданной ветви — равно P_i , то финальный показатель — для любой ветви, продолжающей заданную ветвь — не превзойдёт P_i . Если известна оценка \bar{P}_{i^*} показателя сверху для последующих возможных частных решений с номерами i^* , то показатель W_i не превысит оценки $P_i \bar{P}_{i^*}$. Для реализации методов оптимизации предложено использовать указанные особенности моделей. В результате становится возможным использовать свойства функциональных и программных моделей при реализации ряда частных методов оптимизации, опирающихся на вскрытые особенности функциональных моделей.

Структуризация вычислений — например, сериализация, структурированность результатов, ветвление расчётов и промежуточных решений — уже позволяет добиться сокращения вычислений. Для использования особенностей, вызванных структуризацией моделей и вычислений, разработан ряд методов оптимизации. Они делятся на методы, основанные на случайном поиске, методы последовательного поиска решений, эвристические методы. Так, в частности, разработан метод случайного поиска с сохранением

(части) промежуточных состояний, поиск с отсеиванием неоптимальных альтернатив и комбинированный *случайный поиск с сохранением и отсеиванием неоптимальных альтернатив*.

Если промежуточные результаты вычислений показателя потенциала сохранены, то при расчёте любого следующего решения из области допустимых значений часть уже рассчитанных частично достигнутых значений целевой функции нет необходимости пересчитывать. Эта особенность моделей позволяет усовершенствовать методы случайного поиска, реализовав случайный поиск с сохранением промежуточных результатов.

Отсеивание неоптимальных альтернатив реализуется методом, аналогичным методу ветвей и границ. Метод опирается на свойство невозрастания значения целевой функции. Оценивание возможных значений показателей — на основе показателей частичного достижения целей. Если значение частного показателя — показателя частичного достижения цели — рассчитано, то эта уже рассчитанная часть показателя даёт оценку сверху для значения показателя операционных свойств, соответствующего ветке в целом. Такая оценка позволяет, зафиксировав альтернативную ветвь дерева альтернативных решений (и соответствующее сечение по всем веткам, рассчитываемым при оценке потенциала, таких, что для них уже получено значение показателя частичного достижения цели), оценить значение показателя потенциала «сверху» (то значение, больше которого уже не может быть получено).

Эта особенность моделей позволяет использовать методы ветвей и границ при решении задач оптимизации.

В своей совокупности эти два метода позволяют реализовать комбинированный *случайный поиск с сохранением и отсеиванием неоптимальных альтернатив*. Метод случайного поиска с сохранением промежуточных результатов проиллюстрирован ниже (рисунок 89).

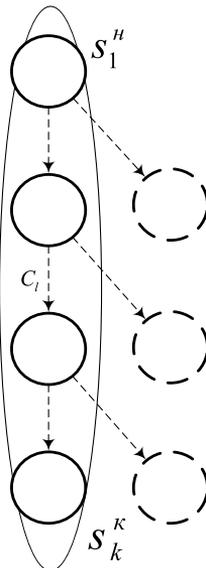


Рисунок 89. Вычисления характеристик

Вычисления характеристик состояний в последовательности c_i из s_1^H в s_k^k с сохранением промежуточных результатов в состояниях между s_1^H и s_k^k дают возможность не вычислять значения характеристик уже рассчитанных единожды состояний, если эти характеристики были сохранены. Состояния с сохранёнными характеристиками (показаны полужирной линией на рисунке) могут быть использованы как уже пройденные (рассчитанные) для веток дерева, выходящих из вершин дерева, соответствующих этим рассчитанным состояниям, но ещё не рассчитанных до конца (показаны вершинами с прерывистой границей). При этом значение показателя частичного достижения цели $P^H(s_m)$, полученное для s_m , $m < k$ для m -й вершины в последовательности c_i , является оценкой сверху для значений показателей частичного достижения цели для вершин, лежащих на всех ветках $C_i(s_m)$, исходящих из m -й вершины, поскольку значения последующих вероятностей не превышают 1. Это даёт возможность ввести оценку показателя достижения целей сверху. Оценивание нижних границ возможных значений показателей частичного достижения целей проиллюстрировано на рисунке 90.

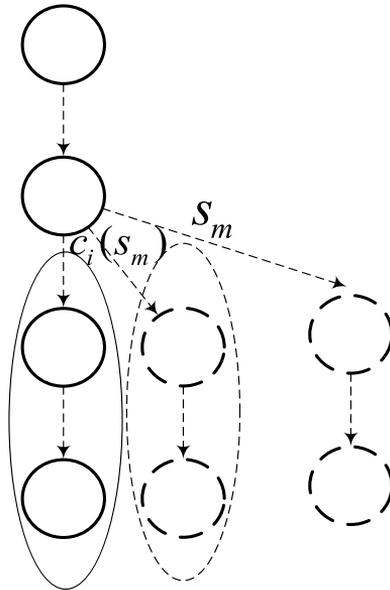


Рисунок 90. Оценивание нижних границ оценок

Для оценивания следует установить отношения равенства или доминирования между последовательностями состояний. Пусть, например, на совокупности $c_i(s_m)$ установлено отношение равенства характеристик для состояний ветвей, заданное между двумя ветвями из $c_i(s_m)$, т. е. двумя ветвями, исходящими из m -й вершины. На рисунке эти ветви переданы овалами. При этом значение показателя частичного достижения цели для одной из веток рассчитано и может быть представлено как $P_m = P^H(s_m) \prod_{\{i < k\}} P^H(s_{m,i})$. Тогда для второй, нерассчитанной ещё ветки, для которой установлено отношение равенства характеристик, P_m примет то же значение. Этот факт, который пе-

редаётся отношением равенства, передан состояниями, описанными непрерывной линией вершины одной толщины (другие вершины описаны прерывистой линией). Пусть теперь установлено отношение доминирования между двумя ветвями из $c_i(s_m)$. Обозначим их $c_1(s_m)$ и $c_2(s_m)$. Отношение доминирования между первой и второй ветками означает, что характеристики первой ветви доминируют вторую (лучше второй по значению показателя частичного достижения цели). Тогда $P_1 > P_2$ (рисунок 90).

Использование полученных оценок даёт возможность отсекал перспективные решения как при использовании методов направленного случайного поиска с отсекаем перспективных вариантов, так и при использовании, например, метода ветвей и границ.

Если получена часть решения задачи в виде последовательности (оптимальных) значений переменных, то оптимальное решение, включающее заданное частичное оптимальное решение, должно быть образовано объединением заданного оптимального частичного решения с какими-либо последующими частичными оптимальными решениями.

Эта особенность моделей позволяет использовать при решении задач метод динамического программирования.

Получение оптимального решения как последовательности частных оптимальных решений проиллюстрировано ниже.

Ветвь с переходами $s_1, s_2, s_3 \dots (c_i(s_l))$, переданными дугами в виде сплошной линии, — оптимальная. Все её подветви также оптимальны, а остальные подветви $c_i(s_l)$, начинающиеся в вершинах s_1, s_2, s_3 , т. е. остальные ветви, кроме оптимальной, на том или ином этапе получения последовательностей оптимальных решений были отброшены (рисунок 91). Синтетические методы объединяют несколько методов оптимизации с использованием особенностей построенных теоретико-графовых моделей.

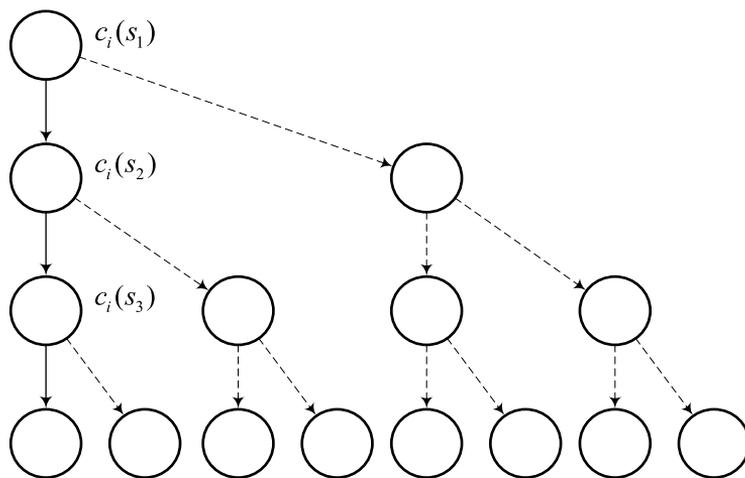


Рисунок 91. Иллюстрация возможности использования динамического программирования

К ним, например, относится метод случайного поиска с отсекаем перспективных решений (областей решений) и с сохранением промежуточ-

ных результатов. Метод случайного поиска с отсечением неперспективных областей и хранением промежуточных результатов проиллюстрирован на рисунке 92.

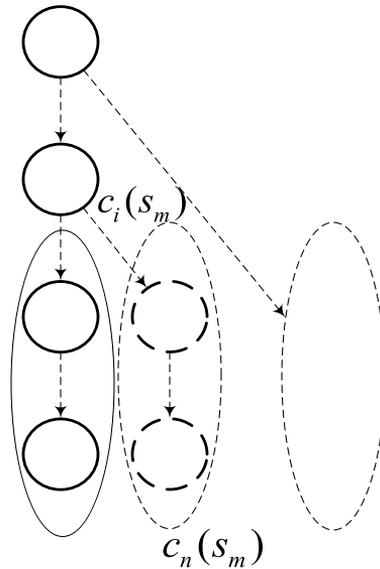


Рисунок 92. Иллюстрация отсечения неперспективных областей

Случайным образом выбирается номер n ветви от 1 до N .

Определяется часть ветви c_n до состояния s_m , уже рассчитанная и сохранённая на предыдущих шагах алгоритма. Затем, если для подветви c_n от s_m до висячей вершины имеются альтернативные ветви, подозреваемые на доминирование, т. е. ветви, которые альтернативны — могут быть выбраны как альтернатива рассматриваемой в результате эксперимента и могут оказаться лучше рассматриваемой, — все они рассматриваются на наличие доминирующих альтернатив. Если таковая или таковые, доминирующие заданную, альтернативы найдены, то ветвь отбрасывается из множества кандидатов на оптимальность, и новый номер ветви — из числа оставшихся $N - 1$ — генерируется снова для продолжения поиска. В противном случае ветвь считается далее — и снова определяется, имеется (имеются ли) доминирующие ветви. Затем цикл повторяется. Если ветвь в результате рассчитана полностью, до последней вершины (висячей), и у неё нет доминирующих её ветвей, то она принимается за локально оптимальную и затем назначается доминирующей для всех рассмотренных при расчёте на доминирование ветвей-кандидатов.

Включение ветвей в список кандидатов на доминирование с другими ветвями определяется исходя из особенностей детерминированного ветвления, при реализации методов построения и преобразования моделей. В случае если списков доминирования не определено, алгоритм приобретёт вид случайного поиска без отсечения. На множестве альтернатив c_n в ряде случаев возможно определить комплекс маршрутов между «кандидатами на

доминирование», используя особенности структуры дерева. Эти маршруты задаются с использованием отношений между подозреваемыми кандидатами на доминирование. С использованием последовательностей «кандидатов на доминирование» возможно реализовать сочетание алгоритмов случайного поиска — с отсечением неперспективных вариантов — с известными алгоритмами роевой оптимизации (например, муравьиным алгоритмом). При этом маршруты посещения частиц роя предлагается реализовать по отношениям возможного доминирования разного вида, определяемым при построении и анализе моделей последовательностей состояний и переходов.

3.5.2. Метод направленного случайного поиска с сохранением промежуточных результатов и отсечением неперспективных вариантов

При применении метода случайного поиска было обнаружено, что объём вычислений можно значительно сократить, если модифицировать метод случайного поиска и осуществлять поиск частично направленно, пользуясь особенностями разработанных моделей.

Схема предлагаемого алгоритма фрагментарно контролируемого случайного поиска приведена ниже. В правой нижней части схемы выделена модифицированная часть алгоритма, алгоритм фрагментарно контролируемого случайного поиска (обычный алгоритм — по академику Расстригину [231]).

При этом используются разработанные модели для *пересчёта характеристик эффектов* при смене плана, а также модели *множества выбора*. Метод позволяет, в зависимости от особенностей исходных данных, сократить время решения задачи планирования в несколько раз. Это несколько увеличивает объём машинной памяти, необходимой для решения задачи планирования [39, 232–234]. В методе фрагментарно контролируемого случайного поиска используются особенности множества выбора, проиллюстрированные в верхней части рисунка 93.

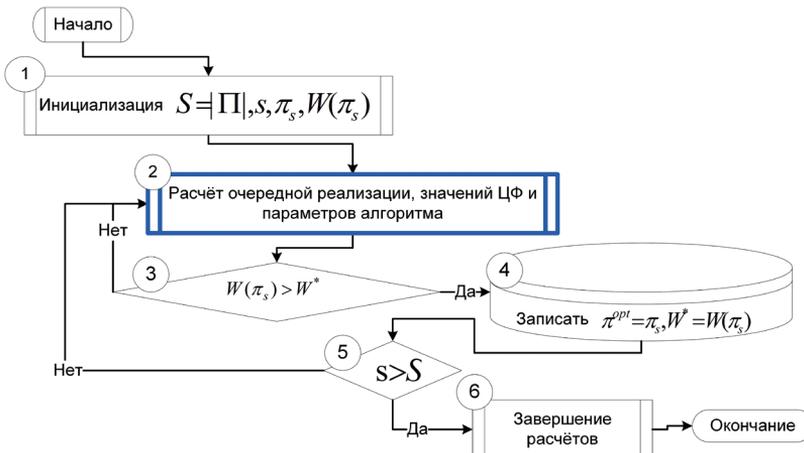


Рисунок 93. Схема алгоритма случайного поиска. Основная часть

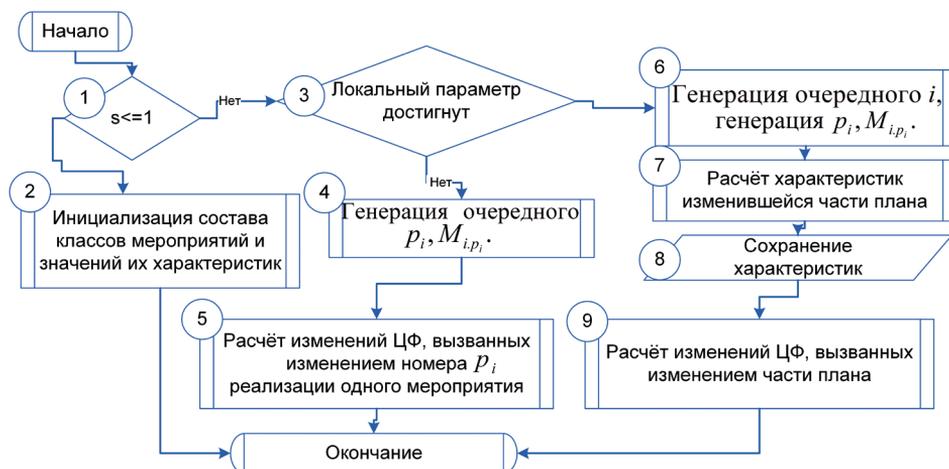


Рисунок 94. Схема алгоритма случайного поиска. Метод контролируемого случайного поиска с фрагментарным сохранением результатов

Анализ функционирования разработанного программного комплекса решения задачи с использованием фрагментарно контролируемого случайного поиска показал, что он позволяет сократить время решения задачи не менее чем в 3 раза, но при этом затраты оперативной памяти возрастают на 50 %.

ГЛАВА 4

МЕТОДИКИ И ТЕХНОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОЦЕНИВАНИЯ, АНАЛИЗА ПОТЕНЦИАЛА СТС И ОБОСНОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОТЕНЦИАЛА СТС

4.1. Структура типовой методики оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС

Типовая методика исследования потенциала СТС (оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС) использует полученные теоретические результаты — концепцию и методологию — для получения решений частных задач. А именно — специфика задач исследования потенциала состоит в том, что частные задачи: характеризуются необходимостью разработки обширного комплекса новых моделей функционирования в изменяющихся условиях, таких, что эти модели основываются на общих моделях теории потенциала; характеризуются необходимостью разработки новых методов использования частных моделей, основанных на общих методах теории потенциала. Особенность разрабатываемых для применения в составе методик моделей и методов в том, что эти модели и методы приспособлены к особенностям решаемых частных задач, которые необходимо учитывать в связи с учётом изменяющихся условий функционирования по всему спектру возможных изменений. В связи с этим предложено методики исследования потенциала СТС представить в виде двух основных частей:

- методик перехода от общих моделей и методов к частным, учитывающим особенности практических задач;
- методик решения практических задач, полученных с использованием разработанных частных моделей и методов исследования потенциала.

В результате используются уже разработанные для решения общих задач исследования потенциала модели, методы моделирования и методы решения задач, отличающиеся общими особенностями, характерными для решения задач исследования потенциала. На основе уже разработанных моделей и методов строятся отличающиеся частными особенностями модели, методы моделирования и методы решения задач. Схема такого использования методик показана ниже (рисунок 95, рисунок 96).

В результате сбора и исследования особенностей исходных данных и специфики — описания особенностей, деталей — решаемой прикладной задачи (оценивания, анализа, синтеза):

1. Выполняют подготовку исходных данных для решения задачи.

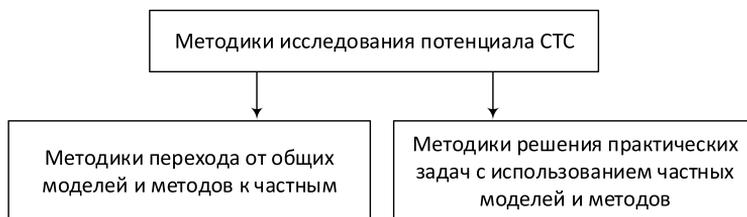


Рисунок 95. Виды методик исследования потенциала СТС



Рисунок 96. Порядок применения методики

2. Уточняют общие модели задачи и её решения, получая частные модели задачи и её решения.

3. Уточняют общие методы решения задачи, получая частные модели задачи и её решения.

4. Разрабатывают частную постановку задачи и частную модель решения задачи на основе частных моделей задачи и частных методов её решения.

5. Получают ответ на вопрос частной задачи (решение задачи).

6. Интерпретируют решение частной задачи для использования на практике.

Затем исследование может быть продолжено с уточнённым составом и особенностями исходных данных, изменённым видом решаемой задачи — оценивания, анализа, синтеза — и уточнёнными описаниями особенностей, деталей решаемой задачи. Исследование — решение задач оценивания, анализа, синтеза — продолжают до получения удовлетворительных ответов на

вопросы задач. Последовательности уточнения задачи, изменения вида решаемой задачи проиллюстрированы на схеме ниже (рисунок 97).

Типовая методика перехода от общих моделей и методов к частным включает описания общих (базовых) моделей и методов их использования, а также частных моделей и методов (терминальных в решаемой задаче).

Типовая методика решения практических задач включает применяемые последовательно:

- 1) сбор и подготовку исходных данных;
- 2) построение, отображение моделей;
- 3) применение методов моделирования и решения задачи;
- 4) получение решения;
- 5) интерпретацию результатов решения задачи.

Предполагается, что постановка задачи и построение (уточнение) частных моделей и методов выполнены.



Рисунок 97. Последовательность уточнения



Рисунок 98. Последовательность действий при реализации методики

Если это не так, то строятся:

- 1) комплекс частных концептуальных и математических моделей, построенных с использованием методики перехода от общих моделей и методов к частным;

- 2) комплекс частных методов использования моделей;
- 3) постановка решаемой частной практической задачи;
- 4) описание интерпретации результатов решения математической задачи для практики.

Модели, построенные для решения примера задачи, приведены в **приложении М**. Ряд примеров решения опубликован в [44, 50, 235], а также в [236, 237].

Примеры методик решения прикладных задач исследования потенциала приведены в [238–241] (методики комплексного исследования риска и потенциала систем), [139, 232, 234] (методики исследования потенциала при реализации программы модернизации), [242] (исследование потенциала и конкурентоспособности), а также в более чем 30 НИР и ОКР, посвящённых разработке прикладных методик решения практических задач совершенствования функционирования систем, выполненных с участием автора.

4.2. Основы технологий решения задач исследования потенциала СТС

Для реализации описанных моделей, методов и алгоритмов предложено *использовать комплекс технологий, языков, соответствующих им моделей и методов моделирования и программирования.*

Такой комплекс необходим для построения концептуальных, затем диаграмматических моделей, затем функциональных моделей, программных моделей и выполнения расчётов на их основе, а затем — для интерпретации результатов решения задачи и их презентации лицам, принимающим решения.

Реализация исследователем непосредственно программной модели, расчётов на её основе и интерпретации результатов без разработки предшествующих моделей нецелесообразна ввиду сложности разрабатываемой программы, возможности внесения ошибок, сложностей интерпретации результатов решения задачи без сопоставления результатов с моделями.

В состав комплекса входят:

1. Концептуальная составляющая. Она включает: диаграмматическую составляющую, теоретико-графовую и помеченную (параметрическую теоретико-графовую) составляющие.

2. Функциональная составляющая. Она включает: алгоритмическую составляющую, программную и расчётную составляющие, оптимизационную составляющую, презентационную составляющую, интеграционную составляющую, составляющую хранилища.

Интеграцию на текущем этапе предложено реализовать с использованием пула (стека) интернет-технологий. Это HTML, CSS, скриптовые языки, веб-браузеры. Такой способ даёт возможность использовать большое число широко распространённых и бесплатных инструментов, библиотек и технологий, создавать распределённые приложения. Так, диаграмматическая и теоретико-графовые составляющие отображаются с использованием HTML, CSS — используя присущую им поддержку «древовидной» структуры. Альтернативно возможно использовать ARIS, XML, GML, RDF, JSON и другие языки. Для создания модулей функциональных блоков алгоритма

предложено использовать Java Script, Java. Соответственно, функциональная составляющая может быть выполнена с использованием этих языков. Выбор указанных языков диктуется тем, что для них имеются обширные библиотеки, в том числе обработки и рисования графов, обходов графов, оптимизации, статистической обработки, машинного обучения. Альтернативно могут быть использованы ARIS, Python, Ruby и их библиотеки. Презентационная составляющая может быть реализована с использованием технологий и стандартов SVG, 3D, WebGL.

В качестве хранилища возможно использовать традиционные базы данных SQL и NOSQL, использующиеся при реализации интернет-технологий. Альтернативно — технологии графовых БД (HyperGraph DB, Neo4J) [212].

Для решения задач исследования потенциала систем разработан прототип программного комплекса решения задач исследования потенциала систем. Прототип создан с использованием JavaScript и HTML и представляет собой комплекс интерактивных веб-приложений. Программные приложения описаны в [44, 50, 190, 235, 237]. Алгоритм расчёта пометок вершин описан в **приложении О** к монографии. Ряд разработанных при создании технологий алгоритмов приведён в **приложении N** к монографии.

Рассмотрим решение задачи на *примере процедур подготовки исходных данных и интерпретации результатов решения задачи*. Фрагмент исходных данных о наименованиях, составе операций показан в таблице 3, данные об их возможных последовательностях — на рисунке 99.

Таблица 3. Наименования работ сети операций

ActionID	Name
1	Подключение П921А к ИА
2	Подключение П27АВ к ИА
3	Подключение К1853 к ИА
4	Подключение Л345Л к ИА
5	Автономные испытания П27АВ
6	Закладка ПЗ в П27АВ
7	Комплексные испытания П921А и П27АВ
8	Автономные испытания П921А
9	Заправка П921А и проверка на герметичность
10	Автономные испытания К1853
11	Комплексные испытания К1853 и Л345Л
12	Монтаж К1853
13	Автономные испытания Л345Л
14	Монтаж Л345Л
15	Заправка Л345Л ИГ1
16	Зарядка Л345Л
17	Калибровка подключения П921А и П27АВ
18	Комплексные испытания П921А, П27АВ, К1853
19	Зарядка К1853 ОЖД
20	Снятие трансп. предохранителей с П921А, П27АВ, К1853
21	Проверка напряжения на клеммах Л345Л

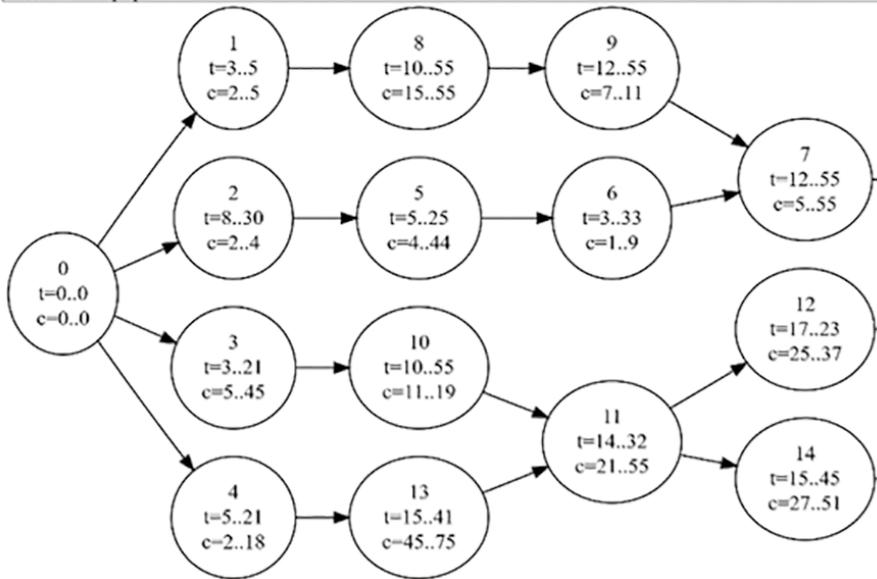
Фрагмент модели среды представлен на рисунке 100 в виде возможных последовательностей действий и в таблице параметров требований среды, заданных как функции возможных реализаций функционирования среды (таблица 4).

Строки, описывающие множество выбора параметров способов реализации технологических операций основных функционирований по достижению заданных целей, показаны в таблице 5.

▼ Входные данные: рёбра графа

[[0,1],[0,2],[0,3],[0,4],[2,5],[5,6],[6,7],[1,8],[8,9],[9,7],[3,10],[10,11],[11,12],[4,13],[13,11],[11,14],[14,15],[15,16],[7,17],[17,18],[12,19],[19,18],[19,16],[18,20],[16,21],[20,'f'],[21,'f']]

▼ Исходный граф



а)

б)

Рисунок 99. Фрагмент исходных данных о составе операций и их последовательностях

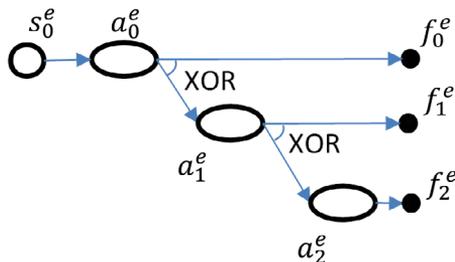


Рисунок 100. Пример модели действий среды в виде последовательностей альтернативных действий

Возможные характеристики способов действий переходных функционирований от достижения заданной цели к цели, её сменяющей, показаны в таблице 6.

Таблица 4. Параметры требований среды к результатам функционирования системы

T_z	Dem1	T_д	C_д	Dem2	T_д	C_д	Dem3	T_д	C_д
1	1	Null	Null	38	Null	Null	75	Null	Null
2	2	0	10	39	0	10	76	0	10
3	3	0	20	40	0	20	77	0	20
4	4	0	30	41	0	30	78	0	30
5	5	0	40	42	0	40	79	0	70
6	6	0	50	43	0	50	80	0	80
7	7	0	60	44	90	60	81	0	90
8	8	0	70	45	0	70	82	0	100
9	9	110	80	46	0	110	83	0	110
10	10	0	90	47	0	120	84	0	120
11	11	0	100	48	130	130	85	130	150
12	12	0	110	49	0	140	86	0	160
13	13	0	120	50	0	150	87	0	170
14	14	0	130	51	0	160	88	0	180
15	15	0	140	52	0	170	89	0	190
16	16	0	150	53	0	180	90	0	200
17	17	0	160	54	0	190	91	0	210
18	18	0	170	55	0	200	92	0	220

Соответствия возможных сетей достижения целей и номеров входящих в них операций показаны в таблице 7.

Соответствие реализаций функционирования среды в виде последовательностей переходов среды и выдвигаемых в результате номеров вариантов требований к СТС показано в таблице 8.

Таблица 5. Фрагмент таблицы, описывающей множество выбора

AmodelD	ParTa	ParTb	ParCa	ParCb
a_mi	t_a	t_b	c_a	c_b
1	3.00	5.00	2.00	5.00
2	2.00	3.00	5.00	9.00
3	1.00	2.00	12.00	21.00
1	8.00	30.00	2.00	4.00
2	6.00	25.00	3.00	4.00
3	5.00	25.00	7.00	21.00
4	4.00	16.00	21.00	55.00
1	3.00	21.00	5.00	45.00
2	5.00	21.00	21.00	55.00
3	1.00	21.00	21.00	45.00
4	1.00	10.00	35.00	55.00
1	5.00	21.00	2.00	18.00
2	3.00	18.00	5.00	21.00
3	2.00	16.00	10.00	25.00
4	1.00	14.00	13.00	29.00
NULL	5.00	25.00	4.00	44.00

Случайные моменты T_j времени смены расчётных интервалов («сетка») подобраны так, что в каждый из моментов T_j либо меняется структура возможных состояний — из-за конечности интервалов времени реализации действий средой, либо момент делит на части интервал неизменности структуры состояний (и в нём может поменяться состояние, при сохранении структуры состояний). Горизонт планирования T^H задан, $\sum_{i \in \overline{1:l}} T_i^{el} \leq T^H$, где T_i^{el} — левая граница интервала времени выполнения i -го действия a_i^e .

В результате каждой полной ветви $C_b^e \in \text{Tr}$ дерева Tr действий среды сопоставляется список возможных последовательностей $\langle c_{bnij}^e \rangle^{fb}$ ячеек, содержащих состояния c_i^e . Содержащие c_i^e ячейки задаются номерами b , n и интервалами из последовательных моментов T_j . Эти состояния ведут к актуализации системой заданной цели в момент времени, заданный ячейкой (левой границей), при условии актуализации предыдущих состояний в моменты, соответствующие предыдущим ячейкам.

Таблица 6. Возможные характеристики способов действий переходных функционирований

a_vi	a_vmi	t_a	t_b	c_a	c_b
1	1	2.00	3.00	1.00	2.00
	2	1.00	2.00	2.00	3.00
	3	1.00	2.00	2.00	3.00
2	1	4.00	21.00	1.00	2.00
	2	4.00	12.00	1.00	2.00
	3	3.00	12.00	1.00	4.00
	4	3.00	9.00	1.00	3.00
3	1	3.00	7.00	1.00	4.00
	2	2.00	4.00	2.00	5.00
	3	1.00	3.00	3.00	7.00
	4	1.00	4.00	4.00	6.00
4	1	3.00	13.00	1.00	2.00
	2	2.00	12.00	1.00	3.00
	3	1.00	11.00	1.00	4.00
	4	1.00	10.00	1.00	5.00
5	NULL	3.00	18.00	1.00	10.00
6	1	2.00	12.00	1.00	4.00
	2	1.00	15.00	1.00	15.00

Таблица 7. Соответствие возможных сетей и номеров операций

V_i	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7
1	1	1	26	1	1
2	2	2	27	2	2
3	3	25	25	25	3
4	4	4	4	4	4
5	5	5	28	5	5
...
33	NULL	NULL	NULL	37	37

Таблица 8. Переходы состояний среды и соответствующие им номера требований

T_z	C_p, C_q	G_n, G_m	$Dem1$	$Dem2$	$Dem3$
1	$C1, C2$	$G1, G2$	1	38	75
2	$C1, C2$	$G1, G2$	2	39	76
3	$C1, C2$	$G1, G2$	3	40	77
...
37	$C1, C2$	$G1, G2$	37	74	111

Смена i -го номера c_{bnj}^e соответствует переходу между состояниями среды. Для последующих расчётов необходима совокупность C^e возможных последовательностей C_{bn}^e ячеек c_{bnj}^e для всех полных ветвей $C_b^e \in Tr$ дерева Tr . Одной ветви C_b соответствует несколько C_{bn} , полученных перестановками моментов переходов по ячейкам. Эти совокупности задают таблицу состояний и переходов среды, пример которой представлен в таблице 9.

В моменты $[T_j, T_{j+1}]$ возможны — составные, комплексные — состояния системы, определяемые соответствующими сечениями сетей операций. Для их описания использована комплексная таблица состояний системы и среды (таблица 10), конструируемая на основе таблицы 9 и таблицы сечений текущей сети технологических операций. Последняя состоит из строк $\langle c_{i1}^s, \dots, c_{iv}^s, \dots, c_{iV}^s \rangle$, где i — номер прерываемой сети, $i1 \dots iv \dots iV$ — номера её сечений. Конструирование заключается в порождении комплексного индекса. Последовательности порождаются в зависимости от того, с какого состояния среды — соответствующего номеру ячейки, переданному в примере номером-адресом A_{jp} — и какого сечения функционирования — списков номеров работ сечений, переданных векторами $\langle c_{iu}^s \rangle$ — каких сетей (N_{in}^v, N_{in}^g в примере) начинаются последовательности возможных переходов, т. е. от составного ключа в таблице 10. Окончание последовательностей сетей передаётся символом NULL в соответствующих ячейках. Соответствие между цепочкой состояний среды, целью СТС и списком требований задаётся моделью M_{If} информационной операции. В примере она представляет собой отображение, заданное таблично, — таблицу If^e реализации отображения состояний среды и системы в требования и задания последующего функционирования. Ей же задаётся задание на выполнение технологических операций для достижения целей и требования.

Таблица 9. Пример представления возможных последовательностей состояний среды

№	$\langle c_i^e \rangle^{fb} / T_j$	T_0	T_1	T_2	...	T_j	...
1	$\langle c_0^e \rangle^{f_1}$	c_0^e	c_0^e	c_0^e	...	c_0^e	...
...
n	$\langle c_0^e, c_1^e, c_2^e \rangle^{f_3}$	c_0^e	c_1^e	c_2^e	...	c_2^e	...
...

Таблица 10. Состояния и переходы в зависимости от сечений и моментов времени

№	$\langle c_n^s \rangle / T_m$	N_{in}^v	N_{in}^g	T_0	T_1	T_2	...	T_m	...
1	Null	Null	N_{00}^g	...	A_{jp}	...	...	...	...
...
...	$A_{jp}, \langle c_{i1}^s \rangle$	N_{in}^v	N_{in}^g	...	...	...	...	...	...
...

Результат выполнения информационной операции в примере задаётся в виде вектор-функции, описанной табличным соответствием фрагментов n -й строки $C_{bn}^e [c_{binj}^e]$: $\langle C_{bn}^e [c_{binj}^e], c_{iu}^s \rangle \rightarrow \langle D_i^g, N_i^v, N_i^g; i = \overline{1, C_1} \rangle$. Это отображение между подстроками $C_{bn}^e [c_{binj}^e] = \langle c_{bn11}^e \dots \dots c_{bnij}^e \rangle$ состояний среды до состояния c_{binj}^e в ячейке таблицы 1 и подстроками возможных состояний системы в заданные моменты смены состояния среды, подстроками требований и заданий вида $\langle J_{il}^g, D_i^g \rangle$: $D_i^g = \langle (D_{i1}, T_{i1}), \dots, (D_{ip}, T_{ip}) \rangle$. Здесь i — номер достигаемой цели, T_{ip} — моменты времени проверки соответствия эффектов функционирования требованиям в соответствии с целью. $J_{il}^g = \langle N_1^v, \dots, N_1^g \rangle$, где N_1^v — сеть «вспомогательных» операций, а N_1^g — сеть «целевых» операций.

В совокупности модели последовательностей состояний среды и реализуемых в результате требований среды к СТС (таблицы 9, 10), состояний системы и среды (таблица 9) и модель результата информационной операции (фрагмент в таблице 11) задают основные элементы структуры данных для расчёта потенциала СТС. Указанные отображения реализуются для всех возможных переходов в таблицах 9, 10 и для всех возможных сечений. В результате из таблиц 9 и 11 получают таблицу со всеми последовательностями состояний СТС, среды и возможностями их актуализации.

Таблица 11. Табличное представление результата информационной операции

$D_{11}(T_{11})$...	$D_{1m}(T_{1m})$	N_1^v	N_1^g	...	$D_{i1}(T_{k1})$...	$D_{ip}(T_{ip})$	N_i^v	N_i^g	...
------------------	-----	------------------	---------	---------	-----	------------------	-----	------------------	---------	---------	-----

Таблица 12. Таблица состояний альтернирования и возможностей их актуализации

m	A_{jp}	$\langle c_{zp}^s \rangle$	$\prod P_{pxij}^a$	P_{zp}^{as}	P_{xi}^{ae}	c_{00m}^e	...	c_{jim}^e	...
-----	----------	----------------------------	--------------------	---------------	---------------	-------------	-----	-------------	-----

m — номер текущей строки, p — номер предыдущей строки; A_{jp} — адрес предыдущей ячейки, в которой случился переход; $\langle c_{zp}^s \rangle$ — номер сечения сети, прерванной в соответствии со строкой p и записью в ячейке A_{jp} строки p . $\prod P_{pxij}^a$ — накопительная вероятность в последовательности прерываний A_{jp} . P_{zp}^{as} — вероятность актуализации сечения $\langle c_{zp}^s \rangle$. P_{xi}^{ae} — вероятность окончания последующих актуализаций. c_{jim}^e — состояния альтернирования (переходов) в строке m . Каждой ячейке — альтернированию с использованием модели информационной операции — например, в виде таблицы, задающей If^e — соответствует вложенная строка следующей структуры:

$$c_{jtm}^e \quad G_v \quad N_i^v \quad N_i^g \quad T_1 \quad C_1^d \quad V_1^d \quad \dots \quad T_n \quad C_n^d \quad V_n^d \quad W_1(T) \quad \dots \quad W_n(T)$$

Здесь G_v — описание цели, T_n, C_n^d, V_n^d — требования в соответствии с целью (директивный момент, директивные стоимости, директивный объём работ (список работ)). Требования используются для расчёта показателей $W_n(T)$ соответствия случайных значений эффектов требованиям в возможных условиях и в заданное время. Полученные значения записываются в ячейки полученной структуры таблиц мер возможности $\Omega(C^e, I f^e, T)$, вероятностей в байесовском смысле, и полностью задают потенциал системы. Частные показатели могут быть получены путём расчёта характеристик полученного многомерного распределения. Для решения задач исследования потенциала систем разработан макет программного комплекса. Макет создан с использованием JavaScript и HTML и представляет собой комплекс интерактивных веб-приложений. Приложения описаны в [115, 121, 128, 133, 135, 136, 153].

Расчёт характеристик потенциала системы с использованием разработанного макета программного комплекса проиллюстрирован на рисунках ниже, в виде примеров полученных зависимостей мер возможности для разных «срезов» распределения $\Omega(C^e, I f^e, T)$. На рисунке 101 показано число попаданий мер возможности реализаций функционирования в интервалы мер

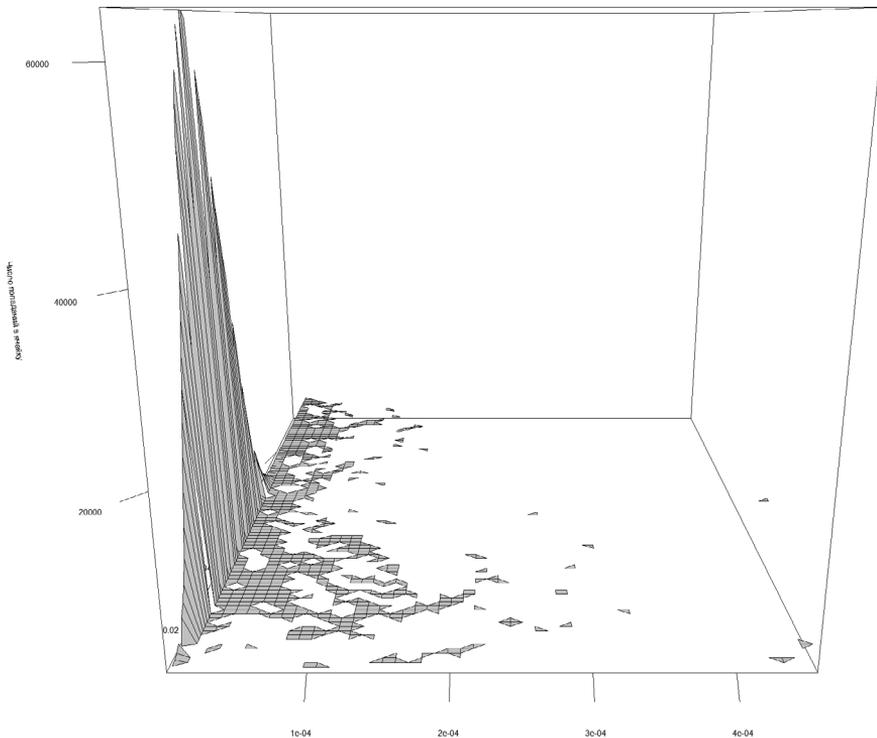


Рисунок 101. Зависимость числа реализаций от возможностей их актуализации и мер соответствия

возможностей актуализации и мер соответствия. Виден явно выраженный пик числа попаданий и «след» из редких случаев реализации. На рисунке 102 проиллюстрирована зависимость комплексной меры возможности реализации успешного функционирования от составляющих её частей для последовательностей переходов состояний среды длиной 1. Серым выделена основная часть точек графика. На рисунке 102 проиллюстрирована зависимость комплексной меры возможности реализаций функционирования от составляющих её частей для последовательностей переходов состояний среды длиной 1.

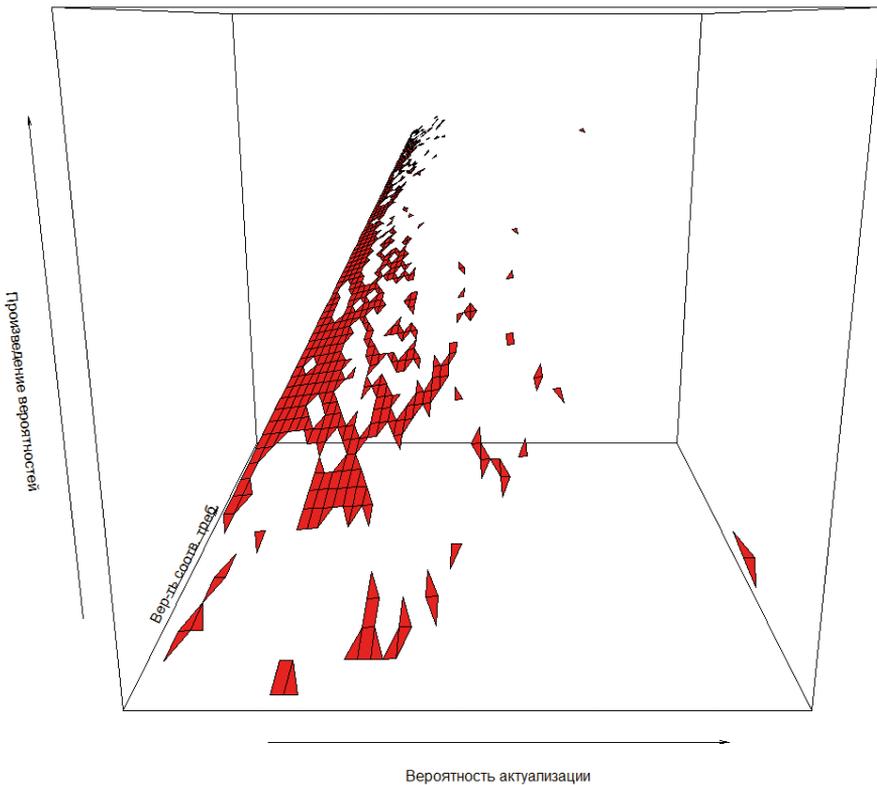


Рисунок 102. Зависимость комплексной меры от возможности актуализации и меры соответствия для последовательностей переходов длиной 1

На рисунке 103 проиллюстрирована зависимость комплексной меры возможности реализации успешного функционирования при условии актуализации возможных условий функционирования от составляющих её частей для последовательностей переходов состояний среды длиной 2. Темным выделены основные (частые) части точек графика. На рисунке 104 показана аппроксимированная (методом kriging) поверхность зависимости комплексной меры возможности реализации функционирования для последовательности переходов состояний среды длиной 2.

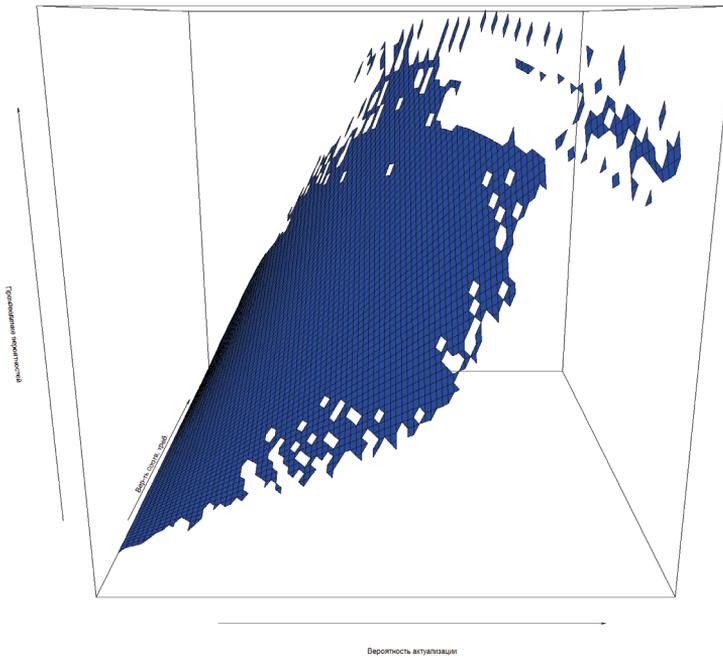


Рисунок 103. Зависимость комплексной меры от возможности актуализации и меры соответствия для последовательностей переходов между состояниями среды длиной 2

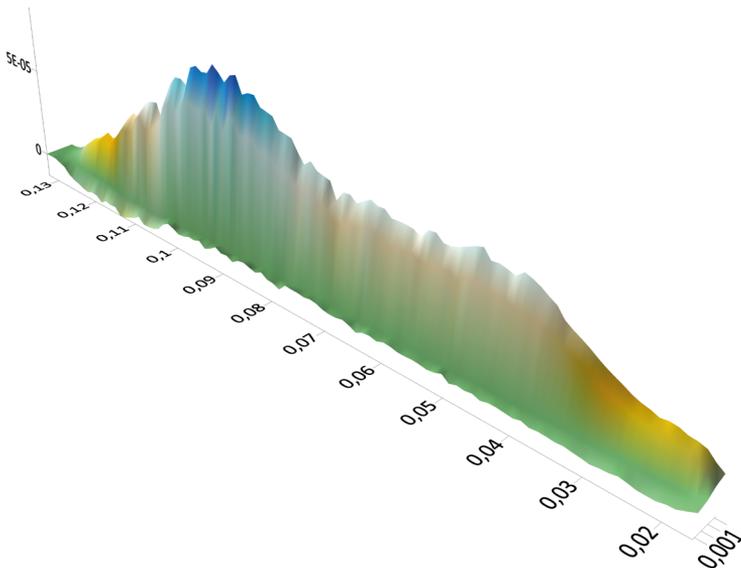


Рисунок 104. Аппроксимированная (kriging) поверхность зависимостей мер возможности для последовательностей переходов длиной 2

На рисунках 105, 106 — две различные реализации аппроксимирующей поверхности для двух расчётов последовательностей длиной 1. На рисунке 107 показана аппроксимированная поверхность (метод kriging) зависимости мер возможности для последовательностей переходов длины 3.

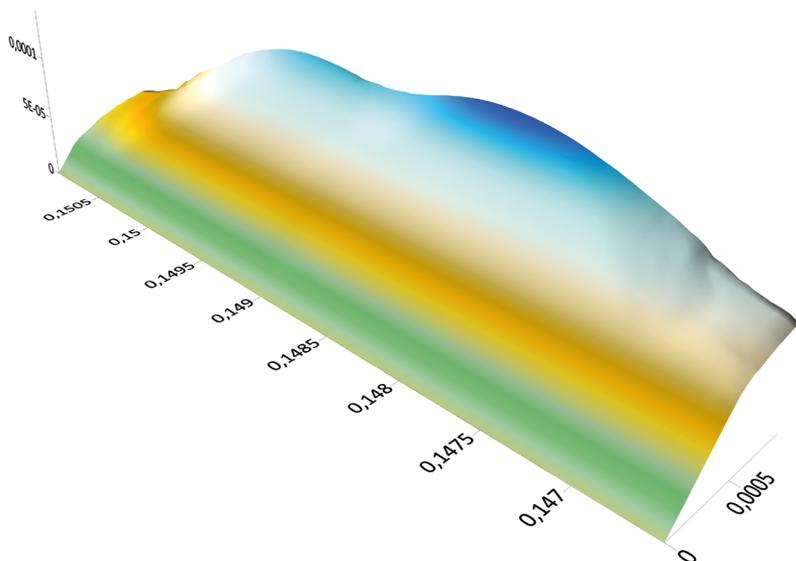


Рисунок 105. Аппроксимированная (kriging) поверхность зависимостей мер возможности для последовательностей переходов длиной 1 — первый вариант

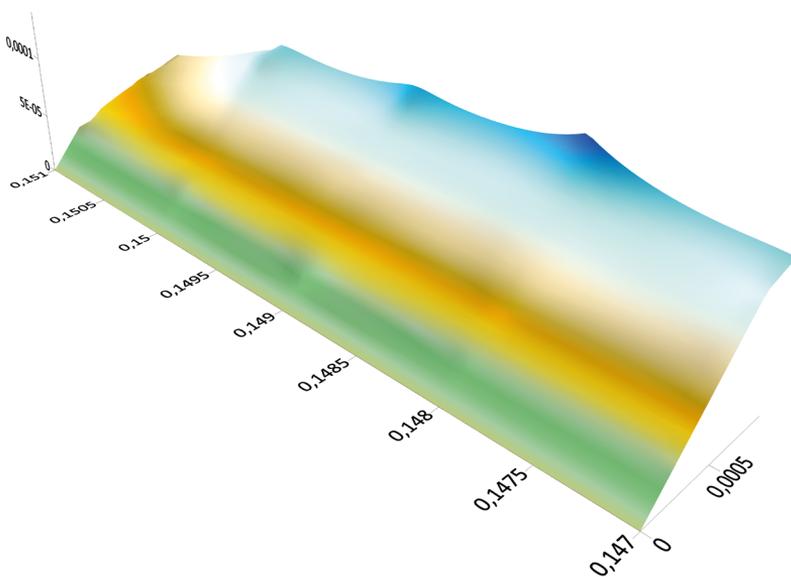


Рисунок 106. Аппроксимированная (kriging) поверхность зависимостей мер возможности для последовательностей переходов длиной 1 — второй вариант

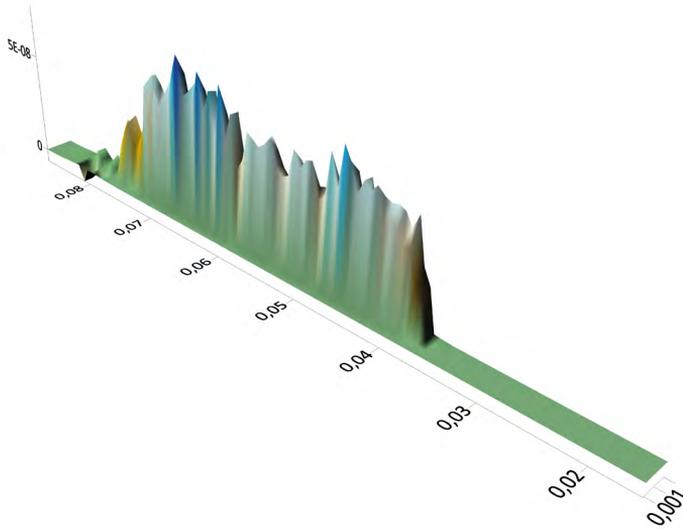


Рисунок 107. Аппроксимированная (kriging) поверхность зависимости мер возможности для последовательностей переходов длины 3

Примеры вариантов, рассчитываемых в приведённом примере исследования потенциала последовательностей сетей, сечений, переходных действий, приведены в **приложении Q**.

Примеры решений ряда прикладных задач исследования потенциала приведены в [138, 238, 241] (методики комплексного исследования риска и потенциала систем), [139, 232, 234] (методики исследования потенциала при реализации программы модернизации), [43, 243, 244] (исследование потенциала и конкурентоспособности, инвестиционных проектов), а также в более чем 30 НИР и ОКР, выполненных с участием автора монографии.

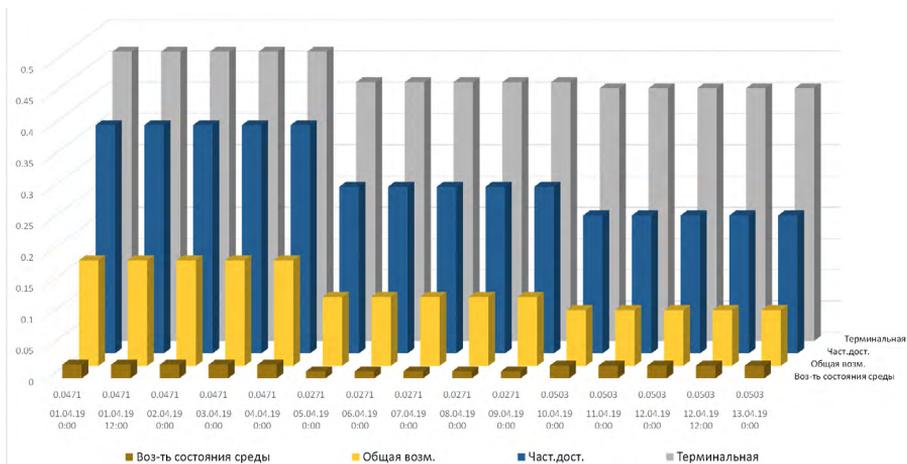


Рисунок 108. Изменение мер возможности соответствия эффектов функционирования системы требованиям среды во времени для одной из реализаций функционирования среды

Заключение

В монографии предложены основы концепции и основы методологии, позволяющие исследовать в комплексе:

- операционные свойства СТС с учётом возможных изменений среды СТС;

- проявляющиеся в результате изменений среды целенаправленные изменения СТС и её функционирования и соответствующие изменениям эффекты функционирования;

- реализуемые информационные действия и их эффекты, а затем и эффекты зависящих от них переходных действий;

- реализуемые переходные процессы к «новому» (реализованному в результате альтернирования исходного функционирования) функционированию и их эффекты, а затем — эффекты «нового» функционирования;

- меры соответствия изменяющихся эффектов изменяющимся требованиям к ним.

В процессе решения сформулированной проблемы получены *следующие новые научные результаты*, составляющие итоги исследования:

1. Концепция оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обеспечивающих требуемый потенциал СТС. В концепции развит понятийный аппарат теории эффективности и теории систем для учёта возможных альтернирований функционирования систем в результате изменений среды. Предложено новое свойство СТС — её потенциал, характеризующий такое функционирование. Описаны связи введённого нового свойства с уже изученными свойствами.

2. Метод разработки концепции и, на её основе, методы решения задач совершенствования СТС, функционирование которых изменяется в результате воздействий среды. Методы развивают логико-лингвистическую концепцию Г. Фреге на основе введения схем понятий. С использованием схем понятий связываются в комплекс: графы экспликации концептов понятий; графы экспликации схем понятий; графы экспликации теоретико-множественных форм понятий.

3. Комплекс моделей функционирования СТС в изменяющихся условиях, моделей среды СТС и их отношений, позволяющих решать задачи оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования соответствующих проектных решений. Модели позволяют описать аналитически возможные последовательности альтернативных сетей функционирования СТС в зависимости от состояний среды, СТС и их связей.

4. Методы оценивания, анализа потенциала сложных технических систем и обоснования соответствующих проектных решений. Методы используют предложенные новые модели семейств помеченных альтернативных стохастических сетей и учитывают их особенности для упрощения решения задач.

5. Технологии и методики решения прикладных задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС. С их помощью учитываются особенности функционирования СТС в изменяющихся условиях для принятия проектных решений.

Значение результатов, полученных в монографии, для экономического развития страны определяется тем, что в её рамках исследованы возможности повышения качества использования систем в изменяющихся условиях, которые не исследовались ранее в должной мере аналитически, с использованием математических моделей функционирования систем, с использованием информационных технологий.

Значение результатов, полученных в монографии, для техно- и инфосферы страны определяется тем, что полученные результаты позволяют улучшить качество цифровизации производства, экономики и общества на основе использования предиктивных и прескриптивных аналитических моделей функционирования систем и моделей использования информационных технологий в изменяющихся условиях.

Значение результатов, полученных в монографии, для совершенствования оборонного потенциала страны определяется тем, что в результате исследований возможно оценить оборонный, военный, промышленный потенциал аналитически и решать задачи совершенствования оборонного, военного, промышленного потенциала научно обоснованно, как математические задачи.

Полученные результаты, в частности, позволили улучшить экономические эффекты модернизации производственной базы, снизить затраты ресурсов, повысить экономическую обоснованность принимаемых проектных решений.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы включают использование полученных результатов для исследования цифровизации экономики, развития информационного общества, стратегического планирования, в том числе государственных целевых программ развития, совершенствования обороноспособности и безопасности государства, планирования устойчивого развития.

На основе полученных результатов *в дальнейшем планируется* развить теорию потенциала систем, исследовав: вычислительные аспекты теории потенциала (в том числе вычислительную сложность), методы эффективных вычислений при исследовании потенциала; модели, методы и методики решения частных задач теории потенциала; модели, методы и методики исследования результативности использования информационных технологий на основе теории потенциала; модели, методы и методики исследования цифровизации по отраслям деятельности на основе теории потенциала; модели, методы и методики исследования операционных свойств совершенствуемых систем; модели, методы и методики планирования проектов и бизнес-процессов в изменяющихся условиях; средства Process Mining для получения моделей функционирования по имеющимся данным, предиктивного и прескриптивного моделирования функционирования в изменяющихся условиях; средства Intentional Process Modelling для описания функционирований в изменяющихся условиях; средства основанной на знаниях поддержки моделирования и основанного на знаниях исследования потенциала систем; средства машинного обучения моделей, используемых для исследования потенциала; информационные технологии исследования потенциала.

Список литературы

1. Статистические методы в прикладной кибернетике / В.И. Городецкий, А.Я. Иоффе, Л.В. Морозов [и др.]. — Б. и., 1980. — 377 с.
2. Вероятностные методы в прикладной кибернетике / А.Я. Иоффе, Г.Б. Петухов, В.И. Марков, Р.М. Юсупов (ред.). — Б. и., 1976. — 424 с.
3. *Морозов, Л.М.* Методологические основы теории эффективности / Л.М. Морозов, Г.Б. Петухов, В.Н. Сидоров. — Л., 1982. — 238 с.
4. *Петухов, Г.Б.* Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремлённых систем / Г.Б. Петухов, В.И. Якунин. — М., Минск: АСТ, Харвест, 2006. — 504 с.
5. *Лысенко, И.В.* Анализ и синтез сложных технических систем / И.В. Лысенко. — СПб.: Наука, 1995. — 367 с.
6. *Флейшман, Б.С.* Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем / Б.С. Флейшман. — М.: Советское радио, 1971.
7. *Цвиркун, А.Д.* Моделирование развития крупномасштабных систем / А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфеев, М.М. Соловьёв. — М.: Экономика, 1983.
8. *Sandkuhl, K.* Knowledge management in production networks: classification of knowledge reuse techniques / K. Sandkuhl, A.V. Smirnov. // SPIIRAS Proceedings. — 2018. — Vol. 56. — P. 5–33.
9. *Калинин, В.Н.* Теория систем и управления (структурно-математический подход) / В.Н. Калинин, Б.А. Резников. — Л.: ВИКИ, 1987. — 417 с.
10. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов [и др.]. — М.: Наука, 2006. — 408 с.
11. *Микони, С.В.* Квалитетрия моделей и полимодельных комплексов / С.В. Микони, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. — РАН, 2018. — 314 с.
12. *Голенко-Гинзбург, Д.И.* Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками / Д.И. Голенко-Гинзбург. — Воронеж: Научная книга, 2010.
13. Сценарное исследование проблем обеспечения общественной безопасности в условиях цифровизации / В.Л. Шульц, С.А. Бочкарев, В.В. Кульба [и др.]. — М.: Проспект, 2020. — 240 с.
14. *Овчинников, В.А.* Графы в задачах анализа и синтеза структур сложных систем / В.А. Овчинников. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 423 с.
15. *Никаноров, С.П.* Введение в аппарат ступеней множеств и его применение / С.П. Никаноров. — М., 2010. — 189 с.
16. *Хованов, Н.В.* Анализ и синтез показателей при информационном дефиците / Н.В. Хованов. — СПб.: изд-во СПбГУ, 2011. — 220 с.
17. *Menon, A.G.* Revisiting Dynamic Capability / A.G. Menon // IIMB Management Review. — March 2008. — Vol. 20. — № 1.
18. *Sugarman, B.* Dynamic Capability Seen through a Duality-Paradox Lens / B. Sugarman // Research in Organizational Change and Development: Emerald Group Publishing Limited, 2014. — P. 141–189.
19. *Kuklys, W.* Amartya Sen's capability approach: Theoretical insights and empirical applications / W. Kuklys. — Berlin: Springer, op. 2010.
20. *van de Wetering, R.* Enterprise Architecture Resources, Dynamic Capabilities, and their Pathways to Operational Value / R. van de Wetering // ICIS 2019 Proceedings. — P. 6.
21. *Aslaksen, E.W.* Designing complex systems / E.W. Aslaksen. — Boca Raton: CRC Press, 2009.

22. Оценивание социально-экономических потенциалов для аудита отраслевых и региональных стратегий развития / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Н.И. Нехорошкин, А.Д. Тремасов // Гос. аудит. Право. Экономика. — 2010. — № 5. — С. 47–55.

23. Гейда, А.С. Задачи исследования качества, потенциала социально-экономических систем, эффективности и риска при их функционировании / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Е.П. Силла // Региональная информатика — 2010. — СПб., 2011. — С. 127–149.

24. Гейда, А.С. Комплексное исследование качества, потенциала СТС, эффективности и риска при их реализации: концептуальные аспекты / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Е.П. Силла // Информация и космос. — 2011. — Т. 7. — С. 132–137.

25. Оценивание эффективности проектов в условиях неопределённости / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Е.П. Силла, З.З. Багаутдинов // Материалы II Международного форума «Форум от науки к бизнесу. Бизнес в развитии инновационной деятельности и инфраструктуры». Санкт-Петербург, 14–16 мая 2008 г. — С. 47–49.

26. Geida, A.S. Main Concepts and Principles for Information Technologies Operational Properties Research / A.S. Geida, I.V. Lysenko, R.M. Yusupov // SPIIRAS Proceedings. — 2015. — Vol. 5. — № 42. — P. 5.

27. Гейда, А.С. Исследование потенциала СТС в условиях риска / А.С. Гейда // Актуальные проблемы защиты и безопасности. 4–7 апреля 2011 г. Труды 14-й Российской НПК. — СПб.: НПО Специальных материалов, 2011. — С. 528–532.

28. Гейда, А.С. Оценивание эффектов функционирования организационно-технических систем: концепция автоматизации / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // Труды СПИИРАН [SPIIRAS Proceedings]. — 2009. — Т. 11. — С. 63–80.

29. Гейда, А.С. Модели и методы исследования потенциала экономических систем и эффективности реализуемых ими бизнес-процессов / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Санкт-Петербург, 3–6 апреля 2013 г.

30. Гейда, А.С. Оценивание показателей операционных свойств систем и процессов их функционирования / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // SPIIRAS Proceedings. — 2013. — Т. 25. — С. 317–337.

31. Гейда, А.С. Задачи исследования потенциала социально-экономических систем. Research problems of socio-economical systems capabilities / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // SPIIRAS Proceedings. — 2014. — Т. 0. — № 10. — С. 63–84.

32. Гейда, А.С. Исследование совершенства реализации федеральных целевых и государственных программ / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // Материалы XIV Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика — 2014». Санкт-Петербург, 29–31 октября 2014 г.

33. Гейда, А.С. Аналитическое прогнозное оценивание операционных свойств в ОПК и решение задач исследования предприятий ОПК по этим свойствам / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов // Материалы I научно-практической конференции «Вопросы экономического управления в оборонно-промышленном комплексе России». — М.: Издательский дом Connect, 2015.

34. Гейда, А.С. Исследование операционных свойств использования информационных технологий: понятия и принципы моделирования. Санкт-Петербургское общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления (СПОИСУ) / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов // Труды юбилейной XV Санкт-Петербургской конференции «Региональная информатика» (РИ-2016). Санкт-Петербург, 26–28 октября 2016 г.

35. Гейда, А.С. Концепты и принципы исследования потенциала систем и эффективности их функционирования в условиях риска / А.С. Гейда, Е.П. Силла // Информационные технологии в управлении ИТУ-2012.

36. *Гейда, А.С.* Информационно-аналитические технологии автоматизированного моделирования экономических систем и реализуемых ими бизнес-процессов / А.С. Гейда, О.А. Юсупова // Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Санкт-Петербург, 3–6 апреля 2013 г.

37. *Гейда, А.С.* (Geyda, A.S.). Задачи исследования операционных свойств совершенствуемых систем и процессов их функционирования: концептуальные аспекты / А.С. Гейда (A.S. Geyda), И.В. Лысенко (I.V. Lysenko) // Прикладная информатика (J. of Appl. Informatics). — 2017. — Т. 12. — С. 120–133.

38. *Гейда, А.С.* Планирование инновационной деятельности в условиях риска / А.С. Гейда // Труды VII Санкт-Петербургской межрегиональной конференции. — С. 317–323.

39. *Гейда, А.С.* Планирование инновационной деятельности в интересах создания приоритетных образцов изделий / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Е.В. Седлов // Современные проблемы науки и образования. — 2011. — Т. 5. — С. 1–7.

40. Новое в государственном управлении. Вып. 2 (175). Методы и модели информационно-аналитического обеспечения системного аудита использования национальных ресурсов и управления по результатам / Под ред. А.А. Пискунова. — Ростов-на-Дону: ЮРИФКА, 2008.

41. *Geyda, A.S.* Models and methods to estimate digitalization success predictively / A.S. Geyda; ed. by N.I. Yousoupova // Atlantis Highlights in Computer Sciences, 2019. — Workshop on computer science.

42. *Geyda, A.* Dynamic Capabilities Indicators Estimation of Information Technology Usage in Technological Systems / A. Geyda // Recent Research in Control Engineering and Decision Making: Springer International Publishing, 2019. — P. 379–395.

43. *Гейда, А.С.* Оценивание конкурентоспособности продукции и выпускающих её предприятий на основе исследования операционных свойств систем / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // Материалы ежегодной научно-практической конференции «Современные проблемы прикладной информатики». ФГБОУ СПбГЭУ, 21–23 мая 2014 г.

44. *Geyda, A.S.* Predictive Models Of Digitalization Effects And Indicators: Technological System Example / A.S. Geyda // IDIMT-2019 Innovation and Transformation in a Digital World 27th Interdisciplinary Information Management Talks. — Vien, Austria: Trauner Verlag, 2019. — P. 377–384.

45. *Geyda, A.S.* Models and Methods to Estimate Information System Use Efficiency Indicators Predictively / A.S. Geyda // Atlantis Highlights in Computer Sciences. — P. 27–33.

46. *Geyda, A.S.* The Complex of Models for System Capability Estimation with Regard to Information Technology Use / A.S. Geyda // AMCIS 2020 PROCEEDINGS. — P. 6.

47. *Geyda, A.S.* Information technologies usage models for efficiency of agile systems functioning improvement / A.S. Geyda, I.V. Lysenko // Journal of Physics: Conference Series. — 2018. — Vol. 1050.

48. *Гейда, А.С.* Исследование операционных свойств использования информационных технологий: понятия и принципы моделирования / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов // Региональная информатика и информационная безопасность — 2016. — С. 168–172.

49. *Geyda, A.S.* Sustainable development problem-solving as mathematical problems of innovation, digitalization, and organization / A.S. Geyda. — July 13–24, 2020.

50. *Geyda, A.S.* Information technology capability analytical research example / A.S. Geyda // IDIMT 2020: Digitalized Economy, Society and Information Management — 28th Interdisciplinary Information Management Talks, 2020. — P. 67–74.

51. Geyda, A.S. Conceptual and Formal Models of Information Technologies Use for Decisions Support in Technological Systems / A.S. Geyda // Intelligent Distributed Computing XIII: Springer International Publishing AG, 2019. — P. 423–429.
52. Недайвода, А.К. Технологические основы обеспечения качества ракетно-космической техники / А.К. Недайвода. — М.: Машиностроение, 1998. — 239 с.
53. Методологические основы проектирования ракетно-космических комплексов. Методология определения облика комплексов / Г.П. Бирюков, Б.К. Гранкин, В.В. Козлов, В.Н. Соловьёв. — СПб., 2002. — 395 с.
54. Бакаев, В.В. Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия / В.В. Бакаев, Е.В. Судов, В.А. Гомозов. — М.: Машиностроение-1, 2005. — 624 с.
55. Надежность и эффективность в технике. Том 3. Эффективность технических систем. Справочник в 10 томах / Под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова, ред. совет (пред.) В.С. Авдеевский. — М.: Машиностроение, 1988. — 328 с.
56. Надежность и эффективность в технике: Справочник. Т. 6: Экспериментальная отработка и испытания / Под ред. Р.С. Судакова, О.И. Тескина. — М.: Машиностроение, 1989. — 375 с.
57. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Межгосударственный стандарт. — М.: Издательство стандартов, 2012. — № ГОСТ 27.002-89.
58. ТС ВПК. Электронный аналитический фонд. — URL: <http://www.vpk.name>.
59. Вступительное слово на совещании о ходе выполнения гособоронзаказа для Военно-Морского Флота «Совещание о перспективах развития Военно-Морского Флота и ходе выполнения Государственной программы вооружения на 2011–2020 годы в части вооружения и военной техники для Военно-Морского Флота. Вступительное слово на совещании о ходе выполнения гособоронзаказа для Военно-Морского Флота. — URL: <http://www.kremlin.ru/events/president/news/18970>.
60. Комплексное исследование проблем ресурсного обеспечения (в том числе тылового обеспечения) боевой и мобилизационной готовности соединений и частей, переводимых на контрактный способ комплектования: Анализ организации и сбалансированности ресурсного обеспечения ФЦП за период её реализации / А.С. Гейда, Б.К. Гранкин, Е.П. Силла [и др.]. — СПб., 2007. — 424 с.
61. ТС ВПК. Электронный аналитический фонд. — URL: <http://www.vpk.ru/>.
62. Постановление Правительства Российской Федерации от 6 февраля 2019 г. № 85-6 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации “Развитие оборонно-промышленного комплекса”», 2019.
63. Лантратов, К. Военно-техническое переустройство / К. Лантратов // Коммерсантъ-Власть. — Т. 5. — № 759. — С. 26.
64. Брезгин, В.С. Методология программно-целевого планирования развития системы вооружения на современном этапе / В.С. Брезгин, А.И. Буравлев, В.М. Буренок. — М.: Граница, 2013. — 519 с.
65. Буренок, В.М. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения / В.М. Буренок, В.М. Ляпунов, В.И. Мудров. — М.: Граница, 2005. — 519 с.
66. Постановление Правительства РФ от 16 мая 2016 г. № 425-8 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Развитие оборонно-промышленного комплекса”».
67. Совещание по вопросам использования потенциала ОПК в производстве высокотехнологичной продукции гражданского назначения: Пресс-служба Президента РФ, 08.09.2016.
68. Садовский, В.Н. Основания общей теории систем / В.Н. Садовский. — М.: Наука, 1974. — 280 с.

69. Щедровицкий, Г.П. Два понятия системы / Г.П. Щедровицкий. — URL: <http://www.fondgp.ru/gp/biblio/rus/70>.

70. Лысенко, И.В. Анализ и синтез сложных технических систем / И.В. Лысенко. — 1995. — 263 с.

71. Managing firms' innovation capabilities through strategically aligning combinative IT and dynamic capabilities.

72. Revisiting Dynamic Capabilities through the lens of Complexity Theory, 2010.

73. Ильичев, А.В. Основы анализа эффективности и рисков целевых программ / А.В. Ильичев. — Москва: Научный мир, 2009. — 306 с.

74. Ильичев, А.В. Эффективность проектируемых элементов сложных систем / А.В. Ильичев. — М.: Высшая школа, 1982. — 280 с.

75. Исследования по общей теории систем / Под ред. В.Н. Садовского, Э.Г. Юдина. — М.: Прогресс, 1969. — 520 с.

76. Бордюжа, Н.Н. Военно-экономическое (техническое) сотрудничество — основа коллективной безопасности / Н.Н. Бордюжа. — М.: Федеральный справочник. ОПК России. Том 7, 2013. — С. 457–464.

77. Буренок, В.М. Методология обоснования перспектив развития средств вооруженной борьбы общего назначения (Methodology for substantiation of conventional weapons development prospects) / В.М. Буренок, Р.Н. Погребняк, А.П. Скотников. — М.: Машиностроение, 2010. — 366 с.

78. Буренок, В.М. Эволюция и перспективы программно-целевого планирования развития системы вооружения Российской Федерации / В.М. Буренок // Вооружение и экономика. — 2012. — № 4 (20). — С. 6–20.

79. К «цифре» готов? Оценка адаптивности высокотехнологичного комплекса России к реалиям цифровой экономики. Системная экономическая аналитика ОПК / Под ред. А.И. Агеева. — М.: ИНЭС, 2018. — 61 с.

80. Цифровая экономика и ОПК России. Сборник публикаций лауреатов Всероссийского конкурса «Аналитик ОПК России» № 1–2018 / Под ред. А.И. Агеева. — 2018. — 128 с.

81. Дронина, И. Электронное ГОЭЛРО для армии. Владимир Путин намерен сделать цифровую экономику основой системы обеспечения национальной безопасности России / И. Дронина // Независимое военное обозрение. — 05.02.2018. — С. 3–9.

82. Fehlmann, T. Computer Science and Digitalization / T. Fehlmann // Athens Journal of Sciences. — 2018. — Vol. 5. — № 3. — P. 247–260.

83. Model-Driven Design Using Business Patterns. — Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.

84. Тимофеева, О.И. Государственные программы: отличительные особенности / О.И. Тимофеева // ГосМенеджмент. Электронный журнал.

85. Райзберг, Б.А. Программно-целевое планирование и управление / Б.А. Райзберг, А.Г. Лобко. — М.: Инфра-М, 2002. — 428 с.

86. Кочкаров, Р.А. Целевые программы: инструментальная поддержка / Р.А. Кочкаров. — Москва: Экономика, 2007. — 1 с.

87. Лысенко, И.В. Оценка эффективности функционирования человеко-машинных систем: вероятностный подход (Efficiency estimation of man-machine systems: a probabilistic approach) / И.В. Лысенко (I. Lysenko) // SPIIRAS Proceedings. — 2014. — Т. 1. — № 1. — С. 49–64.

88. Петухов, Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов / Г.Б. Петухов. — Б.м.: Би., 1989. — 635 с.

89. Чистов, Л.М. Эффективность функционирования социально-экономической системы: обобщающий критериальный показатель / Л.М. Чистов, А.А. Эбрицкий // Общество. Среда. Развитие (Terza Humana). — 2007. — С. 1–14.

90. Чистов, Л.М. Теория эффективного управления социально-экономическими системами / Л.М. Чистов, А.А. Збрицкий. — СПб.: Астерион, 2005. — 575 с.
91. Лысенко, И.В. Оценивание качества технологических процессов: использование аппроксимирующих вероятностных моделей // Estimation of Relevance of Electronic Documents to Ontology in Information Management System / И.В. Лысенко // SPIIRAS Proceedings. — 2014. — Т. 1. — № 3. — С. 207–216.
92. Лысенко, И.В. Нечеткая оптимизация: новый подход к постановке и решению задач / И.В. Лысенко // SPIIRAS Proceedings. — 2014. — Т. 1. — № 2. — С. 90–118.
93. Эффективность функционирования и другие операционные свойства систем: задачи и метод оценивания / А.С. Гейда, А.А. Ашимов, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов // Труды СПИИРАН (SPIIRAS Proceedings). — 2018. — Т. 5. — С. 241–270.
94. Campbell, P.L. Measures of Effectiveness: An Annotated Bibliography / P.L. Campbell. — Albuquerque, NM, 2004.
95. Жук, С.Н. Оценка эффективности функционирования сложных систем по иерархической системе показателей (Evaluating the performance of complex systems on a hierarchical system of indices) / С.Н. Жук (S.N. Zhuk) // SPIIRAS Proceedings. — 2013, 2014. — Т. 3. — № 26. — С. 194–203.
96. Business performance management models based on the digital corporation's paradigm / S. Bruskin, A.N. Brezhneva, L.P. Dyakonova [and etc.] // European Research Studies Journal. — 2017. — Vol. 20. — P. 264–274.
97. Green, J.M. The Theory of MOEs / J.M. Green, B.W. Johnson // Информационные технологии в управлении (ИТУ-2012), 9–11 октября 2012 г. (в рамках 5-й Российской мультиконференции по проблемам управления). — Санкт-Петербург: ЦНИИ «Электроприбор», 2012.
98. Haberland, R. A Reference Architecture for Probabilistic Ontology Development / R. Haberland, P.C.G. da Costa, K.B. Laskey. — STIDS, 2013.
99. Zhu, J. Quantitative models for performance evaluation and benchmarking / J. Zhu. — Cham: Springer, 2014.
100. Методический аппарат измерения внешней социально-экономической эффективности развития инфокоммуникаций / Т.А. Кузовкова, Д.В. Кузовков, А.Д. Кузовков, О.И. Шаравова // Системы управления, связи и безопасности. — 2017. — Т. 4. — С. 112–165.
101. Жюльен, Ф. Трактат об эффективности / Ф. Жюльен. — М., СПб.: Университетская книга, 1999. — 235 с.
102. Табачков, Н.И. Повышение эффективности расходования бюджетных средств государственного оборонного заказа, направляемых на развитие оборонно-промышленного комплекса, разработку и поставку в Вооруженные Силы современных образцов вооружения и военной техники / Н.И. Табачков // Законодательное обеспечение государственной политики в области развития оборонно-промышленного комплекса в соответствии с целями и задачами реформирования Вооружённых Сил Российской Федерации. Аналитические материалы (АВ) Государственной Думы РФ.
103. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» (с изменениями на 5 декабря 2019 года), 31 марта 2017 г.
104. Ежегодное специализированное издание «Федеральный справочник. Оборонно-промышленный комплекс России». При участии Совета Федерации РФ, Государственной Думы РФ, ВПК РФ. — М., 2005 — н. в.
105. Мазур, И.И. Управление проектами / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро. — М.: Машиностроение, 2001. — 405 с.

106. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин [и др.]; под ред. И.А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985. — 608 с.

107. Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин. — СПб.: Политехника, 2000. — 325 с.

108. Юсупов, Р.М. Наука и национальная безопасность / Р.М. Юсупов. — СПб.: Наука, 2006. — 296 с.

109. Чеберко, И. Запуск спутников для ГЛОНАСС хотят отложить / И. Чеберко // «Известия», 19.07.2012.

110. Разработка базы данных для создания и использования унифицированных информационных моделей, строящихся для анализа эффективности реализации промышленных критических технологий в рамках ГПВ и планирования программных мероприятий, направленных на технологическую модернизацию / Н.Ф. Аверкиев, ответственный исполнитель (А.С. Гейда), Б.К. Гранкин [и др.]. — СПб., 2012.

111. Анализ международного опыта и возможных подходов к формированию методологического обеспечения контрактного аудита, разработка проекта стандарта контрактного аудита / А.С. Гейда, Б.К. Гранкин, В.В. Козлов [и др.]. — СПб., 2012.

112. Исследование проблем эффективности использования государственных средств на выполнение государственного оборонного заказа (ГОЗ) и подготовка научно-методических рекомендаций по совершенствованию нормативно-правового регулирования формирования и исполнения ГОЗ в условиях создания федеральной контрактной системы. Договор № 10/дб от 12 апреля 2012 г. / А.С. Гейда, Б.К. Гранкин, В.В. Козлов [и др.]. — СПб., 2012.

113. Разработка моделей, методов и информационно-аналитических технологий для автоматизированного решения задач исследования и повышения эффективности программных мероприятий для обеспечения разработки и производства приоритетных образцов вооружения, военной и специальной техники по направлению РКП. «Сопровождение ОПК — СПИИРАН» / А.С. Гейда, Б.К. Гранкин, В.В. Козлов [и др.]. — СПб., 2012.

114. Разработка методического обеспечения стратегического аудита / А.С. Гейда, Б.К. Гранкин, Е.П. Силла [и др.]. — СПб., 2007. — 120 с.

115. Разработка моделей, методов и информационно-аналитических технологий для автоматизированного решения задач исследования и повышения эффективности программных мероприятий для обеспечения разработки и производства приоритетных образцов вооружения, военной и специальной техники по направлению РКП. «Сопровождение ОПК — СПИИРАН» / А.С. Гейда, Б.К. Гранкин, Н.А. Филюшин [и др.]. — СПб., 2012.

116. Промышленная технология научно-технического сопровождения создания приоритетных образцов вооружения и военной техники. «Поляна — СПИИРАН» / А.С. Гейда, Б.К. Гранкин, Н.А. Филюшин [и др.]. — СПб., 2012.

117. Обоснование предложений по созданию системы стимулирования инновационной активности предприятий ОПК. Разработка предложений по созданию отраслевых инновационных центров для регулирования инновационной деятельности на предприятиях ОПК. Обоснование общих принципов и порядка действия системы стимулирования инновационной активности предприятий ОПК. «Инновация — СПИИРАН» / А.С. Гейда, Б.К. Гранкин, Н.А. Филюшин [и др.]. — СПб., 2012.

118. Разработка материалов эскизных проектов по модернизации и развитию ЦКЭР, РБД и ИСИО. Разработка и корректировка программных модулей СПО

ЦКЭР и РБД разработки СПИИРАН. Участие в автономных испытаниях абонентских комплектов ЦКЭР на КИПах в части обеспечения работы СПО серверной части / А.С. Гейда, Б.К. Гранкин, В.В. Козлов [и др.]. — СПб., 2017.

119. Гейда, А.С. Разработка методического обеспечения использования существующего прикладного программного обеспечения Счётной палаты РФ в интересах стратегического контроля и аудита. Рукописный ОНИР / А.С. Гейда, И.В. Лысенко. — СПб., 2008.

120. Разработка методических рекомендаций по оценке эффективности использования национальных ресурсов на мероприятия государственной поддержки предприятий ОПК, в целях обеспечения реализации ГПВ / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, В.В. Козлов [и др.]. — СПб., 2012.

121. Разработка методик оценивания безопасности и надёжности функционирования перспективных изделий РКТ при их экспериментальной отработке. Разработка методического обеспечения оценивания эффективности функционирования перспективных изделий РКТ и продления ресурса стендового оборудования. Разработка описаний и руководств оператора: программы оценивания технического состояния (ПрОТ) перспективных изделий РКТ для управления ЖЦ ОКС ЭБ РКП; программы оценивания безопасности (ПрОБ) перспективных изделий РКТ для управления ЖЦ ОКС ЭБ РКП; программы оценивания надёжности (ПрОН) перспективных изделий РКТ для управления ЖЦ ОКС ЭБ РКП / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Н.А. Филюшин [и др.]. — СПб., 2011.

122. Разработка предложений по нормативно-правовому, научно-методическому обеспечению внедрения современных методов разработки ВВСТ на основе совершенствования системы информирования разработчиков ВВСТ о сущности и содержания научных результатов, технических решений и технологических разработок, полученных при выполнении НИОКР в рамках ФЦП. «Реестр — СПИИРАН» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Н.А. Филюшин [и др.]. — СПб, 2012.

123. Исследование направлений деятельности государственных структур по поддержке предприятий ОПК при организации ВТС с иностранными государствами «ВТС 2020 — СПИИРАН» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Н.А. Филюшин [и др.]. — СПб., 2011.

124. Разработка научно-методического обеспечения, необходимого для постановки и решения основных задач оценки стоимости ЖЦ ПВН. «Внедрение-ИПИ — СПИИРАН» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, А.А. Шевченко [и др.]. — СПб., 2011.

125. Исследование проблем унификации технологических процессов, используемых для производства однотипных образцов ВВСТ, и разработка предложений по нормативно-правовому и организационно-методическому обеспечению внедрения типовых производств с целью оптимизации затрат на государственные капитальные вложения. «Стандарт» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, А.А. Шевченко [и др.]. — СПб., 2012.

126. Гейда, А.С. Комплексные исследования по созданию интегрированной системы информационно-аналитического обеспечения военно-экономического анализа и экспертиз мероприятий строительства, развития и содержания Вооружённых Сил Российской Федерации: Разработка системного проекта ИС ИАО. ОНИР, СПИИРАН, шифр «Интегра» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов. — СПб., 2001.

127. Гейда, А.С. Исследование проблем перехода к комплектованию воинских должностей преимущественно военнослужащими, проходящими военную службу по контракту: Военно-экономическое обоснование перехода к комплектованию по контракту. ОНИР СПИИРАН, шифр «Контрас» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов. — СПб., 2002.

128. Гейда, А.С. Военно-экономическое обоснование программных мероприятий Федеральной целевой программы перехода к комплектованию воинских долж-

ностей преимущественно военнослужащими, проходящими военную службу по контракту. ОНИР, СПИИРАН, шифр «Контрактник-РО-СПИИРАН» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов. — СПб., 2003.

129. Гейда, А.С. Комплексное исследование проблем ресурсного обеспечения (в том числе тылового обеспечения) боевой и мобилизационной готовности соединений и частей, переводимых на контрактный способ комплектования: Постановка задачи военно-экономического анализа и оценки ресурсного обеспечения боевой и мобилизационной готовности соединений и частей, переводимых на контрактный способ комплектования. Отчет о НИР / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов. — СПб., 2004.

130. Гейда, А.С. Разработка методического аппарата комплексной (межотраслевой) оптимизации сети военно-учебных заведений ВС РФ и других войск и перечней специальностей. ОНИР, СПИИРАН, шифр «Паритет» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов. — СПб., 2004.

131. Гейда, А.С. Разработка проекта концепции и функциональных схем управления военным образованием. Рукописный ОНИР, СПИИРАН, шифр «Управление» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов. — СПб., 2004.

132. Гейда, А.С. Разработка проекта порядка взаимодействия, структуры и штатной численности Минпромэнерго России и подведомственных федеральных агентств в военное время. ОНИР, СПИИРАН, шифр «МР-002» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов. — СПб., 2005.

133. Гейда, А.С. Разработка методического обеспечения стратегического аудита. Рукописный ОНИР / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов. — СПб., 2007.

134. Гейда, А.С. Разработка основ стратегического аудита государственного управления обороной страны, правоохранительной деятельностью и безопасностью государства. Рукописный ОНИР / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов. — СПб., 2007.

135. Разработка материалов эскизных проектов по модернизации и развитию ЦКЭР, РБД и ИСИО. Разработка и корректировка программных модулей СПО ЦКЭР и РБД разработки СПИИРАН. Участие в автономных испытаниях абонентских комплектов ЦКЭР на КИПах в части обеспечения работы СПО серверной части, шифр «НАКУ-РАН-18» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов [и др.]. — СПб., 2018.

136. Разработка методики оценки зависимости ОПК России от поставок материалов и комплектующих для производства ВВТ из стран — участниц СНГ. «Союз-СПИИРАН» / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Р.М. Юсупов [и др.]. — СПб., 2011.

137. Systems engineering handbook / D.D. Walden, G.J. Roedler, K. Forsberg [and etc.]. — Hoboken, New Jersey: Wiley, 2015.

138. Багаутдинов, З.З. Методы и модели планирования целевых программ в условиях риска / З.З. Багаутдинов. — СПб, 2009. — 210 с.

139. Седлов, Е.В. Методика планирования инновационной деятельности в интересах создания приоритетных образцов вооружения, военной и специальной техники / Е.В. Седлов; СПИИРАН. — СПб., 2012. — 208 с.

140. Суббетто, А.И. Критика «экономического разума» / А.И. Суббетто. — СПб.: КГУ им. Н.А. Некрасова, 2008. — 506 с.

141. Соложенцев, Е.Д. И³-технологии для экономики / Е.Д. Соложенцев. — СПб.: Наука, 2011. — 366 с.

142. Measuring the Digital Economy: OECD, 2014.

143. Kotarba, M. Digital Transformation of Business Models / M. Kotarba // Foundations of Management. — 2018. — Vol. 10. — № 1. — P. 123–142.

144. Adaptive business intelligence / Z. Michalewicz, C. Chiriach, M. Michalewicz, M. Schmidt. — Canberra (Australia): Springer, 2010. — ix, 246 p.

145. Александров, В.В. Информация и развивающиеся структуры / В.В. Александров, А.В. Арсентьева. — Л.: ЛНИВЦ АН СССР, 1984. — 186 с.
146. Александров, В.В. Системное моделирование. Методы построения информационно-логистических систем / В.В. Александров, Н.А. Андреева, С.В. Кулешову — СПб.: изд-во Политех. ун-та. — 95 с.
147. Пискунов, А.А. Подходы к оценке эффективности проектов электронного правительства / А.А. Пискунов. — М., 20–21 апреля 2004 г.
148. Олейник, К.А. Экологические риски в предпринимательской деятельности / К.А. Олейник. — М.: Анкил, 2002. — 208 с.
149. Соложенцев, Е.Д. Технологии управления риском в структурно-сложных системах / Е.Д. Соложенцев. — СПб.: ГУАП, 2013. — 414 с.
150. Rao, R.V. Decision making in the manufacturing environment / R.V. Rao. — Berlin, London: Springer, 2007.
151. Parida, V. Reviewing Literature on Digitalization, Business Model Innovation, and Sustainable Industry: Past Achievements and Future Promises / V. Parida, D. Sjödin, W. Reim // Sustainability. — 2019. — Vol. 11. — № 2. — P. 391.
152. Skillful Performance: Enacting Capabilities, Knowledge, Competence, and Expertise in Organizations / J. Sandberg, L. Rouleau, A. Langley, H. Tsoukas. — Oxford University Press, 2017.
153. Вайнтрауб, А.И. Содержательные и формальные модели технического обслуживания космических средств. ОНИР по теме шифр «Маяк-2л» / А.И. Вайнтрауб, А.С. Гейда и ещё 5 соавторов. — 1992.
154. Крысин, А.П. Толковый словарь иноязычных слов / А.П. Крысин. — М.: «Эксмо», 2005. — 944 с.
155. Гейда, А.С. Метод сквозного использования универсальных языков моделирования в задачах стратегического аудита проектов / А.С. Гейда // Новое в государственном управлении. Вып. 2. Методы и модели информационно-аналитического обеспечения системного аудита использования национальных ресурсов и управления по результатам / Под ред. А.А. Пискунова. — Ростов-на-Дону: ЮРИФКА, 2008. — С. 98–116.
156. ГОСТ 19605-74. Организация труда. Основные понятия. Термины и определения // Издательство стандартов, 1974.
157. Брокгауз, Ф.А. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона / Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон. — М.: Терра, 1992. — 40726 с.
158. Гейда, А.С. (Geyda, A.S.). Оценивание эффектов функционирования организационно-технических систем: концепция автоматизации / А.С. Гейда (A.S. Geyda) // SPIRAS Proceedings. — 2014. — Т. 0. — № 11. — С. 63–80.
159. Гейда, А.С. Концепты и принципы исследования потенциала социально-экономических систем / А.С. Гейда, Е.П. Силла // Материалы XIII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика — 2012» (РИ-2012). — С. 277–278.
160. Гейда, А.С. Автоматизированное моделирование в задачах исследования потенциала систем и эффективности их функционирования / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // Информационные технологии в управлении ИТУ-2012.
161. Гейда, А.С. Автоматизированное моделирование в задачах исследования потенциала социально-экономических систем / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // Материалы XIII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика — 2012» (РИ-2012). — С. 275.
162. Гейда, А.С. Базовые модели оценки системных рисков на примере показателей финансово-кредитной сферы / А.С. Гейда. — М.: Воентехиниздат, 2010. — 216 с.

163. Гейда, А.С. Исследование потенциала СТС в условиях риска / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Е.П. Силла // Доклады РАН. — 2011. — С. 71–79.

164. Фреге, Г. Логика и логическая семантика / Г. Фреге. — М.: Аспент пресс, 2000. — 511 с.

165. Marshall, S.P. Schemas in Problem Solving / S.P. Marshall. — Cambridge University Press, 2009.

166. Marshall, S.P. Schema-Based Problem Solving / S.P. Marshall // Encyclopedia of the Sciences of Learning / Ed. by N. M. Seel. — Boston, MA: Springer US, 2012. — P. 2949–2950.

167. Ontology-Based Model for Production-Control Systems Interoperability / Michele Dassisti, Hervé Panetto, Angela Tursi, Michele De Nicolò. — The 5th CIRP Digital Enterprise Technology Conference, Oct 2008, Nantes, France. — P. 527–543.

168. Когнитивный подход в управлении / З.К. Авдеева, С.В. Коврига, Д.И. Макаренко, В.И. Максимов // Пробл. управл. — 2007. — № 3. — С. 2–8.

169. Омельченко, В.В. Общая теория классификации / В.В. Омельченко. — М.: ИПЦ «Маска», 2008. — 436 с.

170. Омельченко, В.В. Общая теория классификации / В.В. Омельченко. — М.: Либроком, 2010. — 296 с.

171. Кант, И. Критика чистого разума / И. Кант. — М.: Мысль, 1994. — 591 с.

172. Firesmith, D.G. The OPEN process framework / D.G. Firesmith, B. Henderson-Sellers. — London: Addison-Wesley, 2002. — 330 p.

173. Guizzardi, G. Ontological foundations for structural conceptual models / G. Guizzardi. — Enschede: Centre for Telematics and Information Technology; Telematica Instituut, 2005. — 415 с.

174. On the Mathematics of Modelling, Metamodeling, Ontologies and Modelling Languages. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. — 106 с.

175. Aslaksen, E.W. The System Concept and Its Application to Engineering / E.W. Aslaksen. — Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.

176. Гейда, А.С. Унифицированные трансформируемые модели мероприятия: использование расширения понятия графа / А.С. Гейда // Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах. Материалы XV Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы. — Санкт-Петербург, СПбГПУ, 2011.

177. Гейда, А.С. (Geida, Alexander Sergeevich). Моделирование при исследовании технических систем: использование некоторых расширений теории графов / А.С. Гейда (Alexander Sergeevich Geida) // SPIIRAS Proceedings. — 2014. — Т. 2. — № 17. — С. 234–245.

178. Geyda, A.S. Models and methods to estimate digitalization success predictively / A.S. Geyda // Workshop on computer science and information technologies / Ed. by N.I. Yousoupova. — SPIIRAS, 2019.

179. Geyda, A. Modeling of Information Operations Effects: Technological Systems Example / A. Geyda, I. Lysenko // Future Internet. — 2019. — Vol. 11. — № 3. — P. 62.

180. Geyda, A. Dynamic Capabilities Indicators Estimation of Information Technology Usage in Technological Systems / A. Geyda // Recent Research in Control Engineering and Decision Making / Ed. by O. Dolinina, A. Brovko, V. Pechenkin, A. Lvov, V. Zhmud, V. Kreinovich. — Cham: Springer International Publishing, 2019. — P. 379–395.

181. Geyda, A.S. Information Technology Efficiency models for Agile system's functioning / A.S. Geyda, I.V. Lysenko // Conference of Open Innovation Association FRUCT. — Finland: FRUCT Oy, 2018. — P. 313–319.

182. Geyda, A.S. Digitalization Effects and Indicators Estimation / A.S. Geyda // Proceedings of the 25th conference of FRUCT association / Ed. by S. Balandin. — Helsinki: FRUCT Oy, 2019. — P. 95–101.

183. Geyda, A. The Complex of Models for System Capability Estimation with Regard to Information Technology Use / A. Geyda, I. Lysenko // AMCIS 2020 Proceeding. — 2020. — Vol. 6.

184. Гейда, А.С. Использование расширений графов для автоматизации решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // Труды научно-практической конференции по современным проблемам прикладной информатики. Санкт-Петербург, 23–25 мая 2012 г. — СПб.: Минобрнауки. Инжэкон. Изд-во «Элмор», 2012. — С. 9–12.

185. Кручинин, С.В. О некоторых обобщениях графов: мультиграфы, гиперграфы, метаграфы, потоковые и портовые графы, протографы, архиграфы / С.В. Кручинин // Вопросы науки. — 2017. — Т. 17. — № 3. — С. 48–67.

186. Basu, A. Metagraphs and their applications / A. Basu, R.W. Blanning. — New York: Springer, 2007.

187. Dechter, R. Reasoning with probabilistic and deterministic graphical models / R. Dechter. — San Rafael, California: Morgan & Claypool Publishers, 2019.

188. Unifying tree decompositions for reasoning in graphical models / K. Kask, R. Dechter, J. Larrosa, A. Dechter // Artificial Intelligence. — 2005. — Vol. 166. — № 1–2. — P. 165–193.

189. Henderson-Sellers, B. Agent-oriented methodologies / B. Henderson-Sellers, P. Giorgini. — Hershey PA: Idea Group Pub, 2005. — xiii, 413.

190. Geyda, A. System Potential Estimation with Regard to Digitalization: Main Ideas and Estimation Example / A. Geyda, I. Lysenko // Information. — 2020. — Vol. 11. — № 3. — P. 164.

191. Halliday, M.A.K. The collected works of M.A.K. Halliday / M.A.K. Halliday, J. Webster. — London: Continuum, 2002–2007.

192. Barbier, F. Object metamodelling of the Whole-Part relationship / F. Barbier, B. Henderson-Sellers // Technology of Object-Oriented Languages and Systems. TOOLS 32: Proceedings Technology of Object-Oriented Languages and Systems. TOOLS 32: IEEE Comput. Soc, 22–25 Nov. 1999. — P. 127–138.

193. Hashemin, S.S. Constrained consumable resource allocation in alternative stochastic networks via multi-objective decision making / S.S. Hashemin, S.M.T. Fatemi Ghomi // Journal of Industrial Engineering International. — 2012. — Vol. 8. — № 1. — P. 207.

194. Golenko-Ginzburg, D. Project Planning and Control by Stochastic Network Models / D. Golenko-Ginzburg, A. Gonik // Managing and Modelling Complex Projects / Ed. by T.M. Williams. — Dordrecht: Springer Netherlands, 1997. — P. 21–45.

195. Mendling, J. Metrics for process models / J. Mendling. — Berlin, New York: Springer, 2008. — xix, 193.

196. Aggarwal, C.C. Managing and Mining Uncertain Data / C.C. Aggarwal. — Boston, MA: Springer US, 2009.

197. Моделирование при исследовании технических систем: использование некоторых расширений теории графов // Труды СПИИРАН [SPIIRAS Proceedings]. — 2011. — Т. 17. — С. 234–245.

198. Гейда, А.С. Использование расширенных графовых моделей при автоматизации решения задач исследования потенциала, эффективности и риска при функционировании социально-экономических систем / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, О.А. Юсупова // Доклады международной научно-технической конференции «Региональная информатика — 2010». — СПб.: Наука, 2011. — С. 47–59.

199. van der Aalst, W. Towards Improving the Representational Bias of Process Mining / W. van der Aalst, J. Buijs, B. van Dongen // Data-Driven Process Discovery and Analysis / Ed. by K. Aberer, E. Damiani, T. Dillon. — Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. — P. 39–54.

200. *Ferreira, D.R.* A primer on process mining / D.R. Ferreira. — New York: Springer Berlin Heidelberg, 2017. — pages cm.

201. *van der Aalst, W.* Process mining / W. van der Aalst. — New York: Springer Berlin Heidelberg, 2016. — pages cm.

202. *Brown, J.T.* The handbook of program management / J.T. Brown. — New York: McGraw-Hill, 2008. — viii, 253.

203. *Fourer, R.* OSiL: An instance language for optimization / R. Fourer, J. Ma, K. Martin // Computational Optimization and Applications. — 2010. — Vol. 45. — № 1. — P. 181–203.

204. Buresh-Oppenheim, J. A Stronger Model of Dynamic Programming Algorithms / J. Buresh-Oppenheim, S. Davis, R. Impagliazzo // Algorithmica. — 2011. — Vol. 60. — № 4. — P. 938–968.

205. *K'atai, Z.* Modelling dynamic programming problems by generalized d-graphs / Z. K'atai // Acta Univ. Sapientiae, Informatica. — 2010. — Vol. 2. — № 2. — P. 210–230.

206. *Hinderer, K.* Dynamic optimization / K. Hinderer, U. Rieder, M. Stieglitz. — Cham, Switzerland: Springer, 2016.

207. *Hoch, N.* Dynamic Programming on Nominal Graphs / N. Hoch, U. Montanari, M. Sammartino // Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science. — 2015. — Vol. 181. — № 2. — P. 80–96.

208. *Giegerich, R.* Algebraic Dynamic Programming 2.0 / R. Giegerich, H. Touzet: Workshop Haskell-Treffen an der Universität Leipzig. — Leipzig, Germany, 2013.

209. *Eisner, J.* Compiling Comp Ling: Weighted Dynamic Programming and the Dyna Language / J. Eisner, E. Goldlust, N.A. Smith: Proceedings of Human Language Technology Conference and Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. — Vancouver, British Columbia, Canada: Association for Computational Linguistics, 2005. — P. 281–290.

210. *Lew, A.* Dynamic programming / A. Lew, H. Mauch. — Berlin, Great Britain: Springer, 2007.

211. *Paige, R.A.* Automatic program development / R.A. Paige, O. Danvy. — Dordrecht: Springer, 2008.

212. *Angles, R.* Survey of graph database models / R. Angles, C. Gutierrez // ACM Comput. Surv. — 2008. — Vol. 40. — № 1. — P. 1–39.

213. *Chein, M.* Graph-based knowledge representation / M. Chein, M.-L. Mugnier. — London: Springer, 2009.

214. *Mathis, P.* Graphs and networks / P. Mathis. — London UK, Newport Beach CA USA: ISTE, 2007. — xlv, 321.

215. *Needham, M.* Graph algorithms / M. Needham, A.E. Hodler. — Sebastopol CA: O'Reilly Media, 2019. — xv, 235 pages.

216. Amazon Neptune: Graph Data Management in the Cloud / B.R. Bebee, D. Choi, A. Gupta [and etc.]: International Semantic Web Conference, 2018.

217. *Robinson, I.* Graph databases / I. Robinson, J. Webber, E. Eifrem. — Sebastopol, Cal.: O'Reilly, 2015.

218. *Iordanov, B.* HyperGraphDB: A Generalized Graph Database / B. Iordanov: Proceedings of the 2010 International Conference on Web-age Information Management. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. — P. 25–36.

219. *Gašević, D.* Model driven engineering and ontology development / D. Gašević, D. Djurić, V. Devedzic. — Berlin: Springer, 2009.

220. *Noguera, M.* An Ontology-Based Scheme Enabling the Modeling of Cooperation in Business Processes / M. Noguera, M.V. Hurtado, J.L. Garrido // On the Move to Meaningful Internet Systems 2006: OTM 2006 Workshops / Ed. by D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J.M. Kleinberg, F. Mattern, J.C. Mitchell, M. Naor, O. Nierstrasz, C. Pan-

du Rangan, B. Steffen, M. Sudan, D. Terzopoulos, D. Tygar, M.Y. Vardi, G. Weikum, R. Meersman, Z. Tari, P. Herrero. — Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. — P. 863–872.

221. *Samsonovich, A.V.* Biologically inspired cognitive architectures 2019 / A.V. Samsonovich. — Cham, Switzerland: Springer, 2020.

222. *Murat, C.* Probabilistic Combinatorial Optimization on Graphs / C. Murat, V.T. Paschos. — New York: John Wiley & Sons, 2013. — Online-Ressource.

223. *Maier, S.* Integration of a Pattern-Based Layout Engine into Diagram Editors / S. Maier, M. Minas // Applications of Graph Transformations with Industrial Relevance / Ed. by D. Hutchison, T. Kanade, J. Kittler, J.M. Kleinberg, F. Mattern, J.C. Mitchell, M. Naor, O. Nierstrasz, C. Pandu Rangan, B. Steffen, M. Sudan, D. Terzopoulos, D. Tygar, M.Y. Vardi, G. Weikum, A. Schürr, D. Varró, G. Varró. — Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. — P. 89–96.

224. *Borutzky, W.* Bond graph methodology / W. Borutzky. — New York, London: Springer, 2010.

225. *Колчин, В.Ф.* Случайные графы / В.Ф. Колчин. — М.: Физматлит, 2004. — 255 с.

226. *Parr, T.* Language implementation patterns / T. Parr. — Raleigh, N.C.: Pragmatic Bookshelf, 2010.

227. *Gasevic, D.* Model Driven Architecture and Ontology Development / D. Gasevic, V. Devedzic, D. Djuric. — Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. — 316 p.

228. Attributed Description Logics: Ontologies for Knowledge Graphs / M. Krötzsch, M. Marx, A. Ozaki, V. Thost // The Semantic Web — ISWC 2017 / Ed. by C. d’Amato, M. Fernandez, V. Tamma, F. Lecue, P. Cudré-Mauroux, J. Sequeda, C. Lange, J. Heflin. — Cham: Springer International Publishing, 2017. — P. 418–435.

229. A Graphic Tool for Ontology Viewing Based on Graph Theory / C. Stradiotto, E. Pacheco, A. Bortolon, H. Hoeschl // Professional Practice in Artificial Intelligence / Ed. by J. Debenham: Springer US, 2006. — P. 141–150.

230. Combining RDF Graph Data and Embedding Models for an Augmented Knowledge Graph / A. Nikolov, P. Haase, D.M. Herzig [and etc.] // Companion of the The Web Conference 2018: Companion of the The Web Conference 2018 on The Web Conference 2018 — WWW’18. — New York, USA: ACM Press, 2018. — P. 977–980.

231. *Jacob, C.* Stochastic Search Methods / C. Jacob // Intelligent Data Analysis / Ed. by M. Berthold, D.J. Hand. — Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1999. — P. 299–350.

232. Метод планирования инновационной деятельности / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, А.И. Птушкин, Е.В. Седлов // Программные продукты и системы. — 2011. — Т. 4 (96). — С. 134–136.

233. *Гейда, А.С.* Методика планирования инновационной деятельности с учётом приоритетности создаваемых изделий техники / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Е.В. Седлов // Информационные технологии моделирования и управления. — 2011. — № 7 (72). — С. 747–754.

234. *Гейда, А.С.* Планирование инновационной деятельности с учётом приоритетности изделий / А.С. Гейда, И.В. Лысенко, Е.В. Седлов // Системы управления и информационные технологии. Издательство «Научная книга». — 2011. — № 3.2 (45). — С. 220–224.

235. *Geyda, A.* Modeling of Information Operations Effects / A. Geyda, I. Lysenko // Future Internet. — 2019. — Vol. 11. — P. 62.

236. *Geyda, A.* Modeling of Information Operations Effects: Technological Systems Example / A. Geyda, I. Lysenko // Future Internet. — 2019. — Vol. 11. — № 3. — P. 62.

237. *Geyda, A.* Analytical Research on System Capability and Information Technology Use Capability: Problem Statement Examples / A. Geyda // 2020 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT): IEEE, 20.04.2020–24.04.2020. — P. 1–9.

238. *Гейда, А.С.* Концептуальная модель методик автоматизированного решения задач исследования эффективности бизнес-процессов / А.С. Гейда, З.З. Багаутдинов // Труды Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика — 2008», Санкт-Петербург, 18–21 октября 2008 г. — С. 130–131.

239. *Гейда, А.С.* Моделирование и оценивание эффективности комплекса мероприятий на основе алгебры нечётких чисел / А.С. Гейда, З.З. Багаутдинов, И.В. Лысенко // Известия вузов. Приборостроение. — 2008. — Т. 51. — № 1. — С. 21–24.

240. *Гейда, А.С.* Метод оценивания эффективности и риска проектов / А.С. Гейда, З.З. Багаутдинов, И.В. Лысенко // Управление риском. — 2009. — Т. 3. — С. 73–79.

241. *Гейда, А.С.* Оценивание эффективности комплекса мероприятий в условиях неопределённости / А.С. Гейда, З.З. Багаутдинов, И.В. Лысенко, О.В. Лысенко // Системы управления и информационные технологии. — 2009. — Т. 34. — № 4. — С. 36–41.

242. *Гейда, А.С.* (Geyda A.S.) Методика оценивания конкурентоспособности продукции военного назначения и выпускающих её предприятий на основе исследования операционных свойств систем / А.С. Гейда (A.S. Geyda), И.В. Лысенко (I.V. Lysenko), А.А. Карачев (A.A. Karachyov) // Оборонная техника. — 2012. — № 8. — С. 2–39.

243. *Гейда, А.С.* Методика оценивания конкурентоспособности изделий и выпускающих их предприятий на основе исследования потенциала систем / А.С. Гейда // Материалы VII Санкт-Петербургской межрегиональной конференции «Информационная безопасность регионов России» (ИБРР–2013). — Санкт-Петербург, 26–28 октября 2013 г.

244. *Гейда, А.С.* Концепция немонетарного оценивания инвестиционных проектов на основе прагматических свойств систем / А.С. Гейда // Фундаментальные исследования. — 2020. — Т. 12. — С. 40–45.

245. Интервью начальника управления военных представительств Минобороны России Олега Степанова агентству Lenta.ru / О. Степанов. — URL: <http://lenta.ru/news/2013/06/25/fines>.

246. *Рогозин, Д.* Кадровый голод в ОПК сохраняется / Д. Рогозин. 14 августа 2013 года. — URL: <http://vpk-news.ru/articles/17071>.

247. ГОСТ Р 52865–2009: Глобальная навигационная спутниковая система. Параметры радионавигационного поля. Технические требования и методы испытаний // Стандартиформ, 2009.

248. *Маркелов, М.А.* Новые сигналы GNSS и перспективы их использования в бортовом оборудовании ГА / М.А. Маркелов. — URL: <https://docplayer.ru/29049524-M-a-markelov-novye-signalny-gnss-i-perspektivy-ih-ispolzovaniya-v-bortovom-oborudovanii-ga.html>.

249. ОКБ Сухого. Годовой отчет компании ОАО «ОКБ Сухого». — URL: <http://www.sukhoi.org/>.

250. *Кагарлицкий, В.* Тендер показал, что надо работать дальше / В. Кагарлицкий // Турбопрофи. — 2007. — № 4. — С. 11–13.

251. Для ПАК ФА разрабатывают новый двигатель // Армейский вестник, 16.11.2012.

252. Неопределённости в программе Т-50 ПАКФА // Военное обозрение, 23.09.2013.

253. *Тельманов, Д.* Минобороны отказалось от нового «Калашникова» / Д. Тельманов // Известия, 24.09.2013.

254. Клинецвич, Ф. Автомат АК-12 требует доработки / Ф. Клинецвич // Вести, 24.09.13.
255. Объект 195 // Мир оружия, 15.09.11.
256. Т-95 — мертворожденный монстр российского танкопрома // Альтернативная история, 17.01.2013.
257. Универсальная зенитная ракетная система С-300В // Военное обозрение, 26.09.2012.
258. Малинин, С. Конкурентоспособность требует капиталовложений. К вопросу об экспортном потенциале отечественных беспилотников в контексте российско-индийского военно-технического сотрудничества / С. Малинин // Независимое военное обозрение, 13.03.2004. — С. 4358.
259. Унифицированные платформы для создания современных спутников // Журнал АО «Информационные спутниковые системы им. академика М.Ф. Решетнёва». — 2009. — № 8. — С. 9–12.
260. Трифонов, Ю.В. Создание и внедрение унифицированных спутниковых платформ для космических аппаратов дистанционного зондирования Земли и атмосферы / Ю.В. Трифонов // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. — 2007. — № 102. — С. 5–11.
261. Горбунов, А.В. Малые космические аппараты — новые средства дистанционного зондирования Земли из космоса / А.В. Горбунов // Вопросы электромеханики. Труды НПП ВНИИЭМ. — 2008. — № 100. — С. 18–42.
262. Трифонов, Ю.В. Космические аппараты дистанционного зондирования Земли / Ю.В. Трифонов. — М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2008. — 169 с.
263. «Армада» и «Курганец-25» // Военное обозрение, 21.11.2011.
264. Новый российский танк исправит ошибки «Черного орла» и «Объекта 195» уже в следующем году // Агентство новостей NEWSru, 05.09.2012.
265. Горбач, В.Д. Некоторые аспекты реализации CALS-технологий в российском судостроении / В.Д. Горбач. — URL: <http://mr.shipbuilding.ru/magazine/n2/gorbach/>.
266. Судостроители создают электронную модель корабля // Деловой Петербург, 3.10.2001. — № 174 (1050).
267. Концепция развития ИПИ-технологий для продукции военного назначения, поставляемой на экспорт / А.А. Суханов, О.Н. Рязанцев, С.А. Артизов [и др.]. — Минпромторг РФ, 2013. — 41 с.
268. Каримов, А. В России задумались над беспилотниками. Аналог американского «Глобального ястреба» создаётся на голом энтузиазме / А. Каримов, В. Ильин // Независимое военное обозрение, 14.01.2001. — Т. 46 (268).
269. «Сухой» в 2018 году представит 20-тонный ударный беспилотник // Взгляд, 3.10.2013.
270. Вступительное слово на совещании о ходе выполнения гособоронзаказа для Военно-Морского Флота «Совещание о перспективах развития Военно-Морского Флота и ходе выполнения Государственной программы вооружения на 2011–2020 годы в части вооружения и военной техники для Военно-Морского Флота». — Ново-Огарёво, 29 июля 2013 г.
271. Кулик, Б.А. Алгебраический подход к интеллектуальной обработке данных и знаний / Б.А. Кулик, А.А. Зуенко, А.Я. Фридман. — СПб.: изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 235 с.
272. Dixon, S. Building Dynamic Capabilities of Adaptation and Innovation / S. Dixon, K. Meyer, M. Day // Long Range Planning. — 2014. — Vol. 47. — P. 186–205.
273. Сычев, В. Лучший во всем. «Сухой» заявил о превосходстве Су-35С над F-35 и Rafale / В. Сычев // Новости ВПК, 10.04.2012.

274. *Зацепин, В.* Грядущая государственная программа вооружения (2016–2025): новые приоритеты и старые проблемы / В. Зацепин // Russian economic development, НИУ ВШЭ. — 2014. — Т. 21. — № 2. — С. 50–54.

275. *Ревнивых, С.Г.* Состояние и перспективы развития системы ГЛОНАСС / С.Г. Ревнивых // VI ежегодный международный семинар «Современные средства повышения эффективности и безопасности навигации». — СПб., 2011.

276. *Тельманов, Д.* Новый российский танк получит цифровую пушку. Управлять орудием танкисты будут дистанционно. Это серьезный шаг на пути создания танка-робота / Д. Тельманов // Известия, 26.03.2012. — С. 3–4.

277. *Никитин, Е.* Бездарно догонять, если можно опередить / Е. Никитин, Е. Марчуков // Военно-промышленный курьер, 12.10.2011. — Т. 40 (406).

278. АК-12 против А-545: странные новости о конкурсе // Армейский вестник: Огнестрельное оружие, 26.09.2013.

279. Предприятия оборонно-промышленного комплекса России и стран СНГ, 2014. — 400 с.

280. *Мельников, О.Н.* Результаты внедрения информационных технологий на стратегическом и тактическом уровнях / О.Н. Мельников, И.С. Краевский // Креативная экономика. — 2011. — Т. 5. — С. 115–120.

281. *Попова, О.* Расчёт эффективности ИТ / О. Попова // It-Manager, 2018.

282. *Салихова, Я.Ю.* Конкурентный потенциал предприятия: сущность, структура, методика оценки: Учебное пособие / Я.Ю. Салихова. — СПб., 2011. — 52 с.

283. *Рогозин, Д.* Война и мир в терминах и определениях / Д. Рогозин. — М.: Издательский дом «ПоРог», 2004. — 624 с.

284. Большая советская энциклопедия / Под ред. А.М. Прохорова. — М.: Советская энциклопедия, 1978.

285. *Deneulin, S.* Transforming unjust structures / S. Deneulin, M. Nebel, N. Sagovsky. — Dordrecht, London: Springer, 2006.

286. *Tsoukas, H.* Organizations as Knowledge Systems / H. Tsoukas, N. Mylonopoulos. — London: Palgrave Macmillan UK, 2004. — 20 p.

287. *Kuklys, W.* Amartya Sen's capability approach / W. Kuklys. — Berlin: Springer, op. 2010. — 116 p.

288. *Sen, A.* Development as freedom / A. Sen. — New York: Anchor Books, 1999. — 366 p.

289. *Treverton, G.F.* Measuring national power / G.F. Treverton, S.G. Jones. — Santa Monica, Calif.: RAND, 2005.

290. *Comim, F.* The capability approach / F. Comim, M. Qizilbash, S. Alkire. — Cambridge, New York: Cambridge University Press, dr. 2014. — XVII, [1], 614, [4] s.

291. *Di Stefano, G.* Dynamic capabilities deconstructed: a bibliographic investigation into the origins, development, and future directions of the research domain / G. Di Stefano, M. Peteraf, G. Verona // Long Range Planning. — 2010. — Vol. 19. — № 4. — P. 1187–1204.

292. *Karna, A.* Revisiting the role of the environment in the capabilities-financial performance relationship: A meta-analysis / A. Karna, A. Richter, E. Riesenkauff // Strategic Management Journal. — 2016. — Vol. 37. — № 6. — P. 1154–1173.

293. Dynamic Capabilities and Organizational Performance / S. Fainshmidt, A. Pezeshkan, M.L. Frazier [and etc.] // Journal of Management Studies. — 2016. — Vol. 53. — P. 1348–1380.

294. *van de Wetering, R.* A strategic alignment model for it flexibility and dynamic capabilities / R. van de Wetering, P. Mikalef, A. Pateli.

295. *Ожегов, С.И.* Толковый словарь русского языка / С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова. — М.: ООО «ИТИ Технологии», 2006. — 944 с.

296. Geyda, A. Dynamic Capabilities Indicators Estimation of Information Technology Usage in Technological Systems / A. Geyda // Recent Research in Control Engineering and Decision Making / Ed. by O. Dolinina, A. Brovko, V. Pechenkin, A. Lvov, V. Zhmud, V. Kreinovich. — Cham: Springer International Publishing, 2019. — P. 379–395.

297. Гейда, А.С. Автоматизация решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // SPIIRAS Proceedings. — 2012. — Т. 3. — Вып. 22. — С. 260–281.

298. Гейда, А.С. Комплексное исследование качества, потенциала СТС, эффективности и риска при их реализации: концептуальные аспекты / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // Информация и космос. — 2011. — № 7.

299. Geyda, A. Models and Methods of Optimal Information Operations Use for System Functioning / A. Geyda // Proceedings of the 7th Scientific Conference on Informing Technologies for Intelligent Decision-Making Support (ITIDS 2019). — Paris, France: Atlantis Press, 2019. — P. 15–22.

300. Гейда, А.С. Исследование потенциала сложных организационно-технических систем с использованием информационных технологий / А.С. Гейда, И.В. Лысенко // Материалы ежегодной научно-практической конференции «Доветовские чтения. Проблемы и пути развития предпринимательской деятельности в современных условиях». X межвузовская научно-практическая конференция. — Санкт-Петербург, ФГБОУ СПбГЭУ, 13–14 марта 2014 г.

301. Гейда, А.С. (Geyda A.S.). Оценивание операционных свойств совершенствуемых систем с учётом использования информационных технологий на примере использования диаграммных технологий представления знаний и моделирования процессов. Введение / А.С. Гейда (A.S. Geyda). — С. 1–23.

302. Губский, Е.Ф. Философский энциклопедический словарь / Е.Ф. Губский. — М.: Инфра-М, 1997. — 574 с.

303. Гейда, А.С. Основы концепции и модели исследования операционных свойств использования информационных технологий в условиях цифровой экономики / А.С. Гейда // Доклады конференции «Система распределённых ситуационных центров как основа цифровой трансформации государственного управления». Санкт-Петербург, 25–27 октября 2017 г.

304. Гейда, А.С. (Geida, Alexander S.). Концептуальные и формальные модели использования информационных технологий при функционировании совершенствуемых систем / А.С. Гейда (Alexander S. Geida), М.А. Калайдов (Mark V. Kalaidov) // STATE and BUSINESS. — С. 78–83.

305. Мизес, Л. фон. Человеческая деятельность: трактат по экономической теории / Л. фон Мизес. — М.: Социум, 2019. — 878 с.

306. Леиашвили, П. Экономическая деятельность: телеологический анализ / П. Леиашвили. — М.: Директ-Медиа, 2013. — 192 с.

307. Geyda, A.S. Information Technologies Efficiency Models for Agile Systems Functioning / A.S. Geyda, I.V. Lysenko // Proceeding of the 22nd Conference of FRUCT association. — P. 313–319.

308. Schemas for the analytical estimation of the operational properties of agile systems / A. Geyda, I. Lysenko, A.A. Radionov [and etc.] // SHS Web Conf. — 2017. — Vol. 35. — P. 1058.

309. Neil Perkin, P.A. Building the Agile Business through Digital Transformation / P.A. Neil Perkin. — Kogan Page, 2017.

310. Geyda, A.S. Information Technology Efficiency models for Agile system's functioning / A.S. Geyda, I.V. Lysenko // Conference of Open Innovation Association FRUCT. — P. 313–319.

311. *Geyda, A.S.* Information technologies usage models during agile systems functioning / A.S. Geyda, I.V. Lysenko // *Journal of Physics: Conference Series*. — 2018. — Vol. 1050. — P. 12027.

312. *Райзберг, Б.А.* Целевые программы в системе государственного управления экономикой / Б.А. Райзберг. — М.: Инфра-М, 2016. — 267 с.

313. *Гейда, А.С.* Концептуальные и формальные модели использования информационных технологий на примере систем цифровой медицины / А.С. Гейда, Г.Р. Хантемирова // *Государство и бизнес. Экосистема цифровой экономики. Материалы XI Международной научно-практической конференции*. — Санкт-Петербург: РАНХиГС, 2019. — С. 137–140.

314. *Гейда, А.С.* Использование многопоходного имитационного моделирования при решении задач паллиативной медицины / А.С. Гейда, О.Н. Леонова, И.В. Лысенко. — 2017. — Т. 3. — С. 347–349.

315. *Public diplomacy and soft power in east asia*: Palgrave Macmillan, 2016.

316. *Korb, L.J.* Integrated power: national security strategy for 21 century / L.J. Korb, R.O. Boorstin. — New York, 2014. — 76 p.

317. *Nye, J.S.* Soft power / J.S. Nye. — New York: PublicAffairs, 2009. — 1 online resource.

318. *Seedhouse, E.* The New Space Race / E. Seedhouse. — New York: Praxis, 2010. — Seiten.

319. *Gupta, R.* China's National Interests: Exploring the Domestic Discourse / R. Gupta // *Strategic Analysis*. — 2012. — Vol. 36. — № 5. — С. 804–818.

320. *Xuetong, Y.* The Rise of China and its Power Status / Y. Xuetong // *The Chinese Journal of International Politics*. — 2006. — Vol. 1. — № 1. — P. 5–33.

321. *Measuring National Power in the Postindustrial Age* / A.J. Tellis, J. Bially, C. Layne, M. McPherson. — CA, USA, 2000.

322. *Гейда, А.С.* (Geyda, A.S.). Методологические основы аналитического оценивания результативности цифровизации экономических систем / А.С. Гейда (A.S. Geyda) // *Фундаментальные исследования (Fundamental research)*. — 2018. — Т. 2. — № 11. — P. 211–215.

323. *Сулакшин, С.С.* (Sulakshin S.). Теория и феноменология успешности сложной социальной системы / С.С. Сулакшин (S. Sulakshin). — М.: Научный эксперт [Nauchnyй ékspert], 2013. — 228 с.

324. *Ahmad, N.* Towards a Framework for Measuring the Digital Economy / N. Ahmad, J. Ribarsky // 16th Conference of the International Association of Official Statisticians (IAOS) OECD Headquarters. Paris, France, 19–21 September 2018.

325. *Аброскин, А.* (Abroskin, Alexander). Международный опыт измерений цифровой экономики / А. Аброскин (Alexander Abroskin) // *Вестник университета VU (Vestnik universiteta)*. — 2018. — № 12. — С. 59–63.

326. *Sharavova, O.* Transformation of criteria and indicators of digital development of economy and information society / O. Sharavova, T. Kuzovkova; ed. by S. Balandin. — Conference of Open Innovation FRUCT 24.

327. *Geida, A.S.* Estimation of Information Technology Enabled Dynamic Capabilities Indicators / A.S. Geida // Conference of Open Innovation Association FRUCT.

328. *Geyda, A.S.* Estimation of Operational Properties of Information Technology Usage and Dynamic Capabilities Indicators / A.S. Geyda. — Proceeding of the 23rd Conference of FRUCT Association. — P. 452–458.

329. *Geyda, A.S.* Estimation of Operational Properties of Information Technology Usage and Dynamic Capabilities Indicators / A.S. Geyda // Proceeding of the 23rd FRUCT Conference. Bologna, Italy, November 14–15 / Ed. by S. Balandin. — Finland: FRUCT Oy, 2018. — P. 452–458.

330. Going Digital in a Multilateral World. — Paris: OECD, 2018.
331. OECD Reviews of Digital Transformation: OECD, 2018.
332. Tax Challenges Arising from Digitalisation — Interim Report 2018: OECD, 2018.
333. Work in the Digital Age: Rowman & Littlefield International, 2018.
334. Digitalisation and productivity: Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD), 2019.
335. *Gray, J.* Models for digitalization / J. Gray, B. Rumpe // Software & Systems Modeling. — 2015. — Vol. 14. — № 4. — P. 1319–1320.
336. Digital Transformation / J. Reis, M. Amorim, N. Melo, P. Matos // Advances in Intelligent Systems and Computing: Springer International Publishing, 2018. — P. 411–421.
337. *Tanaka, G.Y.* Digital Deflation / G.Y. Tanaka. — McGraw Hill Book CO, 2007.
338. Business dynamics and digitalisation: Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), 2019.
339. *Ustundag, A.* Industry 4.0 / A. Ustundag, E. Cevikcan. — Springer International Publishing, 2018.
340. *Vial, G.* Understanding digital transformation / G. Vial // The Journal of Strategic Information Systems. — 2019. — Vol. 28. — P. 118–144.
341. *Warner, K.S.R.* Building dynamic capabilities for digital transformation / K.S.R. Warner, M. Wäger // Long Range Planning. — 2019. — Vol. 52. — P. 326–349.
342. Roadmap: Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD), 2019.
343. *Marc Kerremans, J.K.* Create a Digital Twin of Your Organization to Optimize Your Digital Business Transformation Program, 14.07.2017 / J.K. Marc Kerremans, 2017.
344. *Пономарёв, И.Н.* Введение в математическую логику и роды структур / И.Н. Пономарёв. — М.: Московский физ.-техн. ин-т (гос. ун-т), 2007. — 1 с.
345. *Bergman, C.H.* Universal algebra / C.H. Bergman. — Boca Raton, Fla., London: CRC Press, 2012.

Приложения

Приложение А. Анализ недостатков функционирования ОПК.....	261
Приложение В. Примеры способов совершенствования СТС ОПК путём изменения состава СТС.....	270
Приложение С. Примеры устранения недостатков ОПК путём модернизаций и инноваций СТС.....	271
Приложение D. Примеры устранения недостатков путём изменения состава связей между элементами СТС и связей между СТС и её средой.....	273
Приложение Е. Примеры изменений характеристик связей между элементами СТС и характеристик связей между СТС и её средой.....	275
Приложение F. Примеры изменения последовательности актуализации связей между элементами СТС при её функционировании.....	276
Приложение G. Примеры совершенствования путём изменения планов функционирования СТС.....	277
Приложение Н. Особенности вводимого свойства потенциала СТС — денотата понятия, особенности его концепта и знака.....	278
Приложение I. Концептуализация проблемы исследования потенциала.....	287
Приложение J. Вербальная модель проблемы исследования потенциала.....	311
Приложение K. Примеры графо-геометрического представления вербальной модели проблемы исследования потенциала сложных технических систем.....	358
Приложение L. Расширение понятия графа — эшграф.....	363
Приложение M. Фрагмент моделей, построенных при решении примера.....	374
Приложение N. Алгоритмы.....	387
Приложение O. Алгоритм расчёта пометок моделей при их обходах.....	392
Приложение P. Примеры ввода исходных данных, хода и результатов расчётов.....	397

Приложение А. Анализ недостатков функционирования ОПК

Приведём примеры *недостатков функционирования ОПК, причины их проявления, последствия проявления этих недостатков.*

1. Так [102], проведённая Счётной палатой РФ оценка выполнения государственного оборонного заказа (ГОЗ) на основе сопоставления *номенклатуры и объёма выполненных работ* с соответствующими показателями ГОЗ выявила, что государственный оборонный заказ Минобороны России на 2009 год был выполнен предприятиями ОПК по количеству заданий на 41,9 %, а по объёму работ — на 64,9 %.

2. Нарушаются и требуемые сроки получения целевых результатов функционирования предприятий ОПК. Например, в 2011 году объединённая судостроительная компания из-за разногласий с Минобороны России по цене образованию подписала контракт на выполнение ГОЗ 2011 года только в ноябре. Поэтому сроки выполнения ГОЗ со стороны объединённой судостроительной компании в 2011 году соблюдены не были.

3. Не выполняются условия контрактов *по количеству и качеству* выпускаемых ТИ (оборонной продукции). Так, в [245] указывается, что с 2008 года предприятия ОПК не выполнили 74 контракта на поставку вооружения и военной техники, а за 2012 год Минобороны России недополучило примерно 20 % заказанной продукции. Контракты, в частности, не выполнили «Военно-промышленная компания», производящая БТР-82, Самарский авиационный завод, поставляющий самолёты Ан-140, а также Кировский завод «Маяк», выпускающий противотанковые ракеты «Вихрь-1». Кроме того, в 2012 году количество рекламаций на поставленную продукцию выросло относительно 2011 года на 60 %. Указывается, что это связано с нехваткой на предприятиях современного оборудования и квалифицированных кадров [246], а также с просчётами их руководства при планировании функционирования предприятий ОПК.

4. Важной особенностью функционирования предприятий ОПК является *частое изменение целей* государственной программы вооружения (ГПВ) и ГОЗ, что ведёт к необходимости пересмотра планов, технологических процессов, к реализации процессов переналадки, к изменению технологических маршрутов и графиков функционирования ОПК. Так, Счётной палатой РФ отмечается [102], что в целом ГПВ на 2007–2015 годы, составляющие её программы вооружения, ГОЗ на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), закупки и ремонт вооружения и военной техники не в полной мере соответствуют закону о федеральном бюджете. Так, в 2007 году к уточнению было предложено около 23 % от объёма ГОЗ в части НИОКР — 476 заданий и около 47 % от общего объёма по поставкам и ремонту вооружений и военной техники (ВВТ) — 2032 задания. В 2007 году ГОЗ корректировался 7 раз. В 2008 году ГОЗ уточнялся 4 раза [102]. В ходе первого уточнения по результатам размещения ГОЗ-2008 корректировка затронула более 3500 позиций. При этом около 200 заданий было исключено и добавлено более 250 новых заданий. Основная часть как исключённых, так и новых заданий — почти 60 % — приходилась

на долю радиоэлектронных средств боевого обеспечения и на долю средств обеспечения общего назначения.

Изменение целей ГПВ и ГОЗ приводит к изменению требований, предъявляемых к ОПК, к *изменению целей функционирования* ОПК и, таким образом, является одним из источников несоответствия характеристик изделий ОПК и характеристик функционирования предприятий ОПК требованиям, предъявляемым к ним со стороны государства (правительства, госзаказчиков ТИ). Таковую особенность — частое изменение целей функционирования ОПК — необходимо учитывать при постановке и решении задач по совершенствованию ОПК — и его функционирования — для того, чтобы удовлетворить требования заказчиков.

5. Следует отметить, что изменение целей функционирования ОПК происходит, в частности, из-за того, что изменяются ресурсы (запасы) разного вида, которые могут быть израсходованы для обеспечения функционирования ОПК (например, количество необходимых, поставляемых извне, комплектующих ТИ, материалов и электроэнергии). Причины могут быть разными.

Так, с 2007 по 2011 г. наблюдался значительный рост (десятикратный и более) стоимости некоторых металлов и комплектующих ТИ, что привело к изменению ряда технологических процессов на предприятиях ОПК [60, 102, 129]. Некоторые комплектующие ТИ и материалы, производимые в странах СНГ, перестали поставляться в РФ, что тоже привело к изменению функционирования ОПК [136].

6. Часто наблюдаются несоответствия *характеристик выпускаемых изделий* требованиям к ним со стороны заказчиков. Устранение этих несоответствий, то есть совершенствование изделий, требует, как правило, значительных затрат ограниченных ресурсов и времени и может приводить к необходимости планировать и реализовывать целевые программы [22, 86].

Например, характеристики точности позиционирования, длительности и стоимости эксплуатации спутников на орбите, состав орбитальной группировки такого изделия, как система ГЛОНАСС, совершенствуются с 1980-х годов, и в процессе этого совершенствования сменилось несколько поколений ГЛОНАСС.

В настоящее время требования к характеристикам сигналов системы ГЛОНАСС должны соответствовать ГОСТ Р 52865-2009 [247].

Так, в состав требований к этим характеристикам входят следующие требования. В подсистему навигационных космических аппаратов (КА) должны входить не менее 21 навигационных КА. Интенсивность кратковременных отказов спутников должна быть не более 0,978. Эта же характеристика для замены вышедших из строя спутников — при групповых запусках по три спутника — должна быть не более шести спутников в год. Срок замены вышедшего из строя спутника из орбитального резерва должен быть не более 20 суток, с Земли — 50 суток, средний — 30 суток.

На практике космическая группировка системы ГЛОНАСС была полностью развёрнута в 1995 году (в тот момент в её составе насчитывалось 24 спутника), однако в дальнейшем для её поддержания в требуемом соста-

ве не отпускалось достаточно средств, и к 2002 г. численность группировки сократилась до 7 спутников. В 2008 году группировка насчитывала 19 спутников, из которых 3 были запущены 25 сентября и находились в стадии испытаний и ввода в эксплуатацию, 14 использовались по целевому назначению, 1 был временно выведен на техническое обслуживание, а 1 находился на этапе вывода из системы.

Согласно результатам мониторинга, публикуемым ФГУП ЦНИИмаш, по показателям непрерывности и эксплуатационной готовности система ГЛОНАСС в состоянии системы на 2008 г. *не соответствовала* [248] требованиям международной организации гражданской авиации.

7. В [249–251] указаны требования, предъявляемые заказчиком к авиадвигателю перспективного авиационного комплекса фронтовой авиации (ПАК-ФА).

Этот мотор должен стать в 1,5–2 раза легче по весу, чем двигатели сегодняшние, на 15–30 % экономичнее по расходу топлива, на 60–80 % качественнее по надёжностным характеристикам, в 2–3 раза дешевле по обслуживанию и иметь в 2–3 раза больший ресурс (2–5 тыс. часов), а главное — должен создавать тягу в 15–15,5 тонн. Кроме того, двигатель должен обеспечивать максимальную эффективность боевых характеристик самолёта, включая манёвренность, скорость и т. д. Одним из главных в двигателе пятого поколения будет то, что его удельная масса — отношение массы к тяге — будет стремиться к значению ниже 0,1. Также непременно атрибутами двигателя станут всеракурсное поворотное сопло и электродистанционная система управления.

Кроме того, у двигателя значительно расширится диапазон эксплуатации по температурному режиму и высоте, причём будет обеспечен запуск двигателя на самой большой высоте [250]. Для того чтобы обеспечить паритет, а по ряду характеристик свойств — превосходство над американским F22, к перспективному авиационному комплексу фронтовой авиации (ПАК-ФА) Т-50 предъявлялись [249, 252] в целом следующие основные требования [249]: multifunctionality, способность успешно поражать как воздушные, так и наземные и морские цели, в т. ч. малоразмерные и подвижные, в любую погоду и время суток, в условиях применения противником высокоточного оружия; сверхманёвренность, возможность совершать управляемый полёт на малых скоростях и больших углах атаки; малая заметность в оптическом, инфракрасном и радиолокационном диапазонах волн; способность взлетать и садиться, используя укороченную взлётно-посадочную полосу. Создание ПАК ФА оценивают в 15 млрд долларов, что вчетверо меньше F-22. *Стоимость серийного образца* не должна превысить 100 млн долл., а стоимость *эксплуатации* должна быть существенно дешевле, чем у Су-27.

Для удовлетворения этих требований оказалось необходимым, в частности, разработать *двигатель новой конструкции*.

К сожалению, такой двигатель («Изделие 129») к 2010 г. ещё не был создан и существовал в основном на бумаге [252].

Выполнение указанных работ по созданию нового двигателя требует значительных затрат времени и денежных средств.

В настоящее время для сокращения сроков отработки ПАК-ФА Т-50 было принято решение использовать другой имеющийся двигатель (АЛ-41Ф1) с худшими характеристиками по тяге, удельной тяге, стоимости и стоимости эксплуатации. Так, 3 февраля 2010 г. вице-премьер РФ Сергей Иванов сообщил, что первый полёт машина совершила с двигателем от самолёта предыдущего поколения, хотя и самого современного «4++». «Так что вопрос о собственном двигателе для нового истребителя пока остаётся на повестке дня», — сказал он.

Разница в характеристиках тяги двигателей следующая. Максимальная тяга ПАК ФА с двумя двигателями АЛ-41Ф1 составляет 2×8800 (около 10900 на «Изделии 129») кгс; на форсаже с двумя двигателями АЛ-41Ф1 составляет 2×15000 (около 18000 на «Изделии 129») кгс. Завершение опытно-конструкторских работ и поставка первых двигателей Министерству обороны России планируются на 2015 год (одновременно с началом поставок истребителя). На данном этапе о новом двигателе известно лишь то, что «Изделие 129» будет отличаться от АЛ-41Ф1 увеличенной тягой, а также более высокой топливной эффективностью. По некоторым предположениям, двигатель второго этапа сможет развивать тягу в 107 кН в крейсерском режиме полёта и в 176 кН в режиме форсажа, что уже достаточно для удовлетворения требований.

Кроме того, отмечается, что у двигателя будет значительно увеличен межремонтный ресурс. Это должно уменьшить стоимость эксплуатации Т-50 с новым двигателем. Так, Е.Ю. Марчуков, генеральный директор «НТЦ им. А. Люльки» [251], входящего в состав ОАО «НПО Сатурн», производящего новый двигатель, сообщил, что стоимость эксплуатации «Изделия 129» должна быть на 30 % ниже АЛ-41Ф1, примерно на 30 % меньше удельный вес двигателя и сам двигатель будет приблизительно на 30 % дешевле. Это и должно обеспечить успешное выполнение требований заказчика.

8. Как сообщалось в сентябре 2013 г. [253], автомат производства «Ижмаш»-«Калашников» АК-12, разработанный в рамках создания боевой экипировки нового поколения «Ратник», и другие изделия на его основе не прошли предварительных испытаний. При этом образцы, представленные «Ижмашем» (ныне — концерн «Калашников»), не устроили военных ни по надёжности, ни по эргономичности, ни по унифицированности. Как сообщил Ф. Клинецвич, заместитель председателя Государственной Думы по обороне, автомат АК-12 нуждается в серьёзных доработках по тем требованиям, которые предъявляет Министерство обороны [254].

9. Одной из причин отказа от танка четвёртого поколения Т-95 («Объект-195») является несоответствие характеристик танка современным требованиям [255].

Из-за отсутствия необходимых отработанных, унифицированных и проверенных технических решений и необходимых комплектующих стоимость производства танка оказалась намного выше требуемой. Так, по некоторым данным [255, 256], опытный образец стоил 400 миллионов рублей, а ОПК не готов к выпуску такой машины в товарных количествах. Более того, многие смежники просто неспособны были обеспечить его комплектующими в требуемых объёмах.

В связи с этим было принято решение направить усилия на разработку более простого и дешёвого изделия, использующего значительное число унифицированных элементов.

10. Одним из требований к универсальной зенитной ракетной системе С-300 была глубокая унификация её частей [257] между модификациями системы, рассчитанными на применение различными видами войск. Однако глубокой унификации средств зенитной ракетной системы С-300 достичь не удалось. В системах С-300П и С-300В были унифицированы приблизительно на 50 % на уровне функциональных устройств только радиолокационные станции обнаружения командного пункта. В ЗРС ВМФ и войск ПВО страны использовалась единая зенитная управляемая ракета разработки Грушина П.Д. Создатели С-300В в процессе разработки отказались от применения зенитных управляемых ракет разработки двух разных конструкторских бюро. Предпочтение было отдано противосамолётному варианту ракеты Люльева Л.В.

11. По требованию заказчика на истребителе четвёртого поколения Су-27 необходимо было обеспечить реализацию режима боевой готовности и автономных проверок самолётных систем без запуска двигателя, для чего предлагалось проработать на самолёте размещение вспомогательной силовой установки (ВСУ). В ПАО «Компания «Сухой» попробовали решить эту задачу по-другому: вместо ВСУ решили использовать штатный стартер, предназначенный для запуска двигателя. Функционально это предложение было взаимосвязано с решением о применении выносной коробки самолётных агрегатов (ВКА), на которой как раз и устанавливался стартер-энергоузел. В штатном режиме, при запуске двигателя, через приводной вал стартер должен был обеспечивать предварительную раскрутку двигателя, а при отключении ВКА — возможность привода установленных на ВКА самолётных агрегатов без запуска двигателя. Таким образом, при помощи одного и того же агрегата решались сразу две задачи и предотвращался дальнейший рост массы самолёта, что стало бы неизбежным в случае установки на борту самолёта ВСУ.

В качестве стартера-энергоузла для запуска двигателя АЛ-31Ф, разрабатываемого в ОКБ им. А.М. Люльки, предполагалось использовать турбокомпрессор мощностью 87 л. с. Этот разрабатываемый агрегат получил название турбокомпрессорный стартер-энергоузел. Впоследствии разработка этого агрегата была передана на Ленинградское НПО им. В.Я. Климova, где в итоге был создан газотурбинный двигатель-энергоузел ГТДЭ-117 номинальной мощностью 90 л. с., который выбрали в качестве унифицированного агрегата для истребителей Су-27 и МиГ-29.

К сожалению, на практике использование стартера в качестве энергоузла столкнулось с существенными техническими трудностями и не было доведено до конца. При запуске ГТДЭ-117 в режиме энергоузла, при отсутствии загрузки от двигателя, даже при пониженной мощности стартера темп его раскрутки превышал допустимый по привод-генератору ГП-21. Ненадёжно работала и механика переключения ВКА в режим энергоузла (изменение передаточного числа редуктора, отключение двигателя АЛ-31Ф). В результате, несмотря на то что доводка этого режима не представляла особых

трудностей, она была отложена «до лучших времён», а впоследствии — по совместному решению заказчика и изготовителя — от этого требования заказчик отказался.

По мнению специалистов, заказчиков, современные изделия следует создавать приспособленными к тому, чтобы при изменении целей их использования изделия можно было достаточно нетрудно (с малыми затратами материальных ресурсов и времени) изменить для достижения новых целей.

Одна из причин предъявления такого требования к ТИ — обеспечение лучшей конкурентоспособности изделия, например при организации военно-технического сотрудничества [243, 258].

Однако многие современные ТИ не соответствуют этому требованию. Рассмотрим примеры таких несоответствий.

12. Практиками, создающими современные КА, отмечается [259–262], что основной тенденцией на современном этапе развития космической техники дистанционного зондирования Земли является минимизация массогабаритных и энергетических параметров как аппаратуры КА, так и КА в целом, а также приспособление КА к тому, чтобы его можно было нетрудно изменять (его конструкцию и функционирование), например путём введения в конструкцию КА неизменяемой части (платформы) и нескольких унифицированных элементов [259], каждый из которых при необходимости мог быть пристыкован к платформе и, таким образом, было бы обеспечено использование КА по новому целевому назначению. Это должно сделать КА более конкурентным изделием на соответствующем рынке услуг, так как должно привести к снижению стоимости запуска КА из-за снижения затрат на его отработку (как «многоцелевого» КА).

13. Распоряжением Президента Российской Федерации от 18 февраля 1999 г. № 38-рп система ГЛОНАСС определена как система двойного назначения. Она используется рядом министерств и ведомств. Тем не менее сфера использования ГЛОНАСС постоянно расширяется, и в результате проявляются несоответствия состава и характеристик орбитальной группировки ГЛОНАСС требованиям.

14. В сухопутных войсках в целях удовлетворения новых и перспективных потребностей в специализированных машинах принято решение о создании унифицированной модульной платформы для спектра изделий, каждое из которых имеет свои цели. Так, в [263] указывается, что особенностью совершенствования современных изделий становятся опора на высокие технологии и всеобъемлющая унификация и стандартизация.

Поэтому в требованиях к современной наземной технике, в том числе к боевым машинам на платформе «Армата» и «Курганец-25», указывается, что все машины, начиная от грузовиков и заканчивая танками, должны будут иметь компьютеризированные информационно-управляющие системы с единым стандартом (пример — мультиплексные шины передачи данных стандарта MIL-STD в странах НАТО), элементы интеграции в единую систему управления тактического звена, максимально унифицированные модульные узлы и агрегаты [263, 264].

15. Не соответствуют современным требованиям заказчиков характеристики функционирования ОПК, в частности — технологии создания ряда

изделий. Так, 8 апреля 2013 года в г. Москве состоялось расширенное заседание коллегии Министерства финансов РФ «Об итогах исполнения федерального бюджета за 2012 год и задачах органов финансовой системы Российской Федерации на 2013 год» с участием премьер-министра РФ Д.А. Медведева. На данном заседании, наряду с вопросами бюджетной политики и оптимизации госрасходов, обсуждались вопросы формирования новой модели роста экономики, в том числе и на предприятиях ОПК.

В частности, Д.А. Медведев отметил: «Речь идёт о современных технологиях, которые в несколько раз позволят снизить производственные издержки...». Далее он отметил: «Основной и единственный путь развития — это путь модернизации нашей экономики, стимулирования экономики знаний, привлечения внутренних и, конечно, внешних инвестиций. Мы должны действительно провести изменения в нашем промышленном развитии, но не так, как мы это делали в 1930-е годы, а за счёт массового внедрения инноваций...» [259, 265].

Многие заказчики [10, 123, 124] предъявляют требования к изделиям, точнее, к документации изделия, которая поставляется заказчику вместе с изделием. Документация изделия должна изготавливаться в современном цифровом виде в соответствии со стандартами технологий информационной поддержки жизненного цикла изделия (ИПИ) [266].

Предъявляются современные требования и по другим направлениям цифровизации [79] функционирования изделий.

Такие технологии должны позволить заказчику значительно уменьшить трудоёмкость (повысить эффективность) эксплуатации изделия и, при необходимости, осуществить современное информационное (и другое) обеспечение создания, эксплуатации, модернизации изделий.

Как указано в [10, 267], поставляемая документация изделия не соответствует требованиям современных стандартов. Указывается [67], что уровень адаптивности изделий к реалиям цифрового производства значительно отстаёт от требований. Это может приводить, кроме всего прочего, к ухудшению рыночной позиции изготовителя изделий, к ухудшению эффективности функционирования ОПК и снижению конкурентоспособности. В то же время Президентом РФ перед ОПК поставлена задача [67] существенно повысить эффективность функционирования ОПК и выйти на конкурентные рынки производства гражданской продукции.

В [267] отмечается, что на мировом рынке вооружения объективно складывается ситуация, при которой непременным условием сохранения позиций на нём становится выполнение требований международных стандартов по ИПИ, таких как стандарты США MIL-STD-1388, стандарты для аэрокосмической техники ATA-100, АЕСМА 1000 и 2000, универсальный стандарт Великобритании DEF-0060.

В [265] указано, что Российская самолётостроительная корпорация «МиГ» поставляет в Республику Йемен модернизированное изделие МиГ-29СМТ, а в Индию готовит поставку самолётов МиГ-29К и МиГ-29КУБ. Данные модернизации самолётов разработаны для удовлетворения требований соответствующих иностранных заказчиков. Однако реализация этих экспортных поставок самолётов осуществляется без учёта требований меж-

дународных стандартов в области ИПИ, что понижает конкурентоспособность поставляемой техники. Имеются и другие примеры влияния характеристик функционирования СТС ОПК на конкурентоспособность изделий [258, 268, 269].

Заказчики регулярно выставляют претензии российским поставщикам, что приводит к потерям денежных средств и времени, может приводить к отказу заказчика от сотрудничества.

16. В [270] Президент РФ отметил неэффективность взаимодействия между государственным заказчиком и организациями ОПК (при планировании функционирования ОПК), сбои при реализации предприятиями-смежниками поставок комплектующих, низкое качество поставляемых изделий, а также сбои при реализации планов финансирования ОПК [78, 102, 271].

Наблюдаемые переносы сроков, как правило, связываются со срывом выполнения планов поставщиками, несоответствиями процессов поставки, комплектующих требованиям и могут вести к финансовым и иным потерям [63]. Например, планировавшаяся на 15 августа 2007 года передача Индии в лизинг атомной подводной лодки Chakra проекта 971 «Щука-Б» отложена до 15 июня 2008 года, поскольку Амурский судостроительный завод задержал окончание работ на десять месяцев.

Такие сбои в поставках и неплановое финансирование являются одной из причин того, что задачи, решаемые предприятиями ОПК, могут существенно меняться.

Это проявляется в актуализации новых целей функционирования предприятий ОПК. В результате предприятия ОПК должны обладать достаточной (для успешной реализации таких изменённых целей) «приспособленностью к изменениям», адаптивностью [67, 79, 144, 272]. К сожалению, ряд предприятий ОПК обладает такой приспособленностью в недостаточной мере, что может вести к срыву выполнения заданий ГПВ и ГОЗ [64, 79, 102].

17. Президентом РФ на совещании по вопросам использования потенциала ОПК в производстве высокотехнологичной продукции гражданского назначения [273] были обозначены целевые ориентиры по объёму выпуска продукции гражданского назначения в секторе ОПК. Поставлена стратегическая задача повысить к 2025 году долю гражданской продукции до 30 процентов от общего объёма продукции ОПК, а к 2030 году — до 50 процентов. Президент отметил: «Потенциал для решения этой задачи у наших оборонных предприятий, безусловно, есть. Они располагают крепкой производственной, технологической и кадровой базой, имеют хорошие научно-технические заделы. Более того, на многих из них такая работа уже идёт, в том числе в сотрудничестве с ведущими российскими университетами, научными организациями, с нашими гражданскими ведомствами».

К сожалению, решение этой стратегической задачи усложняется наличием ряда недостатков предприятий ОПК.

Так, по итогам проведения анализа организаций ОПК институтом экономических стратегий (ИНЭС) РАН в 2015–2018 гг. и анализа мнений участников Всероссийского конкурса «Аналитик ОПК России» [80] указано на недостатки развития ресурсного, технологического, кадрового, инновационного, финансового, маркетингового потенциалов ОПК и как результат —

недостатки развития стратегического потенциала, что мешает решению стратегических задач ОПК. Указано, что организации ОПК РФ не продемонстрировали сильную компетенцию по планированию в отношении цифровой трансформации предприятий и выпускаемых изделий. Это происходит в результате слабо развитой практики корпоративного стратегического планирования.

Сделано заключение об основных проявлениях недостатков развития стратегического потенциала предприятий ОПК:

1. Срок внедрения новых видов продукции и модификации производства достигает в отдельных случаях 20 лет.

2. Замкнутое на сугубо отраслевые задачи внедрение инноваций и их экономическая неэффективность приводят к низкой доле прибыли и инвестиций прибылей, приходящихся на инновации.

3. Отсутствие ясно обозначенных перспектив для прорывных технологий, пассивность сотрудников и руководителей предприятий ОПК в отношении инноваций.

4. Низкая креативность в маркетинговых усилиях по завоеванию новых рыночных позиций при действующих в настоящее время методах стимулирования.

5. Существующие механизмы финансирования сдерживают рост конкурентоспособности, ведут к маркетинговой пассивности предприятий ОПК.

6. Слабы компетенции по созданию торговых марок, защите интеллектуальной собственности, продвижению на рынке в условиях активного противодействия конкурентов.

Наиболее полно на сегодня приоритеты новой ГПВ на 2016–2025 гг. определены вице-премьером Д. Рогозиным в его выступлении в Государственной Думе [274]. Это: 1) «автоматизированная система управления Вооружёнными Силами, автоматизированная система управления полем боя, визуализация поля боя, робототехника»; 2) «сокращение типов вооружений, военной и специальной техники»; 3) «модульность»; 4) «межродовая унификация и создание межсредних аппаратов»; 5) «электронно-компонентная база»; 6) «переход к контрактам полного жизненного цикла». Отмечено, что именно неуправляемый рост номенклатуры ВВТ и отсутствие их унификации стали одним из основных движущих мотивов перехода к долгосрочному планированию развития вооружения, введённому полстолетия назад в СССР Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 10 июня 1969 г. № 433–157–69 г.

Приложение В. Примеры способов совершенствования СТС ОПК путём изменения состава СТС

Изменение состава СТС реализуется путём изменения вида элементов, входящих в состав СТС, и (или) путём изменения числа элементов одного вида.

Так, для совершенствования характеристик системы ГЛОНАСС (которая является сложной технической системой), рассмотренной в шестом примере недостатков, была разработана и утверждена федеральная целевая программа (ФЦП) «Глобальная навигационная система», в рамках которой, в частности, реализовывалось доведение орбитальной группировки системы ГЛОНАСС до штатного состава. Результаты реализации комплекса мероприятий этой программы позволили привести функционирование ГЛОНАСС в соответствие требованиям по составу орбитальной группировки КА.

Это изменение было выполнено Правительством РФ (то есть средой системы ГЛОНАСС) с помощью планирования и реализации мероприятий ФЦП за счёт бюджетных средств.

В 2010–2015 гг. государственная корпорация «Роскосмос» изучала возможность оптимизации созвездия спутников ГЛОНАСС и изменения навигационных сигналов путём внесения изменений в текущую трёхплоскостную орбитальную модель с равномерным распределением спутников, увеличения числа космических аппаратов в группировке до 30 [275]. За счёт этого планировалось реализовать требуемые изменения системы ГЛОНАСС так, чтобы она могла успешно достигать цели различных заказчиков.

В четырнадцатом примере недостатки разрабатываемого российского танка [276] планируется устранить путём включения в его состав унифицированной платформы «Амата». *Унифицированность* изделия «Амата» позволяет использовать его как «базовое» для создания не только танка, но и других видов ВВСТ.

Так, командование Сухопутными войсками (СВ) считает [264], что оснащение соединений и частей СВ современными образцами ВВСТ на базе платформы «Амата» обеспечит наращивание *боевого потенциала* СВ.

Приложение С. Примеры устранения недостатков ОПК путём модернизаций и инноваций СТС

Так, в рассмотренном ранее **седьмом примере** для создания авиационного двигателя пятого поколения («Изделия 129») части двигателя должны быть изготовлены из новых керамических материалов, выдерживающих высокие температуры [277]. В результате турбина высокого давления «Изделия 129» будет работать без охлаждения лопаток, подшипники — без смазки.

В **восьмом примере** при создании АК-12 требовалось улучшить эргономические характеристики изделия, повысить его универсальность за счёт унификации частей изделия при сохранении или некотором улучшении его боевых характеристик.

Так, в автомате АК-12 для этого предложено использовать направляющие типа «Пикатинни», расположенные на крышке ствольной коробки и на верхней накладке цевья, а также короткие направляющие по бокам цевья. Нижняя часть цевья предлагается в двух вариантах — с планками типа Пикатинни для крепления фонарей, рукояток и т. п. или без направляющих, для крепления штатных подствольных гранатомётов ГП-25, ГП-30 или ГП-34. Автомат может использоваться как со штатными магазинами соответствующего калибра ёмкостью 30 патронов (от АК-74 или АКМ, в зависимости от калибра), так и с магазинами от РПК / РПК-74, а также с перспективными 4-рядными коробчатыми магазинами ёмкостью 60 патронов. Предполагается выпуск версии АК-12 под патроны 7,62x51 НАТО [253, 254, 278].

Одной из особенностей автомата стала модульность его конструкции, за счёт изготовления отдельных унифицированных сборочных единиц (ствольных коробок, затворов, ударно-спусковых механизмов и т. д.), из которых могут собираться различные изделия и их модификации: автоматы, винтовки, пулемёты.

В результате унификации характеристики частей изделия меняются для того, чтобы упростить изменение изделия при смене целей его функционирования, а также для того, чтобы упростить изготовление изделия, его обработку и эксплуатацию.

При этом для спецподразделений, цели функционирования которых отличаются от целей, достигаемых типовыми подразделениями Вооружённых Сил, было предложено выпускать изделие, которое можно было бы легко изменить самому бойцу для достижения изменившейся цели [254].

В **девятом примере** в связи с прекращением работ по «Объекту-195» было принято решение направить усилия на разработку изделия, использующего значительное число унифицированных элементов. В результате Министерство обороны сообщило о начале работ по созданию танка Т-14, который должен стать основным танком Вооружённых Сил РФ на платформе «Армата» [279].

Унифицированная платформа будет использована в ряде изделий, и тем самым будет снижена общая стоимость и сроки создания комплекса изделий разного назначения.

Так, комплекс «Коалиция-СВ» со спаренной артиллерийской установкой и боекомплектом с механизированным зарядением тоже поставят на платформу «Армата», которую сейчас создают на «Уралвагонзаводе», рассказал «Известиям» представитель ЦНИИ «Буревестник», разрабатывающий комплекс для Минобороны [262].

В семнадцатом примере в качестве одного из перспективных направлений улучшения характеристик изделий рассматривается использование технологии интернета вещей и других технологий цифровизации функционирования изделий [80].

Приложение D. Примеры устранения недостатков путём изменения состава связей между элементами СТС и связей между СТС и её средой

Такие изменения проявляются в создании новых связей и (или) в уничтожении старых связей.

Примеры создания новых связей.

В **десятом примере** совершенствование С-300 и его «глубокая» унификация были реализованы, в частности, путём использования модульной конструкции изделия.

При этом были введены два «модуля», один из которых объединяет унифицированные (одинаковые) элементы системы, а другой — особые элементы, для каждой модификации системы.

Прежде существовавшие связи между элементами системы были заменены новыми связями: связями между элементами и модулем и связями между модулями системы. После этого изменения в действиях системы участвовали не прежние её элементы, а модули системы.

Унифицированные элементы системы должны разрабатываться по одной технологии, по возможности — на одном предприятии, благодаря чему будет достигаться ускорение создания и удешевление изделия.

Это позволило успешно завершить работы по созданию системы, которая получила обозначение С-300ПМУ.

Примеры уничтожения старых связей.

При преодолении несоответствий, описанных в **пятом примере**, необходимо изменить состав *связей между СТС и её средой*, а именно: удалить связи с такими поставщиками ресурсов и комплектующих, которые не обеспечивают успешного функционирования СТС, а затем ввести новые связи по обмену ресурсами и комплектующими с другими поставщиками и (или) заменить существующие связи с поставщиками на новые.

Такое изменение связей реализуется в виде заключения новых договоров с поставщиками или внесения изменений, касающихся характеристик поставок, в существующие договоры. Смену используемых ресурсов называют ресурсозамещением.

Для преодоления несоответствий, вызванных прекращением поставок некоторых комплектующих из стран СНГ, следует выполнить планирование закупок комплектующих с учётом возможностей замены зарубежных поставщиков отечественными (импортозамещение).

Ряд несоответствий может быть преодолён путём изменения состава поставщиков или характеристик поставок. Такие изменения реализуются благодаря изменению действующих договоров (закупок, обслуживания, поставки).

Наконец, для преодоления несоответствий, рассмотренных в **пятом примере**, должны планироваться компенсирующие мероприятия для предотвращения негативных последствий изменений ресурсов, потребляемых при функционировании предприятий ОПК. Эти мероприятия, как правило,

представляют собой связи в виде обмена ресурсами разного вида — в зависимости от особенностей ресурсов (финансовые, энергетические, персонал, материалы, заготовки, складированные, нескладированные, в зависимости от допустимых сроков хранения, цен на ресурсы, от стоимости замещения, длительности производственных циклов по расходованию ресурсов) и в зависимости от возможных неблагоприятных изменений характеристик ресурсов.

Приложение Е. Примеры изменений характеристик связей между элементами СТС и характеристик связей между СТС и её средой

Так, для устранения указанных в **пятнадцатом примере** несоответствий было предложено изменить способы по созданию и применению СТС с помощью ИПИ-технологий в соответствии с существующими и (или) перспективными технологиями цифровизации [79, 267]. Такое изменение способа действий позволяет получить современную цифровую документацию на изделия в требуемом заказчиками виде, использовать новые цифровые технологии производства и эксплуатации изделий.

При этом возможны как негативные, так и позитивные результаты.

Так, в ОКБ «Сухой» создана и внедрена технология разработки цифровой документации, что позволило использовать современные ИПИ-технологии [10, 124], удовлетворить требования заказчика и, как следствие, улучшить не только создание, но и эксплуатацию изделий ОКБ «Сухой».

Приложение F.

Примеры изменения последовательности актуализации связей между элементами СТС при её функционировании

Так, для преодоления несоответствий, описанных в **четвёртом примере**, в связи с частым изменением целей государственной программы вооружения (ГПВ) и ГОЗ разрабатываются и реализуются современные технологические процессы, а затем, на этой основе, технологические графики и технологические маршруты создания изделий — в том числе их поставки — при функционировании ОПК. Это позволяет улучшить функционирование СТС ОПК и, таким образом, достичь требуемых результатов ГПВ и ГОЗ.

Для преодоления части несоответствий, описанных в **семнадцатом примере**, предложено реализовать цифровую трансформацию [79] предприятий ОПК. В результате планируется изменить технологию производства, реализовав переход к «Индустрии 4.0», и достичь роста показателей производительности, улучшения качества проектирования и изготовления, снижения себестоимости продукции, осуществить контроль за эффективностью использования инвестиций, обеспечить высокую скорость выпуска новых продуктов.

Приложение Г. Примеры совершенствования путём изменения планов функционирования СТС

Для устранения недостатков, указанных в **шестнадцатом и семнадцатом примере** несоответствий, следует изменить процедуры планирования мероприятий (функционирования СТС ОПК) так, чтобы корректно учесть возможность их срывов и, соответственно, изменение цели функционирования СТС ОПК. Это должно позволить успешно перепланировать функционирование СТС ОПК в случае возникновения указанных событий. Для совершенствования планирования, например, создана информационная система «ГАС-ГОЗ» [79, 274], в рамках которой должны быть использованы современные *информационные технологии планирования* — такие информационные технологии, которые направлены на разработку планов функционирования СТС с учётом возможных изменений её среды при функционировании [280, 281].

Реализуется цифровая трансформация предприятий ОПК. Так, объединённая авиастроительная корпорация намерена [80] использовать технологию интернета вещей при сборке нового транспортного самолёта Ил-76МД-90А (Ил-476). В частности, по данным представителей компании, на ульяновском заводе «Авиастар-СП» начались работы по установке первой отечественной бесстапельной линии сборки самолёта Ил-476. Бóльшая часть операций по сборке военных самолётов будет роботизирована.

Приложение Н.

Особенности вводимого свойства потенциала СТС — денотата понятия, особенности его концепта и знака

Практики и теоретики часто используют для такого свойства слово «потенциал» — экономический потенциал [31, 282], конкурентный потенциал [282], военный потенциал [283], производственный потенциал [284], кадровый потенциал, ресурсный потенциал, инновационный потенциал, адаптационный потенциал, цифровой потенциал [67, 79].

За рубежом используются понятия *capability*, *potentiality*, *dynamic capabilities*, *digital capabilities*, *operational capabilities*, *IT capabilities*, *IT enabled dynamic capabilities* [99, 147, 285–294]. Исследование потенциала должно позволить вскрыть связи с этими понятиями об операционных свойствах и, возможно, подойти и к их оцениванию.

К сожалению, устоявшегося общепотребительного понимания термина «потенциал», «*capability*», пригодного для решения задач с использованием прогнозных математических моделей этого свойства, пока не сложилось ни в РФ, ни за рубежом.

Так, в Большой советской энциклопедии [284] термин «потенциал» определяется как средства, запасы, источники, имеющиеся в наличии и могущие быть мобилизованы, приведены в действие, использованы для достижения определённых целей, осуществления плана; решения какой-либо задачи; возможности отдельного лица, общества, государства в определённой области.

Понятие о потенциале часто используется в экономической науке, социологии и военном деле. Так, в экономической науке часто используется понятие «экономический потенциал» (ЭП). ЭП — «совокупная способность экономики, её отраслей, предприятий, хозяйств осуществлять производственно-экономическую деятельность, выпускать продукцию, товары, услуги, удовлетворять запросы населения, общественные потребности, обеспечивать развитие производства и потребления» [284, 295].

Понятие потенциала системы тесно связано с такими понятиями, как результативность, производительность, эффективность, риск, потребительская стоимость, цена, конкурентоспособность, другими понятиями, описывающими свойства объектов, характеризующие возможные результаты их использования. Такие свойства условимся называть операционными свойствами [41, 42, 45, 296–301].

Operational — «действующий, относящийся к деятельности, к последовательности выполняемых для достижения целей действий. Latin: *operat* — «done by labour», from the verb *operari*, from *opus*, *oper-work*». Отсюда опера, оперирование, операционист, опус» [295, 302].

В греческом языке имеется слово с близким смыслом: прагматический (от *πράγματος* — «дело, действие»). Соответственно, говорят о прагматическом подходе, прагматической философии. При этом подчёркивается аспект пользы от реализуемых действий [34, 37, 48, 303, 304].

Другое близкое слово — практика, практический подход (от πράξις — деятельность) — разумная человеческая деятельность для достижения целей [305, 306].

Говоря об операционных (прагматических) свойствах, следует учитывать характеристики деятельности, её условия, возможности и результаты, цели, способы их достижения, результаты действий и их соответствие требованиям.

Исследование операционных (прагматических, праксеологических) свойств следует выполнять с учётом изменяющихся условий среды, при достижении изменяющихся, действительной и возможных целей.

Потенциал СТС — комплексное операционное (прагматическое) свойство СТС, характеризующее её приспособленность к достижению изменяющейся цели (в таких изменяющихся условиях среды).

В изданиях на других языках используется ряд близких по смыслу или отражающих отдельные аспекты свойства «потенциал» и близких по смыслу англоязычных терминов и терминов на других языках.

Так, словарь Вебстера определяет понятие «*capability*» следующим образом: «*capability is a certain ability, the quality of being capable, a potential aptitude*». Как видно, уже в определении встречается понятие *potential* (в смысле потенциальный). Часто термин *capabilities, potential* используется в военном деле [283], где он близок по смыслу терминам «боевые способности» и «боевой потенциал».

В последние годы исследования социально-экономического развития — на которые направлены ЦП, рассмотренные ранее — во многих странах реализуются с опорой на методологию оценивания «возможностей развития» («*capabilities approach*») нобелевского лауреата по экономике Амартьи Сена [287, 288]. Эти возможности автор определяет как «качества людей, принципиально влияющие на их возможные состояния развития», как и другие авторы, связывая их с проявлениями «возможностей развития, гибкости при совершенствовании» [47, 307, 308].

При этом сам [309–311] автор отмечает, что для использования его методологии необходима «операционализация» его методологии, под которой понимается определение прикладных методов, алгоритмов, позволяющих рассчитывать числовые значения показателей, а затем использовать полученные выражения для расчёта показателей при решении задач.

В разработанной А. Сеном методологии рассматриваются операционные возможности людей («*human capabilities*»).

Оценивание таких операционных возможностей связано с рядом трудностей концептуального и методологического характера. Так, не создано концепции, связывающей достижение целей, деятельность людей в различных условиях, системы, используемые ими, функционирование систем, качество систем, характеристики элементов, используемых людьми в процессе своей деятельности. Для оценивания операционных возможностей необходимо построение моделей действий людей, их возможностей в различных условиях, уточнения, изменения, выбора этих возможностей людьми.

Эта концепция (*capabilities approach*) была предложена А. Сеном как ответ на несовершенство экономических показателей качества жизни, опреде-

ляемых с использованием понятия «валовой внутренний продукт» (ВВП). К числу показателей такого вида относятся ВВП по паритету покупательной способности, ВВП на душу населения.

Концепция А. Сена может быть упрощённо представлена следующим образом:

1. Оценивать качество жизни в той или иной стране по величине произведённых и потреблённых продуктов (услуг) некорректно, поскольку производство осуществляется для того, чтобы люди могли достичь желаемых состояний, то есть производство лишь предоставляет ресурсы, потребление которых может быть средством реализации своих возможностей людьми, а не целью.

2. Качество жизни определяется имеющимися у людей возможностями, под которыми А. Сен понимает возможные состояния в процессе жизнедеятельности.

Таким образом, в концепции А. Сена возможности развития — это те состояния, которых человек может достичь при реализации деятельности с имеющимися ресурсами. Такие состояния — «операционные возможности» людей, и они, несомненно, определяют операционные свойства людей и их коллективов.

Мероприятия социально-экономического развития, в том числе мероприятия целевых программ [84–86, 312], понимаются А. Сенем как мероприятия, направленные на повышение человеческого потенциала, например, мероприятия, направленные на повышение доходов, снижение смертности, улучшение безопасности, совершенствование образования и медицинского обслуживания [313, 314]. Таким образом понятие о человеческом потенциале оказывается тесно связанным с реализацией целевых программ, с совершенствованием систем.

Аспекты концепции А. Сена, которые подлежат совершенствованию, согласно [287, 288, 292]:

1. Операционализация метода А. Сена («operationalizing») — а именно — разработка процедур и алгоритмов оценивания потенциала.

2. Учёт ошибок, неточностей, случайностей.

3. Учёт целей и алгоритмов их актуализации.

Несколько другое понимание «capabilities» свойственно авторам, близким к военно-промышленному комплексу (прежде всего США), и экспертам стратегических исследовательских центров корпорации RAND, Hudson Institute, Center for American progress [94, 315–318], а в последнее время — в Китае. Они понимают под ними состояния, в которые может переходить система при функционировании — т. е. операционные возможности. Как будет показано далее, операционные возможности рассматриваются и при исследовании потенциала как комплексного операционного свойства системы.

К числу современных концепций оценивания комплексных операционных свойств государства относятся концепции интегральной национальной мощи и стратегической перезагрузки [289, 316] — для США, комплексной национальной мощи [315] — в Китае.

Для исследования целевых программ в КНР Хуаном Шофеном введено понятие комплексной мощи государства (КМГ) [319, 320]. Она определена

как «интегральное свойство, характеризующее экономический, политический, военный, научно-технический и другие потенциалы страны. При расчёте показателей КМГ учитывается совокупность факторов, определяющих способность страны развиваться, сопротивляться трудностям, внешнему давлению, дезинтеграционным процессам, отстаивать свою систему ценностей».

В отличие от ряда западных авторов в КМГ учитываются такие аспекты, как способность этноса к формированию и восприятию идей, международное значение страны.

В качестве показателя КМГ используется «свёртка» статистических показателей с использованием определяемых экспертами коэффициентов.

В США для исследования ЦП используется концепция National Power («национальная мощь»), которая определяется [289] как «комплекс ресурсов, возможностей их преобразования в результаты, и результатов».

Современные авторы по проблеме количественного оценивания национальной мощи, интегрированной национальной мощи, комплексной национальной мощи основываются на значительном числе трудов по количественному, аналитическому оцениванию мощи государства, выполненных ранее [289, 315–317].

Например, композитный индекс национального потенциала (Composite Index of National Capability, CINC), статистический показатель национальной мощи, предложен J. Singer для проекта «соотношения войны» в 1963 г. Использует среднее процентное соотношение в общемировом целом для шести различных компонент. Компоненты представляют демографию, экономику, военную силу [321].

Как описано в [321], это до сих пор один из наиболее известных и наиболее общепотребительных методов измерения национальных потенциалов (national capabilities).

Тем не менее, считается, что CINC отражает только материальную (hard) национальную мощь и не отражает нематериальные (soft) аспекты национальной мощи.

Часто понятие национальной мощи (National power) используют для исследования стратегической способности суверенного государства использовать все свои ресурсы для того, чтобы влиять на другие страны [289].

Это наиболее важный показатель измерения основных национальных богатств и ресурсов страны, а также всесторонний индикатор экономической, политической, военной и технической мощи страны.

В этой концепции capabilities представляются как ресурсы, имеющиеся в настоящем элементы (элементы — носители потенциала), преобразуемые далее с помощью national processes, процессов функционирования общества (национальной деятельности) в power in outcomes, результирующую мощь (эффекты).

Здесь в скобках приведены ближайшие системологические и теоретико-эффективные аналоги понятий, используемых при исследовании потенциала.

Как правило, при исследованиях национальной мощи [289] предполагается, что процесс создания военного потенциала имеет иерархический ха-

рактический характер: военная структура государства получает ресурсы и преобразует их в специфические военные потенциалы («military capabilities»).

Материальная составляющая военной мощи («hard power») — условное наименование для концепции оценивания национальной мощи, основанной на применении традиционных методов политического воздействия, включая материальное и политическое принуждение и военную силу. Соответственно, для измерения национальной мощи, основываясь на концепции материальной составляющей, измерялись материальные результаты и строились показатели для их оценивания. К сожалению, эти показатели не позволяют вскрывать причины и механизмы проявления тех или иных результатов, преобразования ресурсов в результаты, рассчитывать показатели национальной мощи в зависимости от разных возможных воздействий.

В противовес этой концепции, «soft power» концепция, предложенная Джозефом Найем (Joseph Nye) [317], основывается на использовании силы примера, убеждения, апеллирования к «общечеловеческим» ценностям, использовании культуры и пропаганды вместо «грубой силы» — экономического, политического и военного принуждения.

Для использования таких методов воздействия необходимо оценивать получаемые результаты, что и привело к необходимости учёта ряда дополнительных результатов в составе показателей национальной мощи другими авторами [288, 289, 318].

Однако это не привело к существенному изменению методов оценивания национальной мощи.

Следует отметить концепцию, родившуюся в результате критического осмысления результатов президентства Дж. Буша, разработанную некоммерческим исследовательским центром «Центр для прогресса Америки» («Center for American Progress») под руководством Джона Подесты (John Podesta). Эта концепция, разработанная в этом центре Лоуренсом Корбом (Lawrence J. Korb), носит название «интегральная мощь» (integrated power) [316].

Основная идея этой концепции состоит в комплексном, системном, оптимальном использовании методов «грубой силы» и «мягкой силы», изменении основных принципов («перезагрузки») отношений, установлении новых связей между политикой, культурой, экономикой, использовании системы воздействий разного вида при решении политических проблем. К сожалению, количественных показателей, позволяющих оценить национальную мощь в соответствии с этой концепцией, ещё не создано. Кроме того, следует отметить, что для нахождения оптимальных способов действия, необходимых в соответствии с этой стратегией, требуется разработать такие показатели интегральной мощи, которые позволили бы оценивать с использованием математических моделей, а затем сравнивать несколько воздействий на основе ясно интерпретируемой меры (значения целевой функции), разработать такие модели для оценивания показателей интегральной мощи, которые позволяли бы сопоставлять выбранному действию значение целевой функции, а затем переходить и к синтезу действий.

Близкое понимание потенциала и военной мощи свойственно российским авторам, исследующим функционирование ВПК [283]: военная (оборонная) мощь государства — совокупность всех постоянно задействован-

ных в военное и мирное время материальных и духовных сил, способность государства отобилизовать все силы для ведения войны (отражения агрессии). Обусловлена экономическими, социально-экономическими и морально-психологическими возможностями государства. Непосредственно воплощается в вооружённых силах, их способности выполнять задачи, поставленные политическим руководством. Должна быть адекватна характеру и перспективам военно-политической обстановки, уровню текущей военной опасности и экономическим возможностям государства.

Как видно, это понятие близко по смыслу к потенциалу вооружённых сил, исходя из данного ранее определения потенциала системы, и в то же время близко понятию «Military capability».

Несмотря на существенные отличия, и комплексная мощь государства, и национальная мощь характеризуют комплексное операционное свойство государства в целом, однако учитывают разные аспекты этого операционного свойства в разной мере.

Практика исследования этих операционных свойств [27], [322], к сожалению, обычно не предполагает прогнозного, на математических моделях, оценивания, анализа СТС по показателям операционных свойств, поскольку их оценивание в настоящее время основывается в основном на обработке статистических данных предыдущих лет, то есть — оценивается свойство системы в прошлом, а не в будущем, как это часто необходимо. Соответственно, не решаются и задачи синтеза.

Этот недостаток отмечается, в частности, в работе [323], где указывается, что такое определение операционных свойств ведёт к манипулированию показателями для достижения политических целей. Автор показывает, что для научно обоснованного исследования необходимо определить комплексное свойство социальной системы, связанное с достижением ею цели. Это свойство названо автором [323] *успешностью сложной социальной системы*.

В России и за рубежом уже создан комплекс концепций, методологий, методического и информационного обеспечения повышения эффективности функционирования систем, концепций совершенствования свойств функционирования СТС. Так, стандартизированы архитектуры организаций ОПК с учётом реализуемых информационных технологий, создан ряд концепций совершенствования различных свойств функционирования СТС, разработаны стандарты для реализации процессов улучшения операционных возможностей в ОПК, разработаны стандарты архитектур информационных систем оборонных предприятий, разработан ряд методик планирования совершенствования ОПК, управления государственными закупками, оценивания результатов применения информационных технологий (ИТ) в ОПК [67, 79].

Однако значительная часть задач в этой области остаётся нерешённой, а сами задачи, как правило, решаются без использования прогнозных математических моделей, на основе эвристик и обобщения опыта практики. Значительная часть полученных результатов, касающихся совершенствования свойств функционирования СТС в процессе оборонного строительства, получена в 90-х годах и позже в странах НАТО. Эти результаты зачастую

не имеют аналогов в РФ, не применяются в РФ и требуют существенной адаптации для построения математических моделей. Недостаточно хорошо реализуется прогнозирование числовых прогнозных зависимостей между выбираемыми альтернативами, затратами ресурсов и результатами функционирования СТС ОПК, зависимостей этих результатов от характеристик используемых информационных технологий. Не решены задачи научно обоснованного, на базе математических методов, прогнозирования свойств функционирования СТС в зависимости от характеристик реализуемых СТС мероприятий и используемых элементов СТС, от характеристик оборонных и других ЦП, реализуемых с СТС, от характеристик этих ЦП.

Оценивание комплекса свойств функционирования СТС целесообразно реализовать с использованием понятия о комплексном свойстве функционирования СТС — потенциале СТС.

Однако из описания указанных понятий не ясно, что за свойство описывает «потенциал СТС», как его можно оценить, как оно зависит от характеристик СТС и как, наконец, можно решать задачи оценивания, анализа этого свойства и синтеза характеристик СТС, пользуясь определением такого свойства.

Исследование эффектов цифровизации производства, в том числе в ОПК, тесно связано с изучением понятия о потенциале, в частности — о цифровом потенциале, потенциале цифровизации [79–81].

За рубежом ведущими мировыми исследовательскими организациями ведутся активные исследования по направлению оценивания эффектов цифровизации экономики, что свидетельствует об актуальности таких исследований. Так, Международный валютный фонд (МВФ), Организация экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) и Организация Объединённых Наций (ООН) выпустили ряд методик оценивания эффектов и успешности цифровизации [142, 324, 325].

Ряд положений этих методик адаптирован или адаптируется в РФ [326]. Дальнейшие исследования ведутся в направлении разработки научно обоснованных методик оценивания результатов цифровизации экономики с использованием математических моделей [100, 324].

К сожалению, указанные исследования характеризуются рядом недостатков, связанных, прежде всего, с отсутствием концепции и методологии исследования «цифрового потенциала»:

1. Исследования, как правило, реализуются апостериорно — после получения практических результатов использования. Часто такие исследования реализуются на основе эконометрики, статистически и (или) с привлечением экспертов [324]. Однако такое исследование не позволяет в полной мере объяснить механизм формирования эффектов, а значит, не позволяет научно обоснованно прогнозировать эффекты, в том числе — эффекты таких ИТ, которые ещё не внедрялись на практике. В результате внедрение таких ИТ часто реализуется без математического моделирования результатов внедрения.

Это ведёт, как следует из практического опыта, к тому, что значительное число (более 80 %) внедрений информационных технологий заканчивается неудачей в том или ином виде. Неудачным внедрением называют, например,

такое внедрение, когда результаты внедрения не используются на практике, например, потому что не дают требуемых эффектов. Необходимо исследовать операционные свойства внедрения, в том числе «цифровой потенциал», априорно, на математических моделях, до появления данных об эффектах использования на практике. Особенно это актуально для новых проектов внедрения новых ИТ в рамках создания «цифрового производства», особенно при реализации «пилотных» проектов.

2. При прогнозировании результатов использования информационных технологий — если оно всё-таки реализуется — предполагается, что зависимости, связывающие результаты информационных и неинформационных действий, а затем и результаты функционирования системы с использованием ИТ от характеристик системы, среды и их функционирования, заданы или могут быть легко получены и использованы для прогнозирования. Однако на практике, при получении таких зависимостей, персонал сталкивается сначала с серьёзными практическими сложностями при описании связей информационных и неинформационных видов деятельности (действий), а затем с концептуальными и методологическими сложностями моделирования таких связей. А именно — как правило, сложно описать что, как и почему становится результатом использования информационных технологий, к чему это использование приводит и как цепочки результатов описывать количественно.

Это особенно характерно для новых областей внедрения ИТ, в частности — при реализации проектов и программ по переходу к «цифровому предпринятию», «цифровому производству», «цифровой экономике». Не вскрыв закономерности проявления результатов ИТ, формирования «цифрового потенциала», проблематично выполнить моделирование того, что ещё не ясно концептуально, а затем и проблематично использовать математические методы для решения соответствующих задач.

3. Закономерности формирования эффектов информационных и затем неинформационных действий, общие для различных видов деятельности, не исследуются и не вскрываются. Практикам и теоретикам при исследовании каждого нового вида деятельности с теми или иными СТС приходится заново концептуализировать совершенствование деятельности и СТС, использование ИТ при реализации деятельности этого вида с СТС, а затем разрабатывать концептуальные и методологические основы использования информационных технологий для этой СТС и вида деятельности.

4. В полной мере не учитывается роль среды системы в актуализации необходимости информационных действий и, соответственно, в результатах информационных действий. А именно — не учитываются особенности формирования необходимости (актуализации) реализации информационных действий в результате изменений со стороны среды системы. Такое воздействие при внедрении информационных технологий в рамках «цифровой экономики» нельзя не учитывать.

Заметим, что указанное воздействие частично вскрыто на концептуальном уровне в рамках зарубежного направления стратегического планирования («dynamic capabilities») и [327–329] исследования операционных свойств ИТ («IT capabilities»), развиваемых, в частности, в Калифорнийском

и Гарвардском университетах. Указано на перспективность исследования ряда недостаточно хорошо исследованных закономерностей проявления эффектов информационных технологий, цифровизации [330–335] в экономике [336, 337], производстве [338–341], в науке [342], военно-промышленном комплексе [343]. Однако научно обоснованная прогнозная математическая модель влияния среды на функционирование и совершенствование СТС, а затем — проявлений результатов использования ИТ построена не была.

5. В полной мере не учитываются возможности изменений целей функционирования СТС. Современные ИТ могут позволить переходить от достижения одной цели к достижению другой с лучшими результатами, чем традиционные ИТ. Этот аспект следует учитывать и исследовать эффекты использования ИТ с учётом возможностей воздействия среды, изменения целей на математических моделях использования ИТ.

Приложение I. Концептуализация проблемы исследования потенциала

1. Метод концептуализации проблемы исследования потенциала СТС

1.1. Введение

Концептуализация проблемы исследования потенциала сложных технических систем (СТС) (которая в данной исследовании предстаёт как *научная* проблема исследования потенциала СТС) — это действие, целью которого является концептуальная модель указанной проблемы.

Выполнение концептуализации требует разработки *метода*⁸ *концептуализации* проблемы исследования потенциала СТС.

Заметим, что метод действия — это вид и способ действия⁹.

При этом, как это предложено в работе¹⁰, указание вида действия — это отнесение действия либо к классу теоретических, либо к классу практических. В данном случае разработка концептуальной модели — это действие теоретическое, возникающее вследствие теоретизации ради познания, в частности — ради того, чтобы сделать ясным понятие «Проблема исследования потенциала СТС». Разработка концептуальной модели завершает концептуализацию проблемы исследования потенциала СТС. При этом концептуальная модель должна быть представлена в такой форме, которая необходима для упрощения дальнейшего перехода от неё (точнее, для разработки метода перехода от неё) к разработке методологических основ исследования потенциала СТС, что завершает разработку основ теории потенциала СТС. При этом совокупность метода концептуализации проблемы и полученной с его помощью концептуальной модели составляет содержание *основ концепции исследования потенциала СТС*.

Указание способа действия — это описание^{11, 12} того, как действие следует начинать, как продолжать и как заканчивать. Будучи теоретическим, метод моделирования — как метод *действия* — следует из *принципов и содержит принципы* действия, то есть *основные правила* действия. Иначе: теоретический метод действия — это *совокупность принципов действия*. При

⁸ Но гораздо лучше никогда не думать об отыскании истины какой бы то ни было вещи, чем делать это без метода [Декарт Р. Сочинения в 2 т.: Пер. с лат. и франц. Т. 1 / Сост., ред., вступ. ст. В.В. Соколова. — М.: Мысль, 1989. — 654, [2] с., 1 л. портр., — (Филос. наследие; Т. 106)]. — С. 86.

⁹ И. Кант. Логика. Пособие к лекциям (1800 г.). В книге: И. Кант. Трактаты и письма. Отв. ред. А.В. Гулыга. — М.: Наука, 1980. — 710 с. (АН СССР. Ин-т философии. Памятники филос. мысли).

¹⁰ Там же.

¹¹ Ивин А.А. Импликации и модальности. — М.: ИФРАН, 2004. — 126 с. — (Российская академия наук. Ин-т философии).

¹² Описание — это высказывание, главной функцией которого является сообщение о реальном положении вещей и которое является истинным или ложным [Ивин А.А. Импликации и модальности ..., с. 16].

этом принцип (или основное правило) — это совокупность его (принципа) *основоположений*¹³ и *понятий*¹⁴.

В связи с данными определениями метод концептуализации проблемы исследования потенциала СТС — это теоретический метод познания, включающий ряд принципов, проясняющих способ действия, в данном случае — способ разработки концептуальной модели проблемы исследования потенциала СТС.

Метод концептуализации проблемы исследования потенциала СТС включает следующие принципы.

1. Принцип *научности*: метод, как указано, является теоретическим методом познания, следовательно, в его основу должны быть положены идеи теорий (наук), полезность которых (идей) подтверждена практикой развития научного знания. В частности, метод будет базироваться на трёх основаниях, на трёх группах наук: логика (учение о понятиях, логико-семантическая концепция и логика предикатов); системология и исследование операций; технические науки.

2. Принцип *праксеологичности*: в соответствии с этим принципом метод должен давать такие результаты (модели), использование которых было бы направлено на совершенствование СТС и их функционирования при применении в различных сферах деятельности. В связи с этим метод будет базироваться на основных понятиях и идеях наук, результаты которых дают возможность так совершенствовать сложные системы и так управлять их использованием, чтобы добиваться максимально возможной эффективности деятельности человека, применяющего эти системы: на основных понятиях и идеях теории эффективности¹⁵ процессов функционирования систем и на основных понятиях и идеях методологии внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремлённых систем¹⁶.

3. Принцип *системности*: в соответствии с этим принципом метод должен представлять собой целенаправленную совокупность его частей (элементов системы) и связей между ними, реализация которых позволяет достичь цели применения метода. Для реализации этого принципа метод концептуализации проблемы исследования потенциала СТС — это система методов, включающая три части (три элемента системы): метод вербализации проблемы исследования потенциала СТС, метод схематизации проблемы исследования потенциала СТС и метод логико-предикатной формализации проблемы исследования потенциала СТС.

При этом целью *вербализации* проблемы является модель экспликации десигната (ЭДес) понятия «Проблема исследования потенциала СТС» и мо-

¹³ Основоположение — это определяющее суждение [И. Кант. Логика. Пособие к лекциям (1800 г.).]

¹⁴ Понятие — это общее представление, или представление того, что общее многим объектам [И. Кант. Логика. Пособие к лекциям (1800 г.)], с. 395. При этом все наши понятия суть признаки [И. Кант. Логика. Пособие к лекциям (1800 г.)], с. 365.

¹⁵ Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Ч. 1. Методология, методы, модели. — Б. м.: Б. и., 1989. — 635 с.

¹⁶ Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремлённых систем. — М.: АСТ, 2006. — 504 с.

дели ЭДес тех понятий, которые необходимы для того, чтобы прояснить десигнат понятия «Проблема исследования потенциала СТС».

Целью *схематизации* проблемы является модель экспликации схемы порождения денотата (ЭСПДен) понятия «Проблема исследования потенциала СТС» и модели ЭСПДен тех понятий, которые необходимы для того, чтобы получить модель ЭСПДен понятия «Проблема исследования потенциала СТС».

Целью *логики-предикатной формализации* проблемы является модель экспликации денотата (ЭДен) понятия «Проблема исследования потенциала СТС» и модели ЭДен тех понятий, которые необходимы для того, чтобы получить модель ЭДен понятия «Проблема исследования потенциала СТС». При этом все перечисленные модели должны быть формализованы на языке логики предикатов.

Связи между методами реализуются в том смысле, что модель ЭДес *любого* понятия (например, понятия «Проблема исследования потенциала СТС»), полученная в результате применения метода вербализации, является основой (передаётся для использования) при разработке (с помощью метода схематизации) модели ЭСПДен того же понятия, а модель ЭСПДен понятия, в свою очередь, является основой при разработке (с помощью метода логики-предикатной формализации) модели ЭДен понятия, например понятия «Проблема исследования потенциала СТС»¹⁷, в логики-предикатной форме.

Отметим также, что, с точки зрения системолога, *средой* метода концептуализации проблемы исследования потенциала СТС (взаимодействующей с методом концептуализации: влияющей на него и использующей результаты его применения) является метод разработки методологии — то есть методологизации проблемы — исследования потенциала СТС, который представляет собой систему методов разработки функциональных (алгебраических) моделей исследования потенциала СТС (решения соответствующих проблеме научно-исследовательских задач). При этом метод концептуализации проблемы исследования потенциала СТС и метод её (проблемы) методологизации тоже образуют систему методов, связь между которыми реализуется путём передачи концептуальной модели — результата применения метода концептуализации — как основы для создания и применения метода разработки методологии — для методологизации проблемы — исследования потенциала СТС. Указанная связь обеспечивает *целостность* совокупности концепции и методологии исследования потенциала СТС как *теории потенциала СТС*. В завершение отметим, что, с точки зрения системолога, *средой теории потенциала СТС*, взаимодействующей с теорией (предъявляющей к ней требования и пользующейся её положениями), является *практика решения задач исследования потенциала СТС* (точнее — *потребность* в решении задач практиками: экономистами, специалистами в области техники, проектировщиками, конструкторами, управленцами СТС). Из этого должно быть ясным, что теория потенциала СТС — это *прикладная теория*.

Сделанные пояснения и определения позволяют перейти к изложению методов разработки моделей.

¹⁷ Это является целью концептуализации.

1.2. Метод разработки моделей экспликации десигнатов понятий

Метод разработки моделей экспликации десигнатов понятий — это теоретический метод познания, включающий ряд принципов, проясняющих способ действия, в данном случае — способ разработки моделей ЭДес понятий.

Метод разработки моделей ЭДес понятий включает следующие принципы.

1. Принцип *логической основательности*¹⁸: метод как инструмент теоретизации должен основываться на логике — науке о законах мышления, в данном исследовании — на таких её разделах, как учение о понятиях, о суждениях, об умозаключениях, и на таком её разделе, как логико-семантическая концепция. Эти требования к методу вытекают из цели данного метода — экспликация — то есть достижение ясности — понятия через экспликацию десигната (смысла) понятия путём построения его (понятия) модели, позволяющей это сделать. Такой моделью является дефиниция (определение) понятия, логическая форма которой (дефиниции) должна содержать в предикате (в *Definiens* — *Dfs*) признаки определяемого понятия (субъекта логической формы, или *Definiendum* — *Dfd*), полученные посредством *анализа*¹⁹ понятия-субъекта. Признаки — это тоже понятия. Если все они ясны, то есть если ясны их десигнаты (ясны настолько, насколько необходимо для указания или для разработки соответствующих им денотатов понятий), то ясным становится²⁰ и понятие-субъект дефиниции. Несомненно, что ясность понятия — это субъективное свойство понятия. Некоторые (или все) понятия-признаки в *Dfs* могут не обладать этим свойством — с точки зрения исследователя. Прояснение таких признаков должно быть последовательно, посредством их экспликации с помощью моделирования в форме дефиниции, до достижения таких экспликаций в завершение последовательности, все признаки в предикатах которых ясны для исследователя и соответствуют цели выполняемого им исследования (то есть цели концептуализации). Построение таким образом модели ЭДес понятия и последовательности необходимых моделей ЭДес понятий должно придать целесообразную точность форме экспликации, то есть основательность. Отметим, что точность формы экспликации — это тоже субъективное свойство. Точность придаётся полнотой множества признаков, входящих в *Dfs*, которая (полнота множества) зависит от исследователя — от цели исследования — и ограничивается им.

2. Принцип *необходимой ясности*: метод должен быть таким, чтобы обеспечить ясность десигната понятия как необходимое условие ясности дено-

¹⁸ Основательность — это целесообразная точность в форме [И. Кант. Логика. Пособие к лекциям (1800 г.), с. 354].

¹⁹ Отсюда следует, что дефиниции должны быть аналитическими определениями [И. Кант. Логика. Пособие к лекциям (1800 г.), с. 354].

²⁰ И. Кант. Логика. Пособие к лекциям (1800 г.). В книге: И. Кант. Трактаты и письма. Отв. ред. А.В. Гулыга. — М.: Наука, 1980. — 710 с. (АН СССР. Ин-т философии. Памятники филос. мысли). — С. 437.

тата понятия. В логико-философских трудах²¹ Г. Фреге предлагает формульный язык для придания логическому выводу (умозаключению об истинности простого атрибутивного суждения, к которому может быть преобразовано любое не простое атрибутивное суждение) вида алгоритма, разработанного на основе законов формального исчисления, подобного исчислению числовых величин в математике. В нашем случае преследуется более скромная цель: не формализация логического вывода (об истинности суждения), а формализация — на этапе *методологизации* проблемы — вычисления (неизвестного) денотата понятия, которое (понятие) является *неясной* числовой величиной (так как денотат (*значение* понятия) нельзя указать (или нельзя указать математическую модель, которая позволила бы рассчитать денотат понятия), чтобы сделать понятие ясным, конечно приняв гипотезу о *существовании* денотата понятия). Как видно, *необходимым условием ясности* понятия является ясность его денотата. Под *ясностью денотата понятия* будем понимать свойство денотата понятия, проявляющееся в его приспособленности к тому, чтобы он (денотат) мог быть указан или могла быть указана *математическая* модель, которая позволила его рассчитать. Опыт научных исследований позволяет заключить, что *невозможность* указать денотат или невозможность указать математическую модель для его расчёта обусловлена неясностью десигната (смысла) понятия. *Ясность десигната понятия* — это тоже *необходимое условие ясности* понятия, без реализации которого (условия) невозможно сделать ясным денотат понятия и, следовательно, сделать понятие ясным. Таким образом, ясность десигната и ясность денотата понятия — это *необходимое и достаточное условие ясности понятия*. В логико-семантической концепции, разработанной в трудах Г. Фреге²², предложена модель понятия в форме семантического треугольника, вершины которого ассоциированы со знаком (именем), смыслом (десигнатом) и значением (денотатом) понятия, а стороны ассоциированы с существующей между ними связью-отношением наименования, которое А. Чёрч²³ разделяет на три (направленных) отношения, семантика которых такова: «называет» (отношение между именем и денотатом), «выражает» (отношение между именем и десигнатом) и «определяет» (отношение между десигнатом и денотатом). Семантику отношения между десигнатом и денотатом (в треугольнике) будем понимать как *взаимную обусловленность их ясности*, что соответствует процессу образования понятия²⁴ (то есть проявлению десигната как результата вычленения того общего, что содержится

²¹ Фреге Готлоб. Логико-философские труды. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008. — 283 с. (Пути философии).

²² Фреге Готлоб. Логико-философские труды. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008. — 283 с. (Пути философии).

²³ Чёрч А. Введение в математическую логику. Том I. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. — 485 с. — С. 19.

²⁴ Здесь, видимо, требуется уточнение по отношению к «пустым именам», например, к такому, как «вечный двигатель», соответствующий понятию, под которое не подпадает ни один «реальный» предмет (то есть предмет, существующий в мире материальном). Другой пример — «человек-невидимка». Для этих понятий не существует — в материальном мире — денотат, хотя существуют имя и десигнат. В мире идей десигнат и денотат, соответствующие пустому имени, существуют, но совпадают.

в признаках (в их десигнатах), присущих множеству разнообразных «частных» представлений (каждое из которых ассоциировано с «частной» парой «десигнат — денотат»), формирующих объём понятия, и проявлению денотата как результата вычленения того общего, что содержится в признаках (но теперь уже в их денотатах), присущих *тому же* множеству разнообразных «частных» представлений и *тому же* множеству ассоциированных с ними «частных» пар «десигнат — денотат»). Указанная обусловленность *предполагает возможность* сделать ясным денотат понятия, прояснив его десигнат. Средством прояснения десигната понятия является *дефиниция* понятия, которая вводится учёным-исследователем и представляет собой суждение, имеющее истинностное значение «истина» (хотя отметим, что это аксиома, которая может быть принята учёными, но может быть и отвергнута). Предполагаемая возможность обусловлена семантикой — зачастую скрытой, имплицитной — связи между понятиями-признаками, входящими в Dfs логической формы дефиниции, и семантикой логической связи — в форме связки — между Dfs и Dfd. Устранение этой скрытности (семантической имплицитности) тем или иным методом (а именно: введением в отношение наименования ещё одного элемента, схемы формирования денотата, и, таким образом, преобразованием отношения «десигнат — денотат» в цепочку отношений «десигнат — схема, схема — денотат») должно быть *направлено на указание* функциональных (математических) связей между денотатами понятий-признаков, составляющих как Dfs, так и, главное, понятий-признаков (или понятия-признака), составляющих Dfd.

3. Принцип *целостности*: метод должен быть таким, чтобы использовать при исследовании — в качестве его основания — идею целостности исследуемого (объекта исследований (ОИ), среды объекта исследований²⁵ (СрОИ) и их вместе взятых в совокупности), что соответствует идее целостности мира, в котором исследователь выделяет объект своих научных исследований.

4. Принцип *системности*: метод должен быть таким, чтобы изучать объект исследований, моделируя его как систему, то есть как целостную совокупность элементов системы — моделей частей ОИ — и связей между ними, которая функционирует в среде системы (среда системы (СрС) — это модель СрОИ), достигая назначенных целей.

5. Принцип *целесообразной*²⁶ *абстрактности*: метод должен быть таким, чтобы в модели отражались лишь необходимые и достаточные признаки ОИ (для достижения цели исследования) и выполнялось абстрагирование от других признаков.

6. Принцип *аналитичности*: метод должен быть таким, чтобы достижение ясности ОИ выполнялось с помощью разделения ОИ на составные части и изучения частей по отдельности.

²⁵ Среда объекта исследований — это то, что остаётся от мира после удаления из него объекта исследований.

²⁶ Целесообразной — в данном случае соответствующей цели исследования. Цель данного исследования — разработка основ теории. Поэтому исследователь должен решить, какие понятия-признаки объекта исследования необходимо оставить для изучения, чтобы не обесценить (не сделать бесполезными для последующего применения) результаты теоретизации в её основах, не претендуя на завершенность теории, а какими следует пренебречь, чтобы не утонуть в их многообразии и чтобы таким образом сделать исследование обозримым и завершенным.

7. Принцип *факторизованности*: метод должен быть таким, чтобы модели Эдес понятий были факторизованы, по крайней мере, на два класса эквивалентности: класс моделей, соответствующий субординированным понятиям, и класс моделей, соответствующий координированным понятиям.

8. Принцип *идентифицированности*: метод разработки должен давать в результате модель Эдес понятия, содержащую элементы, которые бы идентифицировали (описывали) особенность понятия (его десигната) по четырём основаниям: по количеству, по качеству, по отношению и по модальности.

9. Принцип *полноты и неизбыточности*: метод должен быть таким, чтобы цепочка понятий, передающая родо-видовые отношения при анализе десигната, была достаточно длинной (объединяла множество понятий, обладающее необходимой полнотой для достижения цели исследования), но не включала «лишние» понятия, обеспечивая неизбыточность множества объединяемых понятий, и завершалась по правилу остановки экспликации, изложенному выше.

10. Принцип *примата изменчивого над стационарным*: метод должен быть таким, чтобы модель включала понятия, описывающие изменчивость, нестационарность показателей ОИ.

11. Принцип *примата функционального над нефункциональным*: метод должен быть таким, чтобы модель включала понятия, описывающие функции ОИ и СрОИ.

12. Принцип *примата стохастического над нестохастическим*: метод должен быть таким, чтобы модель описывала стохастизм функционирования ОИ и СрОИ.

13. Принцип *связности информационного и неинформационного*: метод должен быть таким, чтобы модель отражала существующую связь информационных и неинформационных действий, всегда присущую функционированию ОИ и СрОИ.

14. Принцип *примата интенционального над экстенциональным*: метод должен быть таким, чтобы дефиниции выполнялись на основе использования обращения к десигнату определяемого (то есть интенционально), то есть путём подведения, определяемого под ближайшее к нему родовое понятие.

15. Принцип *алгебраической направленности*: метод должен быть таким, чтобы модель включала понятия, допускающие впоследствии их алгебраическое описание. Реализация этого принципа не должна натолкнуться на какое-либо препятствие, так как в эпистемологии категории «качество» и «количество» могут быть корректно исследованы с помощью алгебраических образов понятий «свойство» и «отношение»^{27, 28}.

16. Принцип *примата числового над нечисловым*: метод должен быть таким, чтобы модель включала главным образом числовые (измеримые) по-

²⁷ Рассел Б. Введение в математическую философию. Избранные работы / Вступ. статья В.А. Суровцева; пер. с англ. В.В. Целищева, В.А. Суровцева. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. — 264 с. — (Пути философии).

²⁸ Городецкий В.И. Прикладная алгебра и дискретная математика. Ч. 1. Алгебраические системы. — Б. м.: Б. и., 1984. — 174 с.

нения, которые впоследствии должны быть использованы при разработке метода экспликации схем порождения денотатов понятий, метода экспликации денотатов понятий и на этапе методологизации научно-исследовательской проблемы.

17. Принцип *графо-геометрической определённости*: метод должен быть таким, чтобы позволял представить логическую форму дефиниции (высказывания) в виде модели, являющейся двухуровневым геометрическим графом. В нём вершина первого уровня, корневая вершина, ассоциирована с Dfd, а вершины второго уровня, «висячие вершины», ассоциированы с Dfs. При этом рёбра геометрического графа ассоциированы со связкой логической формы дефиниции и определяют — точнее, фиксируют в графо-геометрической форме — семантику «родо-видового» отношения между Dfs и Dfd, зафиксированного в логической форме дефиниции. Последовательное «развёртывание» экспликаций цепочки понятий при этом порождает модель экспликации понятия, соответствующего корневой вершине — вершине первого уровня²⁹ (например, понятия «Проблема исследования потенциала СТС»), — в виде многоуровневого геометрического граф-дерева. Эта к-модель — дерево ЭДес понятия, соответствующего корневой вершине дерева. К-модель, что понятно, есть объединение нк-моделей, являющихся поддеревьями указанного дерева (к-модели). Отметим, что, так как в к-модели возможно повторение (репликация) нк-моделей, пересечение нк-моделей, входящих в к-модель, может быть не пусто.

18. Принцип *связности задач проблемы*: метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате к-модель ЭДес понятия «Задача оценивания потенциала СТС» была «опорной» моделью, или ядром, для к-модели ЭДес понятия «Задача анализа потенциала СТС», а последняя была «опорной» моделью, или ядром, для к-модели ЭДес понятия «Задача синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом».

1.2.1. Метод разработки моделей экспликации схем порождения денотатов понятий

Из метода разработки: 1) к-моделей ЭДес понятий (заметим, что этот метод включает три метода: метод разработки к-модели ЭДес понятия «Задача оценивания потенциала СТС», метод разработки к-модели ЭДес понятия «Задача анализа потенциала СТС» и метод разработки к-модели ЭДес понятия «Задача синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом»), которые разработаны, чтобы прояснить понятие «Проблема исследования потенциала СТС», и 2) к-модели ЭДес понятия «Проблема исследования потенциала СТС», — и, в частности, из метода разработки к-модели ЭДес понятия «Задача оценивания потенциала СТС» следует, что ЭДес любого понятия, соответствующего какой-нибудь вершине дерева, кроме «висячих» его вершин

²⁹ Назовём эту модель корневой моделью (или к-моделью) экспликации (например, понятия «Проблема исследования потенциала СТС»), в отличие от модели экспликации понятия, ассоциированного с промежуточным «звеном» в указанной цепочке понятий, которую (модель) назовём *некорневой* моделью (или нк-моделью) экспликации (того же понятия «Проблема исследования потенциала СТС»).

(десигнаты и денотаты которых ясны и, в соответствии с методом разработки модели ЭДес понятия, не требуют их экспликации), выполнена с помощью логической формы определения (дефиниции) понятия, проясняющего десигнат (смысл, сущность), ему (понятию) соответствующий.

Дефиниции, основываясь на теории понятий Аристотеля, изложенной им в работах^{30, 31, 32}, и теории понятий Г. Фреге³³, введены методом «подведения» определяемого понятия (*definiendum* — *Dfd*) под ближайшее к нему родовое определяющее понятие (*definiens* — *Dfs*) и указанием признаков, которые из объёма *Dfs* позволяют выделить его часть — объём *Dfd*. Отметим, что у Г. Фреге в работе³⁴ предметом определения являются *понятия*, а не имена или реальные предметы (то есть материальные объекты, как у Аристотеля).

С точки зрения исследователя (теоретика-прикладника), разработка дерева ЭДес понятия «Проблема исследования потенциала СТС» и, в частности, разработка дерева ЭДес понятия «Задача оценивания потенциала СТС» имеет важное значение по крайней мере по двум причинам:

- во-первых, это позволяет разработать тезаурус понятий (и закрепить его в конечном множестве их имён — терминов), необходимых исследователю для решения сформулированных им же научно-исследовательских задач (в этом проявляется гносеологический аспект разработки модели ЭДес);

- во-вторых, это позволяет получить хорошо структурированную «аналитическую» модель изучаемого понятия, хоть и не формализованную вполне, но позволяющую перейти к разработке более формализованной модели изучаемого понятия: модели, формализованной в таком виде, который необходимо получить, завершая концептуальную часть разрабатываемой теории, чтобы с меньшим количеством ошибок и с меньшими трудностями перейти к методологической части теории (в этом проявляется методологический аспект разработки дерева экспликации десигнатов понятий).

Результат концептуализации (проблемы и, в частности, задач, входящих в её состав), т. е. модель концепции проблемы (и, в частности, задач) должна содержать такую её (модели) часть, которая была бы образом дерева ЭДес понятия и при этом была бы построена не из имён — терминов, закреплённых при дефиниции за десигнатами понятий (в дереве их экспликации), а была бы построена из терминов, раскрывающих денотаты (значения) соответствующих понятий и связанных с их десигнатами: из терминов, ас-

³⁰ Аристотель. Первая аналитика. В книге: Аристотель. Сочинения в четырёх томах. Т. 2. Ред. З.Н. Микеладзе. — М.: Мысль, 1978. — 687 с. (АН СССР. Ин-т философии. Филос. наследие). — С. 118–254.

³¹ Аристотель. Вторая аналитика. В книге: Аристотель. Сочинения в четырёх томах. Т. 2. Ред. З.Н. Микеладзе. — М.: Мысль, 1978. — 687 с. (АН СССР. Ин-т философии. Филос. наследие). — С. 255–346.

³² Аристотель. Топика. В книге: Аристотель. Сочинения в четырёх томах. Т. 2. Ред. З.Н. Микеладзе. — М.: Мысль, 1978. — 687 с. (АН СССР. Ин-т философии. Филос. наследие). — С. 347–531.

³³ Фреге Г. Основоположения арифметики. Логико-математические исследования о понятии числа (1984). В книге: Фреге Готлоб. Логико-философские труды. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008. — 283 с. (Пути философии). — С. 129, § 47.

³⁴ Фреге Г. Основоположения арифметики. Логико-математические исследования о понятии числа (1984). В книге: Фреге Готлоб. Логико-философские труды. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008. — 283 с. (Пути философии).

социированных с такими важнейшими — с точки зрения исследователя — признаками понятий, которые (признаки) являются *числовыми* величинами. Именно такие, числовые, величины (и отношения между ними) должны быть использованы как количественные характеристики понятий при разработке теории потенциала СТС в её методологической части. В данном случае эти количественные характеристики (или, иначе, показатели) понятий, в частности — денотаты понятий, необходимы для разработки методологии, т. е. учения о моделях и методах, создаваемых и используемых при разработке формальных (математических, функциональных) моделей научно-исследовательских задач и математических методов их (или её, если проблема включает лишь одну нерешённую задачу) решения с помощью современных вычислительных средств.

Для разработки модели, эксплицирующей денотат (или, иначе, модели экспликации денотата) соответствующего понятия, предлагается использовать модели двух видов: 1) к-модель, эксплицирующую схему (или к-модель экспликации схемы) порождения денотата понятия, которая бы соответствовала логической форме, вводящей десигнат соответствующего *корневого* понятия (то есть которая соответствовала бы к-модели ЭДес понятия); 2) нк-модель ЭСПДен понятия, которая соответствовала бы нк-модели ЭДес (ЭДес) понятия; — и метод разработки указанных моделей, который назовём: «Метод разработки моделей экспликации схем порождения денотатов понятий».

Указанные модели и метод их разработки должны обладать такими особенностями, которые ассоциируются с рядом требований.

Эти требования, которым с почти очевидной необходимостью должны удовлетворять модели экспликации денотатов (ЭДес) понятий, сводятся, по крайней мере, к двум важнейшим положениям:

1. Модель ЭДес понятия должна быть такой, чтобы между нею и ассоциированной с нею моделью ЭДес понятия существовало отношение, соответствующее логико-семантической связи между денотатом понятия и десигнатом понятия, то есть такой связи, которая зафиксирована в логико-семантической концепции Г. Фреге³⁵ и которая ассоциирована с субъектно-предикатной логической формой высказывания-дефиниции понятия.

2. Модель экспликации денотата понятия должна быть такой, чтобы с её помощью отражалась изменчивость, динамизм денотата понятия (не приущие десигнату понятия, если только во время исследования не меняется дефиниция понятия). Это необходимо исследователю (как теоретику-прикладнику, так и практику — экономисту, проектировщику, конструктору, управленцу, аналитику СТС, среды СТС и их взаимодействия) для того, чтобы сделать менее трудоёмким переход от концептуализации проблемы исследования потенциала СТС (точнее, от её концептуальной модели) к методологизации проблемы исследования потенциала СТС: к разработке её функциональных моделей, к корректным математическим постановкам задач, к соответствующим им математическим моделям задач и к решению

³⁵ Готлоб Фреге. Логико-философские труды. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008. — 283 с. (Пути философии).

задач — не только задачи оценивания потенциала СТС, но, главное, задачи анализа потенциала СТС и задачи синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом, в математических моделях которых (задач) изменчивость и динамизм денотатов понятий должны быть основой при разработке областей определения и областей значений необходимых отображений (функционалов).

Эти требования будут в дальнейшем положены в основу метода разработки к- и нк-моделей экспликации денотатов понятий, проясняющих денотат понятия «Проблема исследования потенциала СТС».

Но сначала они будут использованы как основа для метода разработки к- и нк-моделей ЭСПДен понятий, которые соответствовали бы к- и нк-моделям ЭДес понятий.

Дальнейшее изложение начнём с *метода* разработки моделей ЭСПДен понятий, а затем, с его помощью, разработаем указанные модели.

Прежде чем перейти к методу, дадим определение.

Моделью ЭСПДен понятия будем называть геометрический граф, вершины которого ассоциированы с элементами модели ЭДес понятия (и его логической формы) и являются операндами отображения модели ЭДес понятия во множество высказывательных функций (предикатов), ассоциированных с денотатом понятия. Иначе: модели ЭСПДен понятия — это своего рода «график» указанного отображения.

Нетрудно заметить, что так же, как к-модель ЭДес понятия состоит из нк-моделей ЭДес соответствующих понятий, так и к-модель ЭСПДен понятия состоит из нк-моделей ЭСПДен понятий, ассоциированных с разработанными выше нк-моделями ЭДес соответствующих понятий.

Сделанные замечания и определения позволяют перейти к изложению метода разработки моделей ЭСПДен понятий.

Метод разработки модели ЭСПДен понятия — это теоретический метод познания, включающий ряд принципов, проясняющих способ действия, в данном случае — способ разработки модели ЭСПДен понятия.

Принципы, входящие в метод, вытекают из указанных выше двух основных требований, которым должна удовлетворять модель ЭДен понятия, и составляют следующую совокупность основных правил разработки модели ЭСПДен понятия.

1. Принцип *системности*: метод разработки должен давать в результате модель ЭСПДен понятия в форме геометрического графа, в которой (основываясь на «родо-видовых» отношениях, закреплённых в модели ЭДес понятия, как на отношениях между Dfs и Dfd) были бы зафиксированы «системологические» отношения, то есть отношения «система — элемент — связь — цель» между признаками (показателями), ассоциированными с предикатом (а именно с признаками субординированного и координированных понятий, входящих в Dfs), и признаками (показателями), ассоциированными с субъектом (а именно с признаками понятия, которое есть Dfd) логической формы дефиниции понятия.

Далее в изложении принципов не будет специально делаться отсылка к конкретной модели ЭСПДен понятия (если это не нарушит корректность изложения принципов); будет подразумеваться, что принципы метода дей-

ственны для разработки любой модели ЭСПДен понятия, ассоциированной с существующей моделью ЭДес того же понятия.

2. Принцип *изоморфности*: метод разработки должен давать в результате модель ЭСПДен понятия, которая была бы образом (результатом отображения) модели ЭДес того же понятия; это отображение должно быть изоморфизмом.

3. Принцип *идентифицированности*: метод разработки должен давать в результате модель ЭСПДен понятия, содержащую элементы, которые бы идентифицировали (описывали) особенность понятия (его денотата) по четырём основаниям: по количеству, по качеству, по отношению и по модальности.

4. Принцип *базисности*: метод разработки должен быть таким, при котором модель ЭСПДен понятия разрабатывалась бы как нетривиальная (не «пустая») для *таких элементов* модели ЭДес понятия (логической формы дефиниции понятия), *соответствующие которым понятия* (назовём их «базисными» понятиями) являются числовыми величинами. Для небазисных понятий модель ЭСПДен должна разрабатываться как «пустая» модель (модель «пустого»³⁶ понятия).

5. Принцип *однородности*: метод разработки должен быть таким, чтобы *элементами к-модели* ЭСПДен понятия, ассоциированного с к-моделью ЭДес понятий, были бы *нк-модели* ЭСПДен понятий, ассоциированные с соответствующими *нк-моделями* ЭДес понятий (возможно, пустые, тривиальные).

6. Принцип *факторизованности*: метод должен быть таким, чтобы модели ЭСПДен понятий были факторизованы по крайней мере на два класса эквивалентности: класс моделей, соответствующий субординированным понятиям, и класс моделей, соответствующий координированным понятиям.

7. Принцип *идентифицированности*: метод разработки должен давать в результате модель ЭСПДен понятия, содержащую элементы, которые бы идентифицировали (описывали) особенность понятия (его денотата) по четырём основаниям: по количеству, по качеству, по отношению и по модальности.

8. Принцип *унифицированности*: метод разработки должен быть таким, чтобы *элементы* (любого из *классов идентифицированных элементов*), входящие в модель ЭСПДен *базисного* понятия, были бы унифицированы.

9. Принцип *динамизированности*: метод разработки должен быть таким, чтобы модель ЭСПДен понятия фиксировала изменчивость денотата по каким-нибудь причинам.

10. Принцип *дистрибутивности*: метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате его применения модель ЭСПДен понятия представляла собой объединение подграфов, порождаемых разбиением множества элементов модели ЭСПДен понятия на классы эквивалентности.

11. Принцип *транзитивности*: метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате его применения к-модель ЭСПДен понятия

³⁶ Пустым понятием будем называть не базисное понятие. Например, понятие «свойство» — это пустое понятие, так как не имеет числового денотата. Но понятие «показатель свойства» — это не пустое понятие, так как его денотат — числовая величина.

(родителя) включала элементы нк-моделей ЭСПДен понятий (потомков), отражающие изменчивость денотатов соответствующих им понятия-родителя и понятий-потомков.

12. Принцип *консеквентности*: метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате его применения модель ЭСПДен понятия включала элементы, которые бы впоследствии порождали консеквенты — ассоциированные с ними элементы высказывательной функции (предиката), характеризующей денотат понятия.

13. Принцип *связности* задач проблемы: метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате модель ЭСПДен понятия «Задача оценивания потенциала СТС» была бы «опорной» моделью, или ядром, для модели ЭСПДен понятия «Задача анализа потенциала СТС», а последняя была бы «опорной» моделью, или ядром, для модели ЭСПДен понятия «Задача синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом».

Уточним содержание метода.

В соответствии с принципом *системности* метод разработки должен давать в результате к-модель ЭСПДен понятия (и любую её часть — нк-модель экспликации схемы порождения того же понятия) в форме геометрического графа, в которой (основываясь на «родо-видовых» отношениях, закреплённых в модели ЭДес понятия, как на отношениях между Dfs и Dfd) были бы зафиксированы «системологические» отношения, то есть отношения «система — элемент — связь — цель» между признаками (показателями), ассоциированными с предикатом (а именно: с признаками субординированного и координированных понятий, входящих в Dfs), и признаками (показателями), ассоциированными с субъектом, а именно: с признаками понятия, которое есть Dfd логической формы дефиниции понятия. При этом родовое (субординированное) понятие в Dfs должно породить геометрический граф — того или иного вида — как форму, включающую — в качестве основного элемента — системную модель целого (то есть систему), части которого (целого) должны моделироваться элементами системы, порождёнными, так же как и связи между ними (между элементами системы), координированными понятиями, входящими в содержание Dfs. Связь между любыми двумя элементами такой системы заключается в передаче сведений о значении показателей, ассоциированных с одним из двух взаимодействующих элементов, второму элементу пары, который их принимает, «обрабатывает» и передаёт последующему элементу системы, с ним взаимодействующему, либо передаёт в среду системы — которая есть потребитель функционирования системы — итог, или результат, взаимодействия элементов системы при её функционировании, то есть при реализации функции системы. В этом проявляется взаимодействие элементов такой системы и взаимодействие системы с её средой. Функция описываемой системы — достичь цель, то есть указать (зафиксировать) процедуру (порядок или алгоритм), в соответствии с которой должен быть исчислен показатель, ассоциированный с Dfd (и, таким образом, указать на способ построения отображения модели ЭСПДен в модель экспликации денотата понятия). Среда описываемой системы — это та к-модель ЭСПДен понятия, элементом которой является модель ЭСПДен рассматриваемого понятия (соответствующего субъекту

логической формы, эксплицирующей десигнат понятия) как нк-модель. Всё это относится к понятию, для которого разработана модель экспликации схемы порождения его денотата (в форме, содержащей указанную систему элементов, и, возможно, другие «элементы-идентификаторы», которые ассоциированы с Dfd, Dfs и связкой между ними и которые должны быть включены в модель ЭСПДен понятия, чтобы упростить последующий переход от неё к модели экспликации денотата, то есть облегчить построение отображения модели ЭСПДен понятия в модель экспликации денотата). Таким образом, модель ЭСПДен понятия является системой, включающей элемент-«системное ядро» (проясняющий порядок, или алгоритм исчисления денотата) и элементы-идентификаторы.

В соответствии с принципом *изоморфности* метод разработки должен давать в результате модель ЭСПДен понятия, изоморфную модели ЭДес того же понятия. Изоморфизм как отображение должен быть введён так, чтобы при разработке к-модели (дерева) экспликации схем порождения денотатов понятий каждому элементу к-модели (дерева) экспликации десигнатов понятий соответствовал один и только один элемент к-модели (дерева) экспликации схем порождения денотатов понятий и при этом разным элементам к-модели (дерева) экспликации десигнатов понятий соответствовали разные элементы к-модели (дерева) экспликации схем порождения денотатов понятий; иначе: отображение должно быть инъективным и сюръективным одновременно.

В соответствии с принципом *идентифицированности* метод разработки должен давать в результате модель экспликации схем порождения денотатов понятий, содержащую элементы, которые бы идентифицировали (описывали) особенность понятия (его денотата) по четырём основаниям: по количеству, по качеству, по отношению и по модальности. Такие элементы-идентификаторы должны упрощать создание моделей, эксплицирующих денотат, для которого разрабатывается модель экспликации схемы его порождения. При этом идентификаторы должны выполнять следующие функции.

Идентификатор *по количеству* должен характеризовать единичность или множественность использования в к-модели ЭСПДен понятия соответствующих ей нк-моделей: это позволит раскрыть внешнюю присущую модели ЭСПДен понятия определённую и затем придать такую же определённую модель экспликации денотата понятия.

Идентификатор *по качеству* должен характеризовать принадлежность модели ЭСПДен понятия — как и самого понятия — к одному из указанных четырёх классов (понятие-действие, понятие-состояние, понятие-событие и понятие-показатель): это позволит раскрыть внутреннюю присущую модели ЭСПДен понятия определённую и затем придать такую же определённую модель экспликации денотата понятия. Заметим, что понятие-событие, как следует из его десигната, ассоциировано с актуализацией отношения между тем состоянием, что было, и тем состоянием, что стало (появилось из-за действия).

Идентификатор *по отношению* должен характеризовать ассоциированность модели ЭСПДен понятия:

- с «аргументно-истинностной» логической формой дефиниций — содержащей связку «есть» — или с «истинностно-истинностной» логической формой дефиниций (для каждой формы, содержащей тот или иной логический союз: «и», «или», «если..., то...» и др. — в простом утвердительном атрибутивном суждении);

- с родо-видовыми отношениями, то есть отвечать на вопрос о том, имеет или не имеет данная модель ЭСПДен понятия «модель-родитель» и «модель-потомок»;

- с элементами СТС (или со СТС в целом), или с элементами среды СТС (или со средой СТС в целом), или со связью между элементами СТС, или между элементами среды СТС, или между СТС и средой СТС;

- с интервалом (или с моментом, точкой) времени функционирования СТС и среды СТС;

- с достижением действительной или с достижением возможной цели функционирования СТС;

- с целевым или с конверсионным функционированием СТС;

- с информационным или с неинформационным действием (технологической операцией).

Идентификатор *по модальности* должен характеризовать:

- возможность (случайность) или необходимость, неслучайность, детерминированность денотата понятия;

- изменчивость, динамизм денотатов понятий, составляющих Dfs логической формы дефиниции;

- способ реализации (актуализации) понятия, соответствующего модели ЭСПДен понятия (то есть способ выполнения действия — если способов несколько, в соответствии с технологической документацией, то какой способ реализуется; способ фиксации состояния (до начала действия, во время действия, после завершения действия), способ появления события (до начала действия, во время действия, после завершения действия) и способ фиксации показателя (до начала действия, во время действия, после завершения действия) — всё это в том случае, если возможны не один, а несколько способов);

- источник признаков понятия, а именно: данные признака взяты из технологической (или из другой) документации или получены путём преобразования данных, содержащихся в документации.

В соответствии с принципом *базисности* модель ЭСПДен понятия должна разрабатываться как нетривиальная для непустых (базисных) понятий. Пустому понятию должна быть поставлена в соответствие тривиальная («пустая») модель: небазисное понятие, хоть и не является числовой величиной, играет роль помощника в прояснении десигната базисного понятия, в дефиницию которого оно входит; включение «пустой» нк-модели в к-модель ЭСПДен базисного понятия позволяет следовать принципу полноты и сделать более безошибочной разработку модели (предиката), эксплицирующей денотат базисного понятия.

В соответствии с принципом *однородности* метод должен быть таким, чтобы разрабатываемая модель ЭСПДен понятия состояла из ЭСПДен тех понятий, которые входят в логическую форму, эксплицирующую десигнат

понятия (понятия, для которого разрабатывается схема порождения его денотата). Из этого следует, что в соответствии с принципом однородности разработка модели ЭСПДен понятия должна начинаться с висячих (концевых) вершин дерева экспликации десигнатов понятий, являющихся «ясными» понятиями.

В соответствии с принципом *факторизованности* метод должен быть таким, чтобы элементы — являющиеся моделями, возможно пустыми — разрабатываемой модели ЭСПДен понятия были факторизованы, по крайней мере, на два класса эквивалентности: класс моделей, соответствующий субординированному понятию в Dfs, и класс моделей, соответствующий координированным понятиям в Dfs (третий класс — класс схем, соответствующий понятию-связке между субъектом и предикатом логической формы, эксплицирующей десигнат понятия, является тривиальным, так как связка в дефиниции — это форма глагола «быть»). Классы могут быть одноэлементными, но не должны быть пустыми.

В соответствии с принципом *унифицированности* метод должен быть таким, чтобы элементы модели экспликации схемы любого из классов элементов, входящих в модель ЭСПДен *базисного* понятия, были унифицированы, то есть были отнесены к одному из четырёх видов, исчерпывающих разнообразие базисных понятий, используемых при экспликации десигнатов понятий: схемы порождения денотатов понятий-действий, схемы порождения денотатов понятий-состояний, схемы порождения денотатов понятий-событий и схемы порождения денотатов понятий-показателей (не являющихся ни действиями, ни состояниями, ни событиями), — и при этом каждому из четырёх видов ставились бы в соответствие элементы унифицированной формы.

В соответствии с принципом *динамизированности* метод разработки должен быть таким, чтобы модель ЭСПДен понятия фиксировала изменчивость денотата по каким-нибудь причинам: то есть метод разработки должен давать в результате модель экспликации схемы порождения денотатов понятий, которая бы включала элементы, отражающие изменчивость, динамизм денотатов понятий, составляющих Dfs логической формы дефиниции, если такие изменчивость и динамизм возможны, например под влиянием среды СТС, или если они могут быть привнесены в СТС и (или) в среду СТС лицом, принимающим решение (экономистом, проектировщиком, конструктором, системным аналитиком, управленцем) об их изменении по тем или иным причинам.

В соответствии с принципом *дистрибутивности* метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате его применения модель ЭСПДен понятия представляла собой объединение подграфов, порождаемых разбиением множества элементов схемы. Каждый подграф должен соответствовать некоторому элементу модели, которые (элементы) таким образом «распределены» по подграфам: подграф — системное ядро, подграфы — схемы-потомки, подграфы — схемы идентификаторов. При этом пересечение подграфов должно быть пустым.

В соответствии с принципом *транзитивности* метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате его применения модель

ЭСПДен понятия (модель-родитель) включала элементы моделей-потомков (идентификаторы), отражающие изменчивость, динамизм денотатов соответствующих им понятий. Для этого указанные элементы моделей-потомков должны передаваться в модель-родитель и входить в класс идентификаторов по модальности, характеризующих изменчивость, динамизм денотата понятия, соответствующего разрабатываемой модели экспликации схемы его порождения.

В соответствии с принципом *консеквентности* метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате его применения модель ЭСПДен понятия включала элементы, которые бы впоследствии порождали консеквенты — ассоциированные с ними элементы высказывательной функции (предиката), характеризующей денотат понятия. При этом предполагается, что полученная в результате модель ЭСПДен понятия должна позволить разделить элементы модели денотата — то есть элементы предиката — на переменные и константы, указать нелогические операции между константами и переменными величинами, а также на логические операции и, возможно, кванторы, применимые к частям предиката (например, в случае если предикат является формой, включающей другие предикаты, или истинностно-истинностной формой).

В соответствии с принципом *связности* задач проблемы метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате модель ЭСПДен понятий «Задача оценивания потенциала СТС» была бы «опорной» моделью, или ядром, для модели ЭСПДен «Задача анализа потенциала СТС», а последняя была «опорной» моделью, или ядром, для модели ЭСПДен понятий «Задача синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом». При этом метод разработки должен давать в результате модель ЭСПДен понятий, элемент которой (то есть схемы) в предикате, характеризующем денотат соответствующего понятий, имели образы, позволяющие разработать в явном виде отображение из множества задач *оценивания* потенциала СТС во множество задач *анализа* потенциала СТС и из него — во множество задач *синтеза* СТС, обладающей требуемым потенциалом; это бы обеспечило связность трёх задач (точнее — задач трёх видов), составляющих содержание понятия «Проблема исследования потенциала СТС».

1.2.2. Метод разработки моделей экспликации денотатов понятий

Концептуализация проблемы исследования потенциала сложных систем (СТС) (которая в данной исследовании предстаёт как *научная* проблема исследования потенциала СТС) — это действие, целью которого является концептуальная модель указанной проблемы. При этом концептуальная модель должна быть представлена в такой форме, которая необходима для упрощения дальнейшего перехода от неё — точнее, для разработки метода перехода от неё — к разработке методологических основ исследования потенциала СТС, что завершает разработку основ теории потенциала СТС.

Подходящей формой, которая позволит перейти к разработке не логических, а математических (алгебраических, функциональных моделей), необ-

ходимых для формализации и решения задач, составляющих содержание проблемы исследования потенциала СТС (то есть позволит разработать метод перехода от этапа концептуализации к этапу методологизации проблемы), является логико-предикатная форма. Разработка моделей в логико-предикатной форме предполагает выполнение логико-предикатной формализации проблемы (тех моделей, которые получены на этапе схематизации проблемы).

Целью *логико-предикатной формализации* проблемы является модель экспликации денотата понятия «Проблема исследования потенциала СТС» и модели экспликации денотатов тех понятий, которые необходимы для того, чтобы получить модель экспликации денотата понятия «Проблема исследования потенциала СТС». При этом все перечисленные модели должны быть формализованы на языке логики предикатов и приобрести вид моделей ЭДен понятий. При этом эти модели должны удовлетворять ряду требований.

Эти требования сводятся, по крайней мере, к двум важнейшим положениям:

1. Модель ЭДен понятия должна быть такой, чтобы между нею и ассоциированной с нею моделью ЭДес понятия существовало отношение, соответствующее логико-семантической связи между денотатом понятия и денотатом понятия.

2. Модель ЭДен понятия должна быть такой, чтобы с её помощью отражалась изменчивость, динамизм денотата понятия (не присущие денотату понятия, если только во время исследования не меняется дефиниция понятия). Это необходимо исследователю (как теоретику-прикладнику, так и практику — экономисту, проектировщику, конструктору, управленцу, аналитику СТС, среды СТС и их взаимодействия) для того, чтобы сделать менее трудоёмким переход от концептуализации проблемы исследования потенциала СТС — точнее, от её концептуальной модели — к методологизации проблемы исследования потенциала СТС: к разработке её функциональных моделей, к корректным математическим постановкам задач, к соответствующим им математическим моделям задач и к решению задач — не только задачи оценивания потенциала СТС, но, главное, задачи анализа потенциала СТС и задачи синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом, в математических моделях которых (задач) изменчивость и динамизм денотатов понятий должны быть основой при разработке областей определения и областей значений необходимых отображений (функционалов).

Эти требования будут в дальнейшем положены в основу метода разработки к- и нк-моделей ЭДен понятий, проясняющих денотат понятия «Проблема исследования потенциала СТС».

Прежде чем перейти к изложению метода, введём определение.

Моделью ЭДен данного понятия будем называть предикат, ассоциированный с высказыванием о денотате понятия, определённый на множестве значений предметных переменных, являющимися числовыми величинами, с помощью которых выполняется параметризация элементов (например, теоретико-графовых моделей-схем) моделей ЭСПДен понятий, соответствующих данному понятию.

Нетрудно заключить, что так же, как к-модель ЭСПДен понятий состоит из нк-моделей ЭСПДен соответствующих понятий, так и к-модель ЭДен понятия состоит из нк-моделей ЭДен понятий, ассоциированных с разработанными выше нк-моделями ЭСПДен соответствующих понятий.

Сделанные замечания и определения позволяют перейти к изложению метода разработки моделей ЭДен понятий.

Метод разработки моделей ЭДен понятий — это теоретический метод познания, включающий ряд принципов, проясняющих способ действия, в данном случае — способ разработки моделей ЭДен понятий.

Метод разработки моделей ЭДен понятий включает следующие принципы.

1. Принцип *системности*: метод разработки должен давать, в невырожденном случае³⁷, модель ЭДен понятия в форме геометрического графа, в которой (основываясь на «родо-видовых» отношениях, закреплённых в модели ЭСПДен понятия) были бы зафиксированы «системологические» отношения, соответствующие аналогичным отношениям, закреплённым в модели ЭСПДен понятия.

2. Принцип *изоморфности*: метод должен давать в результате модель экспликации денотата понятия, которая была бы образом (результатом отображения) модели ЭСПДен того же понятия; это отображение должно быть изоморфизмом.

3. Принцип *идентифицированности*: метод разработки должен давать в результате модель ЭДен понятия, содержащую элементы, которые бы идентифицировали (описывали) особенность понятия (его денотата) по четырём основаниям: по количеству, по качеству, по отношению и по модальности.

4. Принцип *базисности*: метод разработки должен быть таким, при котором модель ЭДен базисного понятия (предикат) содержала бы числовую величину (её имя) или функцию (имя функции) числовой величины — денотата базисного понятия.

5. Принцип *однородности*: метод разработки должен быть таким, чтобы *элементами к-модели* ЭДен понятия, ассоциированной с к-моделью ЭСПДен понятия, были бы *нк-модели* ЭДен понятий (возможно, являющиеся нульместными предикатами), ассоциированные с соответствующими *нк-моделями* ЭСПДен понятий.

6. Принцип *факторизованности*: метод должен быть таким, чтобы модели ЭДен понятий (предикаты), возможно «пустые» (соответствующие нульместным предикатам), были факторизованы, по крайней мере, на два класса эквивалентности: класс моделей, соответствующий субординированным понятиям, и класс моделей, соответствующий координированным понятиям.

7. Принцип *динамизированности*: метод должен быть таким, чтобы предикат содержал переменные и параметры, которые бы являлись функциями времени и, возможно, других признаков изменчивости СТС, среды СТС и связей между ними при функционировании.

³⁷ То есть для невисячих вершин модели ЭСПДен.

8. Принцип *алгебраической неявности*: метод должен быть таким, чтобы числовые функции — элементы предикатов — были представлены именами (знаками), а их значения — в общем (неявном) виде, но таком, который бы подразумевал возможность перехода в будущем — на этапе методологизации — от общего вида числовой функции к её частному виду (к явному виду).

9. Принцип *транзитивности*: метод должен быть таким, чтобы получаемая в результате его применения к-модель ЭДен понятия (родителя), то есть к-предикат, включала элементы нк-моделей ЭДен понятий (потомков), то есть нк-предикатов, отражающие изменчивость денотатов соответствующих им понятия-родителя и понятий-потомков.

10. Принцип *консеквентности*: метод разработки должен быть таким, чтобы получаемая в результате его применения модель ЭДен понятия (предикат) включала элементы, которые бы впоследствии порождали консеквенты — ассоциированные с ними элементы функции (не логической, а математической), позволяющей на этапе методологизации рассчитать числовую величину — денотат понятия. Это позволит на этапе методологизации найти значение *интерпретации* модели ЭДен понятия (предиката), соответствующего понятию «Проблема исследования потенциала СТС», то есть ответить на вопросы, оформленные как задачи оценивания, анализа и синтеза, составляющие содержание понятия «Проблема исследования потенциала СТС».

11. Принцип *примата числового над нечисловым*: метод должен быть таким, чтобы логико-предикатная форма была определена на множестве числовых величин.

12. Принцип *математико-прикладной ориентированности*: метод должен быть таким, чтобы предикаты имели форму, в которой в явном виде присутствовали бы такие *параметры* числовых функций-характеристик элементов моделей ЭСПДен понятий, которые могли бы стать переменными при переходе от модели задачи оценивания к модели задачи анализа и затем — к модели задачи синтеза, рассматриваемым как задачи прикладной математики.

13. Принцип *связности задач проблемы*: метод должен быть таким, чтобы получаемая в результате к-модель ЭДен понятия «Задача оценивания потенциала СТС» была «опорной» моделью, или ядром, для к-модели ЭДен понятия «Задача анализа потенциала СТС», а последняя была «опорной» моделью, или ядром, для к-модели ЭДен понятия «Задача синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом».

Таким образом, разработка и изложение методов концептуализации проблемы исследования потенциала СТС завершены.

2. Метод методологизации проблемы исследования потенциала СТС

2.1. Введение

Методологизация проблемы исследования потенциала сложных технических систем — это действие, целью которого является *математическая*

модель указанной проблемы как совокупность моделей трёх задач, входящих в содержание проблемы, которым придана математико-прикладная форма, и *методы* (возможно, *алгоритмы и методики*) их решения с использованием идей прикладной математики.

Реализация этого действия требует разработки метода, с помощью которого можно было бы выполнить переход от модели «Задачи...» в логико-предикатной форме (и от необходимости её решать как задачу поиска значения *интерпретирующей функции* — интерпретации соответствующей формулы) к модели «Задачи...» в прикладной математической форме, и требует разработки метода её решения как метода поиска подходящего — например оптимального — значения вектора оптимизируемых переменных (и, возможно, алгоритма, реализующего метод с использованием современных информационных технологий и вычислительных средств, и методики решения задачи, понятной практику).

2.2. Метод перехода от логико-предикатной формы модели проблемы исследования потенциала СТС к её прикладной математической форме (то есть к прикладным математическим моделям задач, составляющих содержание проблемы)

Решение проблемы исследования потенциала СТС — это решение задач, которые в неё входят.

Решить задачу исследования потенциала СТС в её концептуальной модели (в логико-прикладной форме) — это значит найти *интерпретацию формулы*, которая (формула) соответствует модели ЭДен понятия «Задача...», такую (на множестве значений *интерпретирующей функции*), при которой предикат-значение интерпретации принимает истинностное значение «истина».

При этом *интерпретирующей функцией*³⁸ (формулы), как обычно в логике предикатов первого порядка³⁹, будем называть функцию (сигнатурой которой является объединение множества знаков функций и множества знаков предикатов, заданных на непустом множестве возможных значений вектора предметных переменных и соответствующих формуле), которая знаку предметной переменной ставит в соответствие возможное значение предметной переменной; знаку функции предметной переменной — функцию предметной переменной (явный вид функции, например её график), знаку предиката — предикат (выражение, соответствующее высказывательной форме, ассоциированной со знаком предиката).

Под *формулой* понятия «Задача...» будем понимать выражение (соответствующее логико-предикатной форме денотата понятия «Задача...»), которое содержит знаки предметных переменных, знаки функций предметных переменных и знаки предикатов.

³⁸ Её иногда называют интерпретацией.

³⁹ Клини С.К. Математическая логика. — М.: Изд-во иностранной литературы, 1973. — 480 с.

Способ установления соответствия между знаками и их «содержанием»:

- для знака предметной переменной — задание отображения, которое определено на множестве возможных значений предметной переменной и которое знаку предметной переменной ставит в соответствие элемент этого множества (которое может быть одноэлементным, но не пустым);

- для знака функции — задание отображения, которое определено на множестве знаков функции, имеет значение во множестве возможных графиков функции и которое знаку функции ставит в соответствие элемент множества возможных графиков функции;

- для знака предиката — задание отображения, которое определено на множестве знаков предиката, имеет значение во множестве возможных высказывательных форм предиката и которое знаку предиката ставит в соответствие элемент множества возможных высказывательных форм предиката.

Задание отображения для знака предметной переменной выполняется с использованием модели ЭДен понятия (содержащей вектор предметных переменных в теле логико-предикатной формы) путём задания множества возможных значений для каждого компонента вектора предметных переменных. Прямое (декартово) произведение этих множеств задаёт *область определения* интерпретирующей функции.

Задание отображения для знака предиката выполняется с использованием моделей ЭДес понятия, соответствующего знаку предиката.

Задание отображения для знака функции выполняется с использованием моделей ЭСПДен понятия (то есть с использованием граф-схем и других элементов модели ЭСПДен понятия), соответствующего знаку функции.

Метод перехода от логико-предикатной формы модели проблемы исследования потенциала СТС к её прикладной математической форме включает следующие принципы.

1. Принцип *редукции* логико-предикатной модели. В соответствии с ним следует выполнить редукцию логико-предикатной модели.

Редукция — это придание предикатам, ассоциированным с пустыми понятиями (нульместным предикатам), истинностного значения «истина», то есть наделение таких предикатов свойством общезначимости. Но при этом предикаты не удаляются из модели.

2. Принцип *декомпозиции* логико-предикатной модели «Задача...».

В соответствии с этим принципом дерево ЭДен понятия, соответствующее логико-предикатной модели «Задача...», должно быть декомпозировано на 4 поддерева, соответствующих следующей совокупности моделей:

- логико-предикатная модель СТС и её функционирования;
- логико-предикатная модель среды СТС и её функционирования;
- логико-предикатная модель взаимодействия СТС и среды СТС;
- логико-предикатная модель оценки показателя потенциала СТС

(для «Задачи анализа...» — логико-предикатная модель выбора лучшего результата отображения из множества *дедуктивных функций* предметных переменных во множество значений оценки показателя потенциала СТС, для «Задачи синтеза...» — логико-предикатная модель выбора лучшего результата отображения из *области определения интерпретирующей функции* во множество значений оценки показателя потенциала СТС).

3. Принцип *арифметизации* логико-предикатной модели. В соответствии с этим принципом следует выполнить арифметизацию, под которой понимаются следующие действия: 1) замена вербального выражения, соответствующего логико-предикатной форме, на математическое выражение с помощью введения необходимых математических обозначений выражений и знаков математических действий с ними; 2) отображение модели ЭДен понятия — дерева логико-предикатных форм — в модель экспликации функциональных символов (дерево функциональных символов), входящих в формы-выражения, соответствующие логико-предикатным формам. Отображение реализуется путём обхода дерева логико-предикатных форм и установления отношения между каждой логико-предикатной формой и функциональным символом, входящим в выражение, соответствующее логико-предикатной форме.

Например, вербальное выражение « z — это сумма x и y », которое станет высказыванием после подстановки в него значений предметных переменных, должно быть заменено на математическое выражение « $z = x + y$ ». При этом выражение «— это» заменено на выражение « $=$ », выражение «сумма x и y » заменено на выражение « $x + y$ ».

Для *случайных* величин арифметизация должна быть выполнена в два этапа:

На первом этапе выполняется замена вербального выражения на математическое, записанное в терминах случайных величин как *операндов математического действия*.

На втором этапе выполняется переход от математического выражения, записанного в терминах случайных величин, к математическому выражению, записанному в терминах *интегральных законов распределения вероятности случайных величин*.

Например, вербальное выражение «случайная величина z — это сумма случайной величины x и случайной величины y » должно быть заменено на первом этапе на математическое выражение « $z \Lambda = x \Lambda + y$ ». На втором этапе математическое выражение « $z \Lambda = x \Lambda + y$ » должно быть заменено на математическое выражение « $F_{z\Lambda} = F_{x\Lambda} \otimes F_{y\Lambda}$ », в котором \otimes — знак композиции интегральных законов распределения вероятности соответствующих случайных величин.

4. Принцип *системной композиции* математической модели «Задачи...» как задачи прикладной математики. В соответствии с этим принципом модель «Задачи...» как задачи прикладной математики понимается как система четырёх арифметических моделей, соответствующих понятию «Задача...». Система образуется («композируется») из арифметических моделей, полученных после декомпозиции логико-предикатной модели «Задачи...» на части и их арифметизации. Арифметические модели становятся элементами системы, выполняющими следующие функции:

1) арифметическая модель, соответствующая логико-предикатной модели СТС и её функционирования, становится частью прикладной математической модели «Задачи...» — прикладной математической моделью СТС и её функционирования, позволяющей:

1 а) определить (задать) вектор *переменных* и *параметров* задачи прикладной математики (как образ числовых характеристик СТС — числовых характеристик морфологического состава и морфологической структуры СТС, числовых характеристик функционального состава и функциональной структуры СТС и числовых характеристик технологии функционирования СТС);

и 1 б) установить функциональную связь между вектором переменных и вектором параметров задачи — с одной стороны, и элементом показателя, входящего в выражение *критериальной функции* задачи, соответствующим вектору эффектов функционирования СТС (таким элементом указанного показателя является операнд в предикате (бинарном отношении), моделирующем случайное событие, заключающееся в достижении требуемой цели функционирования СТС), — с другой стороны;

2) арифметическая модель, соответствующая логико-предикатной модели среды СТС и её функционирования, становится частью прикладной математической модели «Задачи...» — прикладной математической моделью среды СТС и её функционирования, позволяющей:

2 а) определить (задать) вектор *граничных значений* (как образ числовых характеристик среды СТС и её функционирования) *функций* задачи, устанавливающих *ограничение*, накладываемое на множество возможных значений вектора *переменных* задачи прикладной математики;

и 2 б) установить функциональную связь между вектором указанных *граничных значений* — с одной стороны, и элементом показателя, входящего в выражение *критериальной функции* задачи, соответствующим требованиям, предъявляемым к вектору эффектов функционирования СТС (таким элементом указанного показателя является операнд в предикате (бинарном отношении), моделирующем случайное событие, заключающееся в достижении требуемой цели функционирования СТС), — с другой стороны;

3) арифметическая модель, соответствующая логико-предикатной модели взаимодействия СТС и среды СТС, становится частью прикладной математической модели «Задачи...» — прикладной математической моделью взаимодействия СТС и среды СТС, устанавливающей функциональную связь:

3 а) между образами числовых характеристик технологических операций, осуществляемых на границе СТС и её среды, и *переменными* задачи прикладной математики;

и 3 б) между образами числовых характеристик технологических операций, осуществляемых на границе СТС и её среды, и элементом показателя, входящего в выражение *критериальной функции* задачи, соответствующим вектору эффектов функционирования СТС.

4) арифметическая модель, соответствующая логико-предикатной модели *оценки* показателя потенциала СТС, становится частью прикладной математической модели «Задачи...» — прикладной математической моделью *оценки* показателя потенциала СТС, *определяющей* (задающей) *критериальную функцию* задачи прикладной математики.

Изложенные принципы позволяют трансформировать концептуальную модель «Задачи...» в математическую модель «Задачи...», для решения которой следует разработать метод решения, основываясь на идеях прикладной математики.

Приложение J.

Вербальная модель проблемы исследования потенциала

Проблема исследования потенциала СТС — это совокупность трёх задач исследования потенциала (ИП) СТС: задачи оценивания потенциала СТС, задачи анализа потенциала СТС и задачи синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом.

1.1 Задача оценивания потенциала СТС

1.1.1 Задача оценивания потенциала СТС — это вопрос: каково истинностное значение суждения «Оценка потенциала СТС (на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС, при заданных характеристиках СТС, характеристиках её среды, характеристиках их взаимодействия и характеристиках возможности их изменения) равна X».

1.1.2 Вопрос — это ясное понятие.

1.1.3 Истинностное значение суждения — это одно из двух возможных его (суждения) истинностных значений: либо истина, либо ложь.

1.1.4 Истинностное значение — это либо истина, либо ложь.

1.1.5 Истина — это ясное понятие.

1.1.6 Ложь — это ясное понятие.

1.1.7 Суждение — это высказывание, имеющее истинностное значение.

1.1.8 Высказывание — это предложение (написанное на естественном либо на математическом языке).

1.1.9 Предложение — это ясное понятие.

1.1.10 Естественный язык — это ясное понятие.

1.1.11 Математический язык — это ясное понятие.

1.2 Оценка потенциала

1.2.1 **Оценка потенциала СТС** (на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС, при заданных характеристиках СТС, характеристиках её среды, характеристиках их взаимодействия и характеристиках возможности их изменения) — это значение показателя потенциала СТС (на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС, при заданных характеристиках СТС, характеристиках её среды, характеристиках их взаимодействия и характеристиках возможности их изменения).

1.2.2 Значение (величины) — это количественная определённость (величины).

1.2.3 Количественный — это численный.

1.2.4 Численный — это ясное понятие.

1.2.5 Определённость чего-либо — это ясное понятие.

1.2.6 Величина чего-либо — это свойство чего-либо, которое может быть охарактеризовано количественно.

1.2.7 Свойство объекта исследования (ОИ) — это аспект качества ОИ, который (аспект) выделяется исследователем как значимое для него проявление качества ОИ.

1.2.8 Качество объекта исследования — это присущая объекту исследования внутренняя его определённая.

1.2.9 Внутренний — это ясное понятие.

1.2.10 Присущий — это ясное понятие.

1.2.11 Аспект объекта исследования — это одна из сторон объекта исследования (ОИ), которой он, ОИ, является исследователю.

1.2.12 Сторона объекта исследования — это одно из проявлений качества объекта исследования.

1.2.13 Объект исследования — это материальная или идеальная сущность, изучаемая исследователем.

1.2.14 Сущность — это то, что существует.

1.2.15 Материальный — это ясное понятие.

1.2.16 Идеальный — это ясное понятие.

1.2.17 Исследователь — это ясное понятие.

1.2.18 Характеризовать — это ясное понятие.

1.2.19 Показатель (свойства) — это количественная характеристика (свойства).

1.2.20 Характеристика чего-либо — это количественное или не количественное (вербальное) описание свойств чего-либо.

1.2.21 Описание (чего-либо) — это систематическое изложение сведений о чём-либо.

1.2.22 Изложение чего-либо — это совокупность высказываний о чём-либо.

1.2.23 Сведения о чём-либо — это факты (данные), характеризующие что-либо.

1.2.24 Факты — это ясное понятие.

1.2.25 Данные — это ясное понятие.

1.2.26 Систематический — это ясное понятие.

1.2.27 Вербальный — это словесный.

1.2.28 Словесный — это ясное понятие.

1.2.29 **Показатель потенциала СТС** (на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС, при заданных характеристиках СТС, характеристиках её среды, характеристиках их взаимодействия и характеристиках возможности их изменения) — это возможностная мера потенциала СТС (на заданном интервале времени, при заданных характеристиках СТС, характеристиках её среды, характеристиках их взаимодействия и характеристиках возможности их изменения).

1.2.30 Возможностная мера (чего-либо) — это мера возможности появления или проявления (чего-либо).

1.2.31 Мера чего-либо — это характеристика чего-либо.

1.2.32 Возможность — это то, что может стать действительностью, а может и не стать.

1.2.33 То, что может стать, — это ясное понятие.

1.2.34 Действительность — это то, что существует.

1.2.35 Существовать — это ясное понятие.

1.2.36 Появление — это ясное понятие.

1.2.37 Проявление — это проявление.

1.2.38 Потенциал СТС (на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС, при заданных характеристиках СТС, характеристиках её среды, характеристиках их взаимодействия и характеристиках возможности их изменения) — это свойство СТС, проявляющееся в приспособленности СТС к успешному достижению действительной (актуальной) и возможных (возможной) целей (цели) её функционирования (на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС, при заданных характеристиках СТС, характеристиках её среды, характеристиках их взаимодействия и характеристиках возможности их изменения).

1.2.39 Приспособленность объекта исследования к чему-либо — это приданная объекту исследования способность выполнять что-либо или проявлять какое-либо своё свойство.

1.2.40 Способность объекта исследования (ОИ) — это свойство ОИ делать возможное действительным.

1.2.41 Делать — это ясное понятие.

1.2.42 **Сложная техническая система (СТС)** — это совокупность элементов СТС (каждый из которых предназначен для выполнения заданных функций при функционировании СТС) и связей между ними, предназначенная для достижения заданной цели функционирования СТС.

1.2.43 Совокупность (чего-либо) — это объединение (чего-либо).

1.2.44 Объединение (чего-либо) — это ясное понятие.

1.2.45 Элемент сложной технической системы (СТС) — это элемент объекта исследования, если объектом исследования является СТС.

1.2.46 Элемент объекта исследования (ОИ) — это часть ОИ, мыслимая как неделимая целостность.

1.2.47 Часть чего-либо — это доля, отдельная единица, на которые подразделяется что-либо.

1.2.48 Доля чего-либо — это ясное понятие.

1.2.49 Отдельная единица чего-либо — это ясное понятие.

1.2.50 Подразделять что-либо — это ясное понятие.

1.2.51 Неделимость чего-либо — это ясное понятие.

1.2.52 Целостность чего-либо — это ясное понятие.

1.2.53 Функция элемента сложной технической системы (СТС) — это функция объекта исследования, если объектом исследования является элемент СТС.

1.2.54 Связь между элементами СТС — это такая связь при функционировании СТС, при которой информация о результате и (или) результат, полученный при функционировании одного элемента СТС, передаётся другому элементу СТС, который их принимает для реализации своего функционирования.

1.2.55 Передача чего-либо от одного объекта исследования (ОИ) другому ОИ — это перемещение чего-либо из одного ОИ в другой ОИ через отделяющую их границу.

1.2.56 Перемещение — это ясное понятие.

1.2.57 Граница — это ясное понятие.

1.2.58 Принятие чего-либо первым объектом исследования от второго объекта исследования (ОИ) — это перемещение чего-либо из второго ОИ в первый ОИ через отделяющую их границу.

1.2.59 Результат действия объекта исследования (ОИ) — это итог действия ОИ.

1.2.60 Итог — это ясное понятие.

1.2.61 Связь между объектами исследования — это реализация взаимодействия объектов исследования.

1.2.62 Взаимодействие объектов исследования — это совокупность парных действий объектов исследования.

1.2.63 Парное действие объектов исследования (ОИ) — это совокупность действий пары ОИ: действия первого ОИ пары на второй ОИ пары и действия второго ОИ пары на первый ОИ пары.

1.2.64 Информация — это форма — например, запись на каком-нибудь «носителе информации» — существования идей или мыслей (представлений, понятий, суждений) в материальном мире (то есть вне сознания).

1.2.65 Форма (материального или идеального объекта познания) — это то, что преобразует (делает) материальный или идеальный субстрат объектом познания.

1.2.66 То, что преобразует, — это ясное понятие.

1.2.67 То, что делает, — это ясное понятие.

1.2.68 Материальный — это ясное понятие.

1.2.69 Идеальный — это ясное понятие.

1.2.70 Субстрат — это ясное понятие.

1.2.71 Объект познания — это ясное понятие.

1.2.72 Запись на каком-нибудь «носителе информации» — это ясное понятие.

1.2.73 Носитель информации — это ясное понятие.

1.2.74 Существование — это ясное понятие.

1.2.75 Идея (мысль) — это ясное понятие.

1.2.76 Представление — это то, что необходимо, находится в воображении и может быть тождественно идее.

1.2.77 То, что необходимо, находится в воображении, — это ясное понятие.

1.2.78 То, что может быть тождественно идее, — это ясное понятие.

1.2.79 Понятие — это результат обобщения представлений субъектом исследований.

1.2.80 Результат (действия) — это итог (действия).

1.2.81 Обобщение — это ясное понятие.

1.2.82 Субъект исследований — это исследователь.

1.2.83 Материальный мир — это ясное понятие.

1.2.84 Сознание — это ясное понятие.

1.2.85 **Интервал времени функционирования СТС и среды СТС** — это интервал календарного времени, на котором исследуется функционирование СТС и среды СТС (моменты начала и конца — границы интервала, как обычно, заданы).

1.2.86 **Характеристики СТС** — это количественные характеристики: морфологического состава СТС, морфологической структуры СТС, функционального состава СТС, функциональной структуры СТС и технологии функционирования СТС.

1.2.87 Характеристика объекта исследования (ОИ) — это количественная и (или) неколичественная (вербальная) характеристика свойств ОИ и характеристика действий (функций) ОИ.

1.2.88 Характеристика свойств объекта исследования (ОИ) — это количественное и (или) неколичественное (вербальное) описание пригодности ОИ к выполнению заданных функций.

1.2.89 Пригодность объекта исследования — это свойство объекта исследования удовлетворять предъявленным к нему требованиям.

1.2.90 Характеристика функции объекта исследования (ОИ) — это совокупность характеристики действия ОИ и характеристики цели действия ОИ.

1.2.91 Характеристика цели действия объекта исследования (ОИ) — это описание цели действия объекта исследования.

1.2.92 Морфологический состав (МСо) СТС — это множество элементов СТС.

1.2.93 Множество — это многое, мыслимое как единое.

1.2.94 Морфологическая структура (МС) СТС — это структура, заданная на морфологическом составе СТС.

1.2.95 Структура (объекта исследования — ОИ) — это множество отношений между частями ОИ.

1.2.96 Функциональный состав (ФСо) СТС — это множество функций СТС, выполняемых элементами СТС при функционировании СТС, которое включает два подмножества: множество эндофункций СТС и множество экзофункций СТС.

1.2.97 Функциональная структура (ФС) СТС — это структура, заданная на функциональном составе СТС.

1.2.98 Технология функционирования (ТлФ) СТС — это технология действий СТС при функционировании СТС.

1.2.99 Технология действия (ТлД) объекта исследования (ОИ) — это совокупность знаний о том, как ОИ следует реализовывать действие.

1.2.100 Знания — это совокупность понятий, суждений и умозаключений.

1.2.101 Реализовывать действие — это ясное понятие.

1.2.102 **Функционирование СТС** — это выполнение элементами СТС функций (эндофункций и экзофункций, входящих в функциональный состав СТС), образующих комплексы технологических операций, которое осуществляется для достижения действительной (исходной) цели функционирования СТС (при установившемся функционировании СТС), для перехода — при переходном, конверсионном функционировании СТС — к достижению возможной цели, сменившей исходную действительную цель и ставшей новой действительной целью, и, в том числе, для связи между элементами СТС и для связи между СТС и средой СТС.

1.2.103 Выполнение функции объектом исследования — это реализация функции объектом исследования.

1.2.104 Эндофункция СТС — это функция элемента СТС, соответствующее которой (функции) действие предназначено для связи между элементами СТС и является действием данного элемента СТС на другой элемент СТС.

1.2.105 Экзофункция СТС — это функция элемента СТС, соответствующее которой (функции) действие предназначено для связи между СТС и средой СТС и является действием данного элемента СТС на среду СТС, в котором (действии) проявляется действие СТС на среду СТС.

1.2.106 Связь между СТС и средой СТС — это такая связь при функционировании СТС и среды СТС, при которой информация о результате и (или) результат, полученный при функционировании СТС, передаётся из СТС в среду СТС, а среда СТС их принимает для реализации своего функционирования.

1.2.107 Реализация — это ясное понятие.

1.2.108 Функция объекта исследования (ОИ) — это действие, которое ОИ реализует в соответствии с заданной (ему) целью.

1.2.109 Действие объекта исследования (ОИ) — это обмен ресурсами — например: веществом, энергией, информацией⁴⁰ — между участниками действия — частями ОИ⁴¹.

1.2.110 Технологическая операция (ТлОп) — это функция, выполняемая в соответствии с технологической документацией (например: инструкциями, описаниями).

1.2.111 Технологическая документация — это ясное понятие.

1.2.112 Комплекс технологических операций (ТлОп) — это множество частично упорядоченных симплексов ТлОп, в котором существует начальный и конечный симплексы ТлОп.

1.2.113 Частичный порядок на множестве чего-либо — это ясное понятие.

1.2.114 Начальный симплекс технологических операций — это наименьший элемент комплекса ТлОп.

1.2.115 Конечный симплекс технологических операций — это наибольший элемент комплекса ТлОп.

1.2.116 Симплекс технологических операций — это последовательность трёх ТлОп (являющихся технологическими операционными примитивами): первой технологической информационной операции (ТИО1), технологической неинформационной операции (ТНИО) и второй технологической информационной операции (ТИО2).

1.2.117 Технологическая информационная операция (ТИО) — это ТлОп, предназначенная для оперирования информацией⁴² в соответствии с информационной технологией⁴³.

⁴⁰ Обмен информацией — это обмен носителем информации, который всегда материален (вещество или энергия).

⁴¹ Действие — это парное отношение: один элемент пары отдаёт свои ресурсы (например: вещество, энергию, информацию) или их часть другому элементу пары, который их принимает.

⁴² Это понятие координировано с понятием ТлОп, которое должно быть субординировано с понятием ТИО. Понятие ТлОп уже введено.

⁴³ Это понятие координировано с понятием ТлОп, которое должно быть субординировано с понятием ТИО. Но понятие ТлОп уже введено, поэтому здесь оно показано как копия — другим цветом.

1.2.118 Информационная технология⁴⁴ (ИТл) — это технология (ТлД) оперирования информацией.

1.2.119 Первая технологическая информационная операция (ТИО1) — это ТИО, которая выполняется для проверки состояния готовности участников ТНИО к началу ТНИО.

1.2.120 Проверка объекта исследования — это действие, цель которого — подтвердить, что объект исследования удовлетворяет предъявленным к нему требованиям.

1.2.121 Состояние готовности объекта исследования (ОИ) к началу действия — это такое состояние ОИ, находясь в котором, ОИ способен начать выполнение действия через время, не большее заданного времени.

1.2.122 Вторая технологическая информационная операция (ТИО2) — это ТИО, которая выполняется для проверки состояния участников ТНИО по окончании ТНИО.

1.2.123 Состояние объекта исследования по окончании его действия — это такое состояние объекта исследования, которое соответствует моменту времени окончания действия объекта исследования.

1.2.124 Окончание действия объекта исследования — это прекращение выполнения действия объектом исследования.

1.2.125 Момент времени окончания действия объекта исследования — это ясное понятие.

1.2.126 Технологическая неинформационная операция (ТНИО) — это ТлОп, не являющаяся ТИО.

1.2.127 Технологический операционный примитив⁴⁵ (ТОП) — это ТлОп, характеристики которой заданы в технологической документации.

1.2.128 Характеристики ТОП — это совокупность, включающая характеристику цели ТОП и способ (и возможно, альтернативы способов) выполнения ТОП.

1.2.129 Способ выполнения ТОП — это описание выполнения ТОП как возможного действия, реализуемого его исполнителями (участниками). Таким образом, у ТОП может быть один или более возможных способов реализации.

1.2.130 Описание выполнения действия объектом исследования (ОИ) — это совокупность характеристик: состояния готовности ОИ к началу действия; закономерности изменения состояния ОИ при выполнении действия; неплановых состояний ОИ, которые могут появляться при выполнении действия, и того действия, которое должно выполняться при появлении непланового состояния ОИ (в том числе — конверсионного действия в случае непланового завершения выполнявшегося действия для приведения ОИ в состояние готовности к началу конверсионного действия); состояния ОИ по окончании действия.

⁴⁴ Definiens этого понятия содержит понятие ТлД, которое субординировано с понятием ИТл. Понятие ТлД уже введено.

⁴⁵ Это понятие координировано с каждым из понятий ТИО1, ТИО2 и ТНИО, которые субординированы с понятием «симплекс ТлОп», так как определение понятия «симплекс ТлОп» введено как экстенциональное.

1.2.131 Закономерности изменения состояния объекта исследования при выполнении им действия — это закономерности появления эффектов действия при выполнении действия объектом исследования.

1.2.132 Неплановое состояние объекта исследования (ОИ) — это возможное состояние ОИ, появление которого нежелательно при выполнении объектом исследования действий, включённых в календарный график функционирования ОИ.

1.2.133 Календарный график функционирования объекта исследования — это совокупность, включающая функции объекта исследований и моменты календарного времени начала и окончания выполнения функций объектом исследования.

1.2.134 Момент календарного времени начала выполнения функции объектом исследования — это ясное понятие.

1.2.135 Момент календарного времени окончания выполнения функции объектом исследования — это ясное понятие.

1.2.136 Конверсионное действие объекта исследования (ОИ) — это действие, которое выполняет ОИ при конверсии.

1.2.137 Связь между СТС и средой СТС — это такая связь при функционировании СТС (которая реализуется при выполнении действий СТС на среду СТС), при которой информация о результатах и результаты функционирования СТС передаются из СТС в среду СТС, а информация о результатах и результаты функционирования среды СТС принимаются в СТС.

1.2.138 Цель функционирования СТС — это такая последовательность состояний СТС, которая является результатом функционирования СТС и которая должна находиться в требуемом соответствии с требуемой последовательностью состояний СТС.

1.2.139 Последовательность чего-либо — это ясное понятие.

1.2.140 Требуемая последовательность чего-либо — это такая последовательность чего-либо, которая должна появиться.

1.2.141 Появиться — это ясное понятие.

1.2.142 Действительная цель функционирования СТС — это цель функционирования СТС, которая появилась (актуализировалась) и должна быть достигнута.

1.2.143 Актуализация чего-либо — это появление чего-либо.

1.2.144 Возможная цель функционирования СТС — это цель функционирования СТС, которая может стать действительной.

1.2.145 Установившееся, или *целевое*, функционирование СТС — это функционирование СТС для достижения действительной цели.

1.2.146 Переходное, или конверсионное, функционирование СТС — это конверсия СТС (для перехода к установившемуся функционированию СТС для достижения возможной цели, которая стала действительной целью).

1.2.147 Конверсия объекта исследования — это перевод объекта исследования с выполнения им одних действий на выполнение им других действий.

1.2.148 Достижение цели объектом исследования (ОИ) — это случайное событие, заключающееся в том, что в результате действия ОИ появи-

лось (актуализировалось) состояние ОИ, находящееся в требуемом соответствии с требуемым состоянием ОИ.

1.2.149 Случайное событие — это событие, которое может стать действительным событием, а может и не стать им.

1.2.150 Цель действия объекта исследования (ОИ) — это такое состояние ОИ, которое является результатом действия ОИ и которое находится в требуемом соответствии с требуемым состоянием ОИ.

1.2.151 Требуемое состояние объекта исследования (ОИ) — это такое состояние ОИ, которое должно появиться.

1.2.152 Требуемое соответствие — это такое соответствие, которое должно появиться.

1.2.153 Соответствие — это отношение.

1.2.154 Состояние объекта исследования (ОИ) — это совокупность характеристик свойств ОИ, подлежащих исследованию (например, морфологичности, действенности и структурности ОИ, а также характеристик ресурсов (вещественных, энергетических, информационных и временных), которые входят в ОИ перед началом выполнения им действия и которые изменяются из-за эффектов — результативности, ресурсоёмкости и оперативности — выполняемого ОИ действия).

1.2.155 Морфологичность (составность) объекта исследования — это свойство объекта исследования, заключающееся в его способности (приспособленности) иметь морфологический состав, то есть состоять из частей.

1.2.156 Действенность — или функциональность, если имеются в виду функции — объекта исследования — это свойство объекта исследования, заключающееся в его способности (приспособленности) выполнять действия (функции).

1.2.157 Структурность объекта исследования — это свойство объекта исследования, заключающееся в его способности (приспособленности) иметь структуру⁴⁶.

1.2.158 Характеристики ресурсов объекта исследования — это совокупность видов и соответствующих количеств ресурсов объекта исследования.

1.2.159 Характеристика действия объекта исследования — это совокупность, которая включает описание эффектов действия и описание закономерностей их появления при выполнении действия объектом исследования.

1.2.160 Виды эффектов действия объекта исследования — это совокупность трёх эффектов действия объекта исследования (ОИ): эффекта результативности действия ОИ, эффекта ресурсоёмкости действия ОИ и эффекта оперативности действия ОИ.

1.2.161 Эффект действия объекта исследования — это результат (итог) действия объекта исследования.

1.2.162 Эффект результативности действия объекта исследования — это такой эффект действия объекта исследования, в котором проявляется результативность действия объекта исследования.

⁴⁶ Например, морфологическую структуру или функциональную структуру.

1.2.163 **Результативность действия объекта исследования** — это свойство действия объекта исследования, заключающееся в приспособленности действия к тому, чтобы давать целевой результат.

1.2.164 **Свойство действия** — это свойство объекта исследования, если объектом исследования является действие.

1.2.165 **Эффект ресурсоёмкости действия объекта исследования** — это такой эффект действия объекта исследования, в котором проявляется ресурсоёмкость действия объекта исследования.

1.2.166 **Ресурсоёмкость действия объекта исследования** — это свойство действия объекта исследования, заключающееся в приспособленности действия к тому, чтобы использовать имеющиеся материальные ресурсы объекта исследования для получения целевого результата действия.

1.2.167 **Материальные ресурсы объекта исследования** — это совокупность вещественных ресурсов, энергетических ресурсов, финансовых ресурсов и информационных ресурсов объекта исследования.

1.2.168 **Использовать (что-либо)** — это значит извлекать пользу (из чего-либо).

1.2.169 **Эффект оперативности действия объекта исследования** — это такой эффект действия объекта исследования, в котором проявляется оперативность действия объекта исследования.

1.2.170 **Оперативность действия объекта исследования** — это свойство действия объекта исследования, заключающееся в приспособленности действия к тому, чтобы использовать имеющиеся у объекта исследования ресурсы времени (временные ресурсы) для получения целевого результата действия.

1.2.171 **Закономерности появления эффектов действия при выполнении действия объектом исследования** — это количественные характеристики, описывающие, как зависят эффекты действия от величины времени, прошедшего с начала выполнения действия объектом исследования.

1.2.172 **Количественные характеристики чего-либо** — это ясное понятие.

1.2.173 **Среда СТС** — это то, что не является СТС и взаимодействует с СТС.

1.2.174 **Характеристики среды СТС** — это количественные характеристики: морфологического состава среды СТС, морфологической структуры среды СТС, функционального состава среды СТС, функциональной структуры среды СТС и технологии функционирования среды СТС.

1.2.175 **Морфологический состав среды СТС** — это множество элементов среды СТС.

1.2.176 **Элементы среды СТС** — это совокупность двух частей (элементов) среды СТС: дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС и враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС.

1.2.177 **Состояние среды СТС** — значение вектора результатов функционирования среды в заданный момент времени.

1.2.178 **Функционирование среды** — выполнение средой СТС функций.

1.2.179 **Сценарий функционирования среды СТС** — это комплекс действий среды СТС и способы выполнения каждого из действий, зафиксированные до начала функционирования среды СТС.

1.2.180 Дружественная — по отношению к СТС — часть среды СТС — это часть среды СТС, которая задаёт цель функционирования СТС, передаёт в СТС ресурсы и получает целевые результаты от СТС.

1.2.181 Задание цели функционирования СТС — это действие среды СТС по заданию действительной (исходной) цели функционирования СТС или по заданию перехода к возможной цели функционирования СТС.

1.2.182 Враждебная — по отношению к СТС — часть среды СТС — это часть среды СТС, которая оказывает деградирующее действие на характеристики СТС.

1.2.183 Морфологическая структура среды СТС — это структура, заданная на морфологическом составе среды СТС.

1.2.184 Функциональный состав (ФС_о) среды СТС — это множество функций, осуществляемых при функционировании среды СТС её элементами, которое включает два подмножества: множество эндофункций среды СТС и множество экзофункций среды СТС.

1.2.185 Функциональная структура среды СТС — это структура, заданная на функциональном составе среды СТС.

1.2.186 Технология функционирования среды СТС — это технология действий среды СТС при функционировании среды СТС.

1.2.187 **Функционирование среды СТС** — это выполнение элементами среды СТС функций (эндофункций и экзофункций, входящих в функциональный состав среды СТС), а именно:

- эндофункций (к которым относятся разработка действительной (исходной) цели функционирования СТС; разработка возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей исходную действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС; разработка календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС; разработка календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС);

- экзофункций (реализация которых есть связь между средой СТС и СТС).

1.2.188 Функция элемента среды сложной технической системы (СТС) — это функция объекта исследования, если объектом исследования является элемент среды СТС.

1.2.189 Эндофункция среды СТС — это функция элемента среды СТС, соответствующее которой (функции) действие не является действием среды СТС на СТС.

1.2.190 Экзофункция среды СТС — это функция элемента среды СТС, соответствующее которой (функции) действие является действием среды СТС на СТС, реализация которого есть связь между средой СТС и СТС.

1.2.191 Реализация функционирования среды — одна из возможных последовательностей состояний среды при выполнении заданного сценария функционирования среды СТС.

1.2.192 Разработка действительной (исходной) цели функционирования СТС — это действие, целевым результатом которого является действительная (исходная) цель функционирования СТС.

1.2.193 Разработка возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей исходную действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это действие, целевым результатом которого является множество возможных целей, каждая из которых может сменить исходную действительную цель и стать (новой) действительной целью функционирования СТС.

1.2.194 Разработка календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это действие, целевым результатом которого является календарный график поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.195 Разработка календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это действие, целевым результатом которого является календарный график поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.196 Связь между средой СТС и СТС — это совокупность, которая включает: связь между дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС и СТС; связь между враждебной — по отношению к СТС — частью среды СТС и СТС.

1.2.197 Связь между дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС и СТС — это такая связь при функционировании среды СТС (которая проявляется при выполнении действий дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС на СТС) и СТС, при которой информация о результате и (или) результат, полученный при функционировании дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС, передаются дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС в СТС, а СТС их принимает для реализации своего функционирования.

1.2.198 Связь между враждебной — по отношению к СТС — частью среды СТС и СТС — это такая связь при функционировании среды СТС и СТС, которая проявляется при выполнении действий враждебной — по отношению к СТС — частью среды СТС на СТС.

1.2.199 Действия дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС — это множество действий (соответствующих им экзофункций), которые реализует дружественная — по отношению к СТС — часть среды СТС, включающее следующие действия: задание действительной (исходной) цели функционирования СТС; задание перехода к возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей исходную действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС; реализация иных связей между дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС и СТС.

1.2.200 Действия враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС — это деградирующие действия враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС на характеристики СТС.

1.2.201 **Взаимодействие СТС и её среды** — это взаимодействие (двух объектов исследования, один из которых — СТС, а другой — среда СТС), которое состоит из действий СТС на среду СТС и действий среды СТС на СТС.

1.2.202 Действия среды СТС на СТС — это совокупность действий, которая включает:

- действия дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС;

- действия враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС.

1.2.203 Задание действительной (исходной) цели функционирования СТС — это передача средой СТС в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС.

1.2.204 Последовательность требуемых состояний СТС — это последовательность состояний СТС, каждое из которых является требуемым и должно появиться в заданный (требуемый) момент интервала времени функционирования СТС и её среды.

1.2.205 Задание перехода к возможной цели функционирования СТС — это передача средой СТС в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая являлась возможной целью функционирования СТС (из множества возможных целей), но в момент задания перехода стала новой действительной целью функционирования СТС, сменившей исходную действительную цель.

1.2.206 Множество возможных целей функционирования СТС — это множество перестановок заданной последовательности отличающихся друг от друга элементов (каждый из которых — это возможная цель функционирования СТС), на котором задано распределение вероятностных мер наступления случайных событий (каждое из которых заключается в актуализации соответствующей перестановки и которые составляют полную группу несовместных случайных событий); при этом элемент перестановки — это последовательность возможных целей функционирования СТС, на которой заданы распределения случайных длин интервалов календарного времени между моментами времени актуализации — появления в виде действительных целей — соседних возможных целей функционирования СТС-членов перестановки.

1.2.207 Перестановка — это ясное понятие.

1.2.208 Распределение вероятностной меры случайного события — это закон распределения вероятностной меры случайного события.

1.2.209 Актуализация перестановки — это ясное понятие.

1.2.210 Полная группа несовместных случайных событий — это ясное понятие.

1.2.211 Элемент перестановки — это ясное понятие.

1.2.212 Распределение случайной длины чего-либо — это закон распределения вероятностной меры случайной величины — длины чего-либо.

1.2.213 Длина чего-либо — это ясное понятие.

1.2.214 Момент времени актуализации чего-либо — это ясное понятие.

1.2.215 Иные связи между дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС и СТС — это множество связей, которые проявляются при выполнении дружественной — по отношению к СТС — частью среды следующих действий:

- передача средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС;
- передача средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;
- поставка средой СТС ресурсов разных видов в СТС;
- получение средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;
- получение средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС;
- получение средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС.

1.2.216 Передача средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС, при которой реализуется передача дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС.

1.2.217 Вид — это понятие, которое образуется посредством выделения общих признаков в индивидуальных понятиях (представлениях) и само имеет общие признаки с другими видовыми понятиями; из понятия вида может быть образовано ещё более широкое понятие — понятие рода.

1.2.218 Передача средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС, при которой реализуется передача дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в дружественную — по отношению к СТС — часть среды СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.219 Поставка средой СТС ресурсов разных видов в СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС, при которой реализуется поставка дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС ресурсов разных видов в СТС.

1.2.220 Поставка чего-либо от одного объекта исследования (ОИ) другому ОИ — это передача чего-либо от одного объекта исследования (ОИ) другому ОИ.

1.2.221 Получение средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС, при которой реализуется получение дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.222 Получение чего-либо первым объектом исследования (ОИ) от второго ОИ — это принятие чего-либо первым ОИ от второго ОИ.

1.2.223 Получение средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС, при которой реализуется

получение дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС.

1.2.224 Получение средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС, при которой реализуется получение дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС.

1.2.225 Деградирующие действия на характеристики СТС — это множество действий, которые реализует враждебная — по отношению к СТС — часть среды СТС, в результате которых характеристики СТС ухудшаются, включающее следующие действия:

- действие, вызывающее разброс значений эффектов ресурсоёмкости технологических операционных примитивов относительно их математических ожиданий;

- действие, вызывающее увеличение (с течением времени функционирования СТС) математических ожиданий и дисперсий значений эффектов ресурсоёмкости технологических операционных примитивов;

- действие, вызывающее разброс значений эффектов оперативности технологических операционных примитивов относительно их математических ожиданий;

- действие, вызывающее увеличение (с течением времени функционирования СТС) математических ожиданий и дисперсий значений эффектов оперативности технологических операционных примитивов;

- действие, вызывающее появление ошибок α в результате проверки состояния элементов СТС;

- действие, вызывающее увеличение (с течением времени функционирования СТС) мер возможности появления ошибок α в результате проверки состояния элементов СТС;

- действие, вызывающее появление ошибок β в результате проверки состояния элементов СТС;

- действие, вызывающее увеличение (с течением времени функционирования СТС) мер возможности появления ошибок β в результате проверки состояния элементов СТС.

1.2.226 Действие, вызывающее разброс значений эффектов ресурсоёмкости технологических операционных примитивов относительно их математических ожиданий, — это ясное понятие.

1.2.227 Действие, вызывающее увеличение (с течением времени функционирования СТС) математических ожиданий и дисперсий значений эффектов ресурсоёмкости технологических операционных примитивов, — это ясное понятие.

1.2.228 Действие, вызывающее разброс значений эффектов оперативности технологических операционных примитивов относительно их математических ожиданий, — это ясное понятие.

1.2.229 Действие, вызывающее увеличение (с течением времени функционирования СТС) математических ожиданий и дисперсий значений эффектов оперативности технологических операционных примитивов, — это ясное понятие.

1.2.230 Действие, вызывающее появление ошибок α в результате проверки состояния элементов СТС, — это ясное понятие.

1.2.231 Действие, вызывающее увеличение (с течением времени функционирования СТС) мер возможности появления ошибок α в результате проверки состояния элементов СТС, — это ясное понятие.

1.2.232 Действие, вызывающее появление ошибок β в результате проверки состояния элементов СТС, — это ясное понятие.

1.2.233 Действие, вызывающее увеличение (с течением времени функционирования СТС) мер возможности появления ошибок β в результате проверки состояния элементов СТС, — это ясное понятие.

1.2.234 Действия СТС на среду СТС — это множество действий (соответствующих им экзофункций), которые реализует СТС, включающее следующие действия:

- передача СТС в среду СТС информации о календарных графиках функционирования СТС;

- передача СТС в среду СТС информации о календарных графиках изменения состояний СТС;

- поставка СТС в среду СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- получение СТС ресурсов разных видов из среды СТС;

- получение СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС;

- получение СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.235 Передача СТС в среду СТС информации о календарных графиках функционирования СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС (реализуемая в СТС информационным элементом первого вида при выполнении редуцированного симплекса первого вида), при которой реализуется передача СТС в дружественную — по отношению к СТС — часть среды СТС информации о календарных графиках функционирования СТС.

1.2.236 Передача СТС в среду СТС информации о календарных графиках изменения состояний СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС (реализуемая в СТС информационным элементом первого вида при выполнении редуцированного симплекса первого вида), при которой реализуется передача СТС в дружественную — по отношению к СТС — часть среды СТС информации о календарных графиках изменения состояний СТС.

1.2.237 Поставка СТС в среду СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС (реализуемая в СТС неинформационным элементом при выполнении симплекса технологических операций), при которой реализуется поставка СТС в дружественную — по отношению к СТС — часть среды СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.238 Получение СТС ресурсов разных видов из среды СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС

и СТС (реализуемая в СТС неинформационным элементом при выполнении симплекса технологических операций), при которой реализуется получение СТС ресурсов разных видов из дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС.

1.2.239 Получение СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС (реализуемая в СТС информационным элементом первого вида при выполнении редуцированного симплекса первого вида), при которой реализуется получение СТС из дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС.

1.2.240 Получение СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это вид действия, при выполнении которого возникает связь между средой СТС и СТС (реализуемая в СТС информационным элементом первого вида при выполнении редуцированного симплекса первого вида), при которой реализуется получение СТС информации о календарных графиках поставки в дружественную — по отношению к СТС — часть среды СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.241 Выполнение действия объектом исследования — это реализация действия объектом исследования.

1.2.242 Календарный график поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это совокупность, включающая календарные сроки поставки ресурсов разных видов из дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС в СТС и действия по поставке ресурсов разных видов из дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС в СТС (соответствующего вида и количества передаваемых ресурсов).

1.2.243 Календарный график поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это совокупность, включающая календарные сроки поставки требуемых целевых результатов функционирования СТС в дружественную — по отношению к СТС — часть среды СТС из СТС и действия по поставке требуемых целевых результатов функционирования СТС в дружественную — по отношению к СТС — часть среды СТС из СТС.

1.2.244 Календарные сроки — это моменты календарного времени или интервалы календарного времени.

1.2.245 Ресурсы объекта исследования (ОИ) — это запасы в ОИ чего-либо, что может быть использовано объектом исследования при выполнении им действия.

1.2.246 Виды передаваемых ресурсов от одного объекта исследования (ОИ) другому ОИ — это совокупность вещественных ресурсов, энергетических ресурсов, финансовых ресурсов, информационных ресурсов и временных ресурсов.

1.2.247 Количество передаваемых ресурсов от одного объекта исследования (ОИ) другому ОИ — это ясное понятие.

1.2.248 Вещественные ресурсы объекта исследования — это люди, предметы, жидкости, газы и прочие вещества, входящие в состав объекта исследования.

1.2.249 Энергетические ресурсы объекта исследования — это электрическая энергия, входящая в состав объекта исследования.

1.2.250 Финансовые ресурсы объекта исследования — это деньги, входящие в состав объекта исследования.

1.2.251 Информационные ресурсы объекта исследования — это документация, программные средства и прочие носители информации, входящие в состав объекта исследования.

1.2.252 Временные ресурсы объекта исследования — это время, имеющееся в запасе у объекта исследования.

1.2.253 Календарный график функционирования СТС — это совокупность, включающая календарные сроки начала и завершения соответствующих технологических операций элементами СТС и технологические операции, выполняемые элементами СТС.

1.2.254 Целевой результат действия объекта исследования — это такой эффект действия объекта исследования, для получения которого объект исследования выполняет действие.

1.2.255 Состояние СТС (в требуемый момент календарного времени) — это значение вектора результатов (эффектов) функционирования СТС (в требуемый момент календарного времени), сформированного к требуемому моменту календарного времени в результате выполнения ТИО — редуцированного симплекса первого вида (РС-1) — соответствующим информационным элементом СТС (информационным элементом первого вида).

1.2.256 Результаты функционирования СТС (в требуемый момент календарного времени) — это эффекты результативности, ресурсоёмкости и оперативности функционирования СТС, накопленные (полученные) в СТС к требуемому моменту календарного времени.

1.2.257 Редуцированный симплекс первого вида (РС-1) — это симплекс ТлОп, состоящий из одной ТИО, целью которой является получение информации о состоянии информационных элементов СТС второго вида (информации, которая является целевым результатом реализации редуцированного симплекса второго вида — РС-2), обработка, хранение и передача информации в среду СТС.

1.2.258 Информационный элемент СТС — это элемент СТС, выполняющий только ТИО.

1.2.259 Информационный элемент первого вида — это информационный элемент СТС, выполняющий РС-1.

1.2.260 Редуцированный симплекс второго вида (РС-2) — это симплекс ТлОп (выполняемый информационным элементом второго вида), состоящий из одной ТИО, целью которой является получение информации о состоянии одного какого-либо неинформационного элемента СТС или о состоянии нескольких информационных элементов второго вида, обработка, хранение и передача информации другому информационному элементу второго вида или информационному элементу первого вида.

1.2.261 Информационный элемент второго вида — это информационный элемент СТС, выполняющий РС-2.

1.2.262 Неинформационный элемент СТС — это элемент СТС, выполняющий симплекс технологических операций.

1.2.263 Результаты функционирования СТС — это эффекты результативности, ресурсоёмкости и оперативности функционирования СТС.

1.2.264 Календарный график изменения состояния СТС — это совокупность, включающая календарные сроки появления соответствующих состояний СТС и состояния СТС, появляющиеся при функционировании СТС.

1.2.265 **Характеристики взаимодействия СТС и её среды** — это совокупность, в которую входят следующие количественные характеристики: количественная характеристика действия СТС на её среду и количественная характеристика действия среды СТС на СТС.

1.2.266 Количественная характеристика действия СТС на среду СТС — это совокупность, в которую входят следующие количественные характеристики:

- количественная характеристика календарного графика функционирования СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС;

- количественная характеристика календарного графика изменения состояний СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС;

- количественная характеристика передачи СТС в среду СТС информации о календарных графиках функционирования СТС;

- количественная характеристика передачи СТС в среду СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС;

- количественная характеристика поставки СТС в среду СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- количественная характеристика получения СТС ресурсов разных видов из среды СТС;

- количественная характеристика получения СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов из среды СТС в СТС;

- количественная характеристика получения СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.267 Количественная характеристика действия среды СТС на СТС — это совокупность, в которую входят следующие количественные характеристики:

- количественная характеристика действия дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС;

- количественная характеристика действия враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС.

1.2.268 Количественная характеристика действия дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС — это совокупность, в которую входят следующие количественные характеристики:

- количественная характеристика календарного графика поставки ресурсов из среды СТС в СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС;

- количественная характеристика календарного графика поставки требуемых целевых результатов функционирования СТС в среду СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС;

- количественная характеристика задания действительной (исходной) цели функционирования СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС;

- количественная характеристика задания перехода к возможной цели функционирования СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС;

- количественная характеристика передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС;

- количественная характеристика передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- количественная характеристика поставки средой СТС ресурсов разных видов в СТС;

- количественная характеристика получения средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- количественная характеристика получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС;

- количественная характеристика получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС.

1.2.269 Количественная характеристика календарного графика поставки ресурсов из среды СТС в СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС — это календарный график поставки ресурсов из среды СТС в СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.270 Количественная характеристика календарного графика поставки требуемых целевых результатов функционирования СТС в среду СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС — это календарный график поставки требуемых целевых результатов функционирования СТС в среду СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.271 Количественная характеристика задания действительной (исходной) цели функционирования СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС — это количественная характеристика передачи средой СТС в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС.

1.2.272 Количественная характеристика действия враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС — это количественная характеристика деградирующего действия враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС на заданном интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.273 Количественная характеристика деградирующего действия враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС на за-

данном интервале времени функционирования СТС и среды СТС — это совокупность, в которую входят следующие количественные характеристики:

- количественные характеристики разброса значений эффектов ресурсоёмкости технологических операционных примитивов относительно их математических ожиданий;

- количественные характеристики увеличения (с течением времени функционирования СТС) математических ожиданий и дисперсий значений эффектов ресурсоёмкости технологических операционных примитивов;

- количественные характеристики разброса значений эффектов оперативности технологических операционных примитивов относительно их математических ожиданий;

- количественные характеристики увеличения (с течением времени функционирования СТС) математических ожиданий и дисперсий значений эффектов оперативности технологических операционных примитивов;

- количественные характеристики увеличения (с течением времени функционирования СТС) мер возможности появления ошибок α в результате проверки состояния элементов СТС;

- количественные характеристики увеличения (с течением времени функционирования СТС) мер возможности появления ошибок β в результате проверки состояния элементов СТС.

1.2.274 Количественные характеристики разброса значений эффектов ресурсоёмкости технологических операционных примитивов относительно их математических ожиданий — это ясное понятие.

1.2.275 Количественные характеристики увеличения (с течением времени функционирования СТС) математических ожиданий и дисперсий значений эффектов ресурсоёмкости технологических операционных примитивов — это ясное понятие.

1.2.276 Количественные характеристики разброса значений эффектов оперативности технологических операционных примитивов относительно их математических ожиданий — это ясное понятие.

1.2.277 Количественные характеристики увеличения (с течением времени функционирования СТС) математических ожиданий и дисперсий значений эффектов оперативности технологических операционных примитивов — это ясное понятие.

1.2.278 Количественные характеристики увеличения (с течением времени функционирования СТС) мер возможности появления ошибок α в результате проверки состояния элементов СТС — это ясное понятие.

1.2.279 Количественные характеристики увеличения (с течением времени функционирования СТС) мер возможности появления ошибок β в результате проверки состояния элементов СТС — это ясное понятие.

1.2.280 **Характеристики возможности изменения СТС, среды СТС и взаимодействия СТС и среды СТС** — это совокупность, в которую входят: количественная характеристика возможности изменения СТС при функционировании СТС, количественная характеристика возможности изменения среды СТС при функционировании среды СТС и количественная характеристика возможности изменения взаимодействия СТС и среды СТС.

1.2.281 Количественная характеристика возможности изменения СТС при функционировании СТС — это совокупность, в которую входят: количественная характеристика возможности изменения элементов функционального состава СТС при функционировании СТС и количественная характеристика возможности изменения состояния СТС при функционировании СТС.

1.2.282 Количественная характеристика возможности изменения элементов функционального состава СТС при функционировании СТС — это совокупность, в которую входят:

- законы распределения вероятностных мер случайных величин целевых результатов, получаемых при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС, входящими в морфологический состав СТС (в том числе тех ТОП, которые выполняются для перехода в плановое состояние элемента СТС, при выходе из непланового состояния элемента СТС и при конверсии элемента СТС);

- законы распределения вероятностных мер случайных величин ресурсов каждого вида, используемых при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС, входящими в морфологический состав СТС (в том числе тех ТОП, которые выполняются для перехода в плановое состояние элемента СТС, при выходе из непланового состояния элемента СТС и при конверсии элемента СТС);

- законы распределения вероятностных мер случайных событий, заключающихся в появлении плановых состояний (каждого вида) элементов СТС, входящих в морфологический состав СТС, при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС;

- законы распределения вероятностных мер случайных событий, заключающихся в появлении неплановых состояний (каждого вида) элементов СТС, входящих в морфологический состав СТС, при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС.

1.2.283 Законы распределения вероятностных мер случайных величин ресурсов каждого вида, используемых при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС, входящими в морфологический состав СТС (в том числе тех ТОП, которые выполняются для перехода в плановое состояние элемента СТС, при выходе из непланового состояния элемента СТС и при конверсии элемента СТС), — это множество законов распределения вероятностных мер описанных случайных величин ресурсов.

1.2.284 Законы распределения вероятностных мер случайных величин целевых результатов, получаемых при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС, входящими в морфологический состав СТС (в том числе тех ТОП, которые выполняются для перехода в плановое состояние элемента СТС, при выходе из непланового состояния элемента СТС и при конверсии

элемента СТС), — это множество законов распределения вероятностных мер описанных случайных величин целевых результатов.

1.2.285 Законы распределения вероятностных мер случайных событий, заключающихся в появлении плановых состояний (каждого вида) элементов СТС, входящих в морфологический состав СТС, при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС, — это множество законов распределения вероятностных мер описанных случайных событий.

1.2.286 Виды плановых состояний элемента СТС — это множество, включающее: состояние готовности элемента СТС к началу ТлОп календарного графика функционирования СТС; состояние элемента СТС по окончании ТИО по его проверке, выполненной без ошибок; состояние элемента СТС по окончании ТлОп календарного графика функционирования СТС.

1.2.287 Закон распределения вероятностной меры случайного события — это функционал (форма которого зависит от вектора параметров), являющийся законом распределения вероятностной меры стохастического индикатора случайного события.

1.2.288 Закон распределения вероятностной меры стохастического индикатора случайного события — это ясное понятие.

1.2.289 Стохастический индикатор случайного события — это функционал, принимающий значение 1, если случайное событие произошло, и значение 0, если случайное событие не произошло.

1.2.290 Законы распределения вероятностных мер случайных событий, заключающихся в появлении неплановых состояний (каждого вида) элементов СТС, входящих в морфологический состав СТС, при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС, — это множество законов распределения вероятностных мер описанных случайных событий.

1.2.291 Виды неплановых состояний элемента СТС — это множество, включающее: неработоспособное состояние элемента СТС из-за его отказа; состояние элемента СТС по окончании ТлОп по его восстановлению; состояние элемента СТС по окончании ТИО по его проверке из-за «пропуска брака»; состояние элемента СТС по окончании ТИО по его проверке из-за «ложного забракования»; состояние готовности элемента СТС к началу конверсионной ТлОп; состояние элемента СТС по окончании конверсионной ТлОп.

1.2.292 Неработоспособное состояние элемента СТС из-за его отказа — это состояние элемента СТС, которое возникает после отказа элемента СТС.

1.2.293 Отказ элемента СТС — это случайное событие, заключающееся в потере элементом СТС работоспособности.

1.2.294 Состояние элемента СТС по окончании ТлОп по его восстановлению — это состояние элемента СТС, которое возникает после выполнения восстановления элемента СТС.

1.2.295 Восстановление элемента СТС — это ТлОп, выполняемая для перевода элемента СТС в работоспособное состояние.

1.2.296 Работоспособное состояние элемента СТС — это состояние элемента СТС, проявляющееся в наличии у элемента СТС работоспособности.

1.2.297 Состояние элемента СТС по окончании ТИО по его проверке из-за «пропуска брака» — это состояние элемента СТС, которое возникает из-за «пропуска брака» при выполнении ТИО по его проверке.

1.2.298 Пропуск брака — это случайное событие, заключающееся в появлении ошибки β в результате проверки состояния объекта исследования.

1.2.299 Ошибка β в результате проверки состояния объекта исследования — это ясное понятие.

1.2.300 Состояние элемента СТС по окончании ТИО по его проверке из-за «ложного забракования» — это состояние элемента СТС, которое возникает из-за «ложного забракования» при выполнении ТИО по его проверке.

1.2.301 Ложное забракование — это случайное событие, заключающееся в появлении ошибки α в результате проверки состояния объекта исследования.

1.2.302 Ошибка α в результате проверки состояния объекта исследования — это ясное понятие.

1.2.303 Состояние готовности элемента СТС к началу конверсионной ТлОп — это состояние элемента СТС, которое возникает после задания средней СТС перехода к возможной цели функционирования СТС и окончания технологической операции элементом СТС, которая выполнялась в момент задания перехода к возможной цели функционирования СТС.

1.2.304 Конверсионная технологическая операция — это технологическая операция для выполнения конверсионного действия.

1.2.305 Состояние элемента СТС по окончании конверсионной ТлОп — это ясное понятие.

1.2.306 Неработоспособное состояние элемента СТС — это состояние элемента СТС, проявляющееся в отсутствии у элемента СТС работоспособности.

1.2.307 Работоспособность элемента СТС — это свойство элемента СТС, проявляющееся в его способности выполнять заданные функции.

1.2.308 Плановое состояние объекта исследования (ОИ) — возможное состояние ОИ, появление которого желательно при выполнении объектом исследования действий, включённых в календарный график функционирования ОИ.

1.2.309 Количественная характеристика возможности изменения состояния СТС при функционировании СТС — это последовательность законов распределения возможностной меры случайного состояния СТС в заданный момент времени t допустимого календарного графика функционирования СТС, соответствующая последовательности заданных моментов времени допустимого календарного графика функционирования СТС.

1.2.310 Заданный момент времени — это момент времени, заданный кем-либо (например, исследователем).

1.2.311 Момент времени — это ясное понятие.

1.2.312 Заданный — это ясное понятие.

1.2.313 Закон распределения вероятностной меры случайного состояния СТС в заданный момент времени t допустимого календарного графика функционирования СТС — это закон распределения вероятностной меры случайного состояния редуцированного симплекса первого вида в заданный момент времени t допустимого календарного графика функционирования СТС.

1.2.314 Закон распределения вероятностной меры случайного состояния редуцированного симплекса первого вида в заданный момент времени t допустимого календарного графика функционирования СТС — это закон распределения вероятностной меры случайного вектора эффектов функционирования СТС, соответствующего состоянию редуцированного симплекса первого вида в заданный момент времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС.

1.2.315 Закон распределения вероятностной меры случайного вектора эффектов функционирования СТС — это вектор законов распределения вероятностных мер случайных величин, вектор которых (величин) соответствует вектору эффектов функционирования СТС.

1.2.316 Состояние редуцированного симплекса первого вида в заданный момент времени t допустимого календарного графика функционирования СТС — это значение вектора эффектов функционирования СТС, полученного редуцированным симплексом первого вида к заданному моменту времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС.

1.2.317 Вектор эффектов функционирования СТС, полученный редуцированным симплексом первого вида к заданному моменту времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС — это вектор эффектов функционирования СТС, соответствующий дереву возможных сечений в заданный момент времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС.

1.2.318 Последовательность заданных моментов времени допустимого календарного графика функционирования СТС — это последовательность заданных моментов времени на интервале времени функционирования СТС и среды СТС, соответствующих допустимому календарному графику функционирования СТС.

1.2.319 Последовательность заданных моментов времени — это последовательность моментов времени, заданных исследователем.

1.2.320 Закон распределения вероятностной меры случайной величины — это функционал (форма которого зависит от вектора параметров), который каждому элементу области значений случайной величины ставит в соответствие меру возможности наступления случайного события, заключающегося в том, что случайное значение величины будет меньше элемента области значений случайной величины.

1.2.321 Функционал — это ясное понятие.

1.2.322 Форма (функционала) — это свойство функционала, характеризующее его приспособленность к тому, чтобы соответствовать тому или иному виду числовых функций — элементарных или неэлементарных — и иметь график соответствующего вида.

1.2.323 Вектор эффектов функционирования СТС — это вектор, включающий эффект результативности, эффект ресурсоёмкости и эффект оперативности функционирования СТС.

1.2.324 Вектор — это ясное понятие.

1.2.325 Эффект результативности функционирования СТС — это эффект результативности действия СТС, возникающий при функционировании СТС.

1.2.326 Эффект ресурсоёмкости функционирования СТС — это эффект ресурсоёмкости действия СТС, возникающий при функционировании СТС.

1.2.327 Эффект оперативности функционирования СТС — это эффект оперативности действия СТС, возникающий при функционировании СТС.

1.2.328 Возникать — это ясное понятие.

1.2.329 Дерево возможных сечений в заданный момент времени t реализации комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС — это граф-дерево, i -я ветвь которого (ассоциированная с i -м возможным сечением в момент времени t реализации комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС) соответствует событию $\hat{S}_i(t)$, а множество ветвей граф-дерева соответствует множеству $\hat{S}(t)$ случайных событий $\hat{S}_i(t)$, составляющих полную группу несовместных событий.

1.2.330 i -я ветвь граф-дерева — ветвь граф-дерева, соответствующая i -му возможному сечению в момент времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС.

1.2.331 i -е возможное сечение комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС в момент времени t — это возможное сечение в заданный момент времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС, соответствующее i -й совокупности редуцированных симплексов второго вида (принадлежащих комплексу ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС), которая может реализоваться в момент времени t .

1.2.332 i -я совокупность редуцированных симплексов второго вида (принадлежащих комплексу ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС), которая может реализоваться в момент времени t , — это i -й элемент множества совокупностей редуцированных симплексов второго вида (принадлежащих комплексу ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС), каждый из которых может реализоваться в момент времени t .

1.2.333 Элемент множества — то, что входит в состав множества.

1.2.334 Множество совокупностей редуцированных симплексов второго вида (принадлежащих комплексу ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС), каждый из которых может реализоваться в момент времени t , — это множество совокупностей редуцированных симплексов второго вида (принадлежащих комплексу ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС), каждый из которых может реализоваться в момент времени t , взаимно-однозначно соответствующее множеству $\hat{S}(t)$.

1.2.335 Принадлежать — это ясное понятие.

1.2.336 Взаимно однозначное соответствие — это ясное понятие.

1.2.337 Множество $\hat{S}(t)$ — это множество случайных событий $\hat{S}_i(t)$, составляющих полную группу несовместных событий.

1.2.338 Возможное сечение в заданный момент времени комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС — это такое случайное сечение в заданный момент времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС, которое может стать действительным сечением.

1.2.339 Случайное сечение в заданный момент времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС — это такое сечение комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС, входящие в которое редуцированные симплексы второго вида (имеющие случайную длительность) могут выполняться в момент времени t .

1.2.340 Технологическая операция, выполняющаяся в момент времени t — это такая ТлОп, которая началась и не окончилась до момента времени t .

1.2.341 Начало действия объекта исследования — это начало выполнения действия объектом исследования.

1.2.342 Начало — это ясное понятие.

1.2.343 Действительное сечение в заданный момент времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС — это такое случайное сечение в заданный момент времени t комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС, которое появилось в заданный момент времени t .

1.2.344 Случайная длительность ТлОп — это ясное понятие.

1.2.345 Сечение комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС — это сечение графа, соответствующего комплексу ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС, включающее лишь редуцированные симплексы второго вида, входящие в комплекс ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС.

1.2.346 Случайное событие $\hat{S}_i(t)$ сечения в момент времени комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС — это случайное событие, состоящее в том, что i -е возможное сечение комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС в момент времени t стало i -м действительным сечением.

1.2.347 i -е действительное сечение комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС в момент времени t — это действительное сечение комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС в момент времени t , которое соответствует i -й совокупности редуцированных симплексов второго вида (принадлежащих комплексу ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС), которая может реализоваться в момент времени t .

1.2.348 Действительное сечение комплекса ТлОп допустимого календарного графика целевого функционирования СТС в момент времени t —

это совокупность редуцированных симплексов второго вида (принадлежащих комплексу ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС), выполняющихся в момент времени t .

1.2.349 Соответствие i -й ветви граф-дерева возможных сечений комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС i -у возможному сечению комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС — это такое отношение, при котором каждая вершина i -й ветви граф-дерева возможных сечений комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС ассоциирована с каким-либо редуцированным симплексом второго вида, входящим в i -возможное сечение комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС.

1.2.350 Отношение — это ясное понятие.

1.2.351 Граф-дерево — это связный ациклический граф.

1.2.352 Граф — это ясное понятие.

1.2.353 Связность — это ясное понятие.

1.2.354 Несвязность — это ясное понятие.

1.2.355 Ацикличность — это ясное понятие.

1.2.356 Ветвь граф-дерева — это элементарная цепь граф-дерева, концами которой являются корневая вершина граф-дерева и висячая вершина граф-дерева.

1.2.357 Ассоциированность — это ясное понятие.

1.2.358 Корневая вершина граф-дерева — это вершина граф-дерева, из которой рёбра граф-дерева лишь исходят.

1.2.359 Вершина графа — это ясное понятие.

1.2.360 Ребро графа — это ясное понятие.

1.2.361 Висячая вершина граф-дерева — это вершина граф-дерева, в которую рёбра граф-дерева лишь входят.

1.2.362 Элементарная цепь граф-дерева — это цепь граф-дерева, все вершины которой различны.

1.2.363 Цепь граф-дерева — это маршрут граф-дерева, который не содержит повторяющихся рёбер (и, следовательно, вершин) граф-дерева.

1.2.364 Маршрут граф-дерева — это чередующаяся последовательность вершин и рёбер граф-дерева, в которой любые два соседних элемента инцидентны.

1.2.365 Чередующаяся последовательность вершин и рёбер граф-дерева — это последовательность пар, первым элементом которой является вершина граф-дерева, а вторым — инцидентное ей ребро граф-дерева.

1.2.366 Инцидентность — это ясное понятие.

1.2.367 Граф, соответствующий комплексу ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС, — это такой ориентированный граф, вершины которого ассоциированы с технологическими операциями комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС, а дуги ассоциированы с отношением порядка между технологическими операциями комплекса ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС, соответствующими вершинам графа, инцидентным соответствующим дугам графа.

1.2.368 Сечение графа — это множество вершин графа, разделяющее граф на две несвязные части.

1.2.369 Ориентированный граф — это граф, рёбра которого ориентированы.

1.2.370 Дуга графа — это ориентированное ребро графа.

1.2.371 Ориентированность — это ясное понятие.

1.2.372 Отношение порядка — это ясное понятие.

1.2.373 Комплекс ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС — это такой комплекс ТлОп, который соответствует множеству ТлОп допустимого календарного графика функционирования СТС.

1.2.374 Допустимый календарный график функционирования СТС — это чередующаяся последовательность пар, включающих выполненную часть допустимого календарного графика целевого функционирования СТС и допустимый календарный график конверсионного функционирования СТС, завершающаяся вырожденной парой, включающей лишь допустимый календарный график целевого функционирования СТС.

1.2.375 Допустимый календарный график функционирования объекта исследования (ОИ) — это календарный график функционирования ОИ, включающий допустимые — с точки зрения исследователя — календарные сроки начала выполнения соответствующих функций календарного графика функционирования ОИ.

1.2.376 Допустимый — с точки зрения исследователя — календарный срок начала выполнения функции календарного графика функционирования объекта исследований (ОИ) — это такой календарный срок начала выполнения функции календарного графика функционирования ОИ, при котором — с точки зрения исследователя — может быть получен требуемый целевой результат функции и учтена ограниченность ресурсов ОИ, которые ОИ может использовать при выполнении функции.

1.2.377 Календарный срок начала выполнения функции календарного графика функционирования объекта исследования — это момент интервала времени функционирования СТС и среды СТС, в который должно начаться выполнение функции календарного графика функционирования объекта исследования.

1.2.378 Момент времени — это ясное понятие.

1.2.379 Требуемый целевой результат функции объекта исследования — это такой целевой результат функции объекта исследования, который должен появиться по окончании выполнения функции объектом исследования.

1.2.380 Ограниченность ресурса объекта исследований — это свойство ресурса объекта исследований, проявляющееся в конечности величины ресурса.

1.2.381 Выполненная часть допустимого календарного графика целевого функционирования СТС — это часть комплекса ТлОп допустимого календарного графика целевого функционирования СТС, технологические операции которой выполнены до начала выполнения заданного перехода к возможной цели функционирования СТС.

1.2.382 Комплекс ТлОп допустимого календарного графика целевого функционирования СТС — это такой комплекс ТлОп, который соответствует множеству ТлОп допустимого календарного графика целевого функционирования СТС.

1.2.383 Допустимый календарный график целевого функционирования СТС — это результат отображения допустимого сценария целевого функционирования СТС в календарное временное множество (или в заданный интервал времени функционирования СТС и среды СТС).

1.2.384 Отображение двух множеств — это отношение между двумя множествами (называемыми левым множеством отображения и соответственно правым множеством отображения), при котором каждому элементу левого множества отображения ставится в соответствие какой-либо элемент правого множества отображения.

1.2.385 Допустимый сценарий целевого функционирования СТС — это сценарий целевого функционирования СТС при каком-нибудь из допустимых способов выполнения каждого из операционных примитивов, соответствующих сценарию целевого функционирования СТС.

1.2.386 Допустимый способ выполнения операционного примитива — это элемент множества способов выполнения операционного примитива, каждым из которых операционный примитив может быть выполнен.

1.2.387 Сценарий целевого функционирования СТС — это комплекс ТлОп целевого функционирования СТС, образованных из технологических операционных примитивов функционального состава СТС (в соответствии с функциональной структурой СТС, действительной целью функционирования СТС и технологией функционирования СТС), способ выполнения каждого из которых зафиксирован до начала целевого функционирования СТС и не меняется при целевом функционировании СТС.

1.2.388 Допустимый календарный график конверсионного функционирования СТС — это результат отображения допустимого сценария конверсионного функционирования СТС в календарное временное множество (или в заданный интервал времени функционирования СТС и среды СТС).

1.2.389 Допустимый сценарий конверсионного функционирования СТС — это сценарий конверсионного функционирования СТС при каком-нибудь из допустимых способов выполнения каждого из операционных примитивов, соответствующих сценарию конверсионного функционирования СТС.

1.2.390 Сценарий конверсионного функционирования СТС — это комплекс ТлОп конверсионного функционирования СТС, образованных из технологических операционных примитивов функционального состава СТС (в соответствии с функциональной структурой СТС, заданным переходом к возможной цели функционирования СТС и технологией функционирования СТС), способ выполнения каждого из которых зафиксирован до начала конверсионного функционирования СТС и не меняется при конверсионном функционировании СТС.

1.2.391 Интервал времени функционирования СТС и среды СТС — это интервал календарного времени, на котором исследуется функциони-

рование СТС и среды СТС (моменты начала и конца — границы интервала, как обычно, заданы).

1.2.392 Количественная характеристика возможности изменения среды СТС при функционировании среды СТС — совокупность, в которую входят:

- количественная характеристика возможности изменения дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС;

- количественная характеристика возможности изменения враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС.

1.2.393 Количественная характеристика возможности изменения враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС — это совокупность, в которую входят:

- функции, описывающие возможность изменения враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС;

- функции, описывающие изменение количественной характеристики возможности изменения элементов функционального состава СТС при функционировании СТС в случае изменения враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС.

1.2.394 Функции, описывающие возможность изменения враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС — это совокупность, в которую входят законы распределения случайных событий, каждое из которых характеризует соответствующее ему изменение враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС на элементы функционального состава СТС при функционировании среды СТС, которые в совокупности образуют полную группу несовместных случайных событий.

1.2.395 Функции, описывающие изменение количественной характеристики возможности изменения элементов функционального состава СТС при функционировании СТС в случае изменения враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС — это совокупность, в которую входят законы изменения количественной характеристики возможности изменения состояния элементов функционального состава СТС при функционировании СТС в каждом из возможных случаев повышения интенсивности действия изменения враждебной — по отношению к СТС — части среды СТС на элементы функционального состава СТС при функционировании среды СТС.

1.2.396 Количественная характеристика возможности изменения дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС — это совокупность, в которую входят:

- количественная характеристика возможности изменения элементов функционального состава дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС;

- количественная характеристика изменения состояния дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС.

1.2.397 Количественная характеристика изменения элементов функционального состава дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС — это совокупность, в которую входят:

- количественная характеристика возможности изменения действительной (исходной) цели функционирования СТС;
- количественная характеристика возможности изменения разработки действительной (исходной) цели функционирования СТС;
- количественная характеристика возможности изменения возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей исходную (предшествующую) действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС;
- количественная характеристика возможности изменения разработки возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей исходную (предшествующую) действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС;
- количественная характеристика возможности изменения разработки календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;
- количественная характеристика возможности изменения разработки календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС;
- количественная характеристика возможности изменения действия дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС.

1.2.398 Количественная характеристика возможности изменения действительной (исходной) цели функционирования СТС — это совокупность, в которую входят:

- законы распределения возможностных мер изменения случайных величин требуемых целевых результатов действительной (исходной) цели функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС;
- законы распределения возможностных мер случайных величин ресурсов каждого вида, которые будут поставлены средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения действительной (исходной) цели функционирования СТС;
- законы распределения возможностных мер случайных величин моментов календарного времени начала поставки ресурсов каждого вида средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения действительной (исходной) цели функционирования СТС;
- законы распределения возможностных мер случайных величин интервалов календарного времени поставки ресурсов каждого вида средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения действительной (исходной) цели функционирования СТС;
- законы распределения возможностных мер случайных величин моментов календарного времени, к которым требуемые целевые результаты действительной (исходной) цели функционирования СТС должны быть поставлены в среду СТС из СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.399 Законы распределения вероятностных мер случайных величин требуемых целевых результатов действительной (исходной) цели функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответствующая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся действительной целью функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.400 Законы распределения вероятностных мер случайных величин ресурсов каждого вида, которые будут поставлены средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения действительной (исходной) цели функционирования СТС, — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответствующая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся действительной целью функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.401 Законы распределения вероятностных мер случайных величин моментов календарного времени начала поставки ресурсов каждого вида средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения действительной (исходной) цели функционирования СТС — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответствующая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся действительной целью функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.402 Законы распределения вероятностных мер случайных величин интервалов календарного времени поставки ресурсов каждого вида средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения действительной (исходной) цели функционирования СТС — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответствующая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся действительной целью функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.403 Законы распределения вероятностных мер случайных величин моментов календарного времени, к которым требуемые целевые результаты действительной (исходной) цели функционирования СТС должны быть поставлены в среду СТС из СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС, — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответствующая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся действительной целью функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.404 Количественная характеристика возможности изменения разработки действительной (исходной) цели функционирования СТС — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта результативности разработки действительной (исходной) цели функционирования СТС;

- закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости разработки действительной (исходной) цели функционирования СТС;

- закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта оперативности разработки действительной (исходной) цели функционирования СТС.

1.2.405 Закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта результативности разработки действительной (исходной) цели функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.406 Закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости разработки действительной (исходной) цели функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.407 Закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта оперативности разработки действительной (исходной) цели функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.408 Количественная характеристика возможности изменения возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей исходную (предшествующую) действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это множество (соответствующее множеству возможных целей функционирования СТС), каждый элемент которого — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения вероятностной меры случайной величины интервала календарного времени, границами которого являются момент календарного времени актуализации исходной (предшествующей) действительной цели функционирования СТС и момент календарного времени актуализации возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС;

- законы распределения вероятностных мер случайных величин требуемых целевых результатов возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС;

- законы распределения вероятностных мер случайных величин ресурсов каждого вида, которые будут поставлены средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС;

- законы распределения вероятностных мер случайных величин моментов календарного времени начала поставки ресурсов каждого вида средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС;

- законы распределения вероятностных мер случайных величин интервалов календарного времени поставки ресурсов каждого вида средой СТС

в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС;

- законы распределения вероятностных мер случайных величин моментов календарного времени, к которым требуемые целевые результаты возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, должны быть поставлены в среду СТС из СТС.

1.2.409 Элемент множества — это ясное понятие.

1.2.410 Предшествование — это ясное понятие.

1.2.411 Ясное понятие — это понятие, концепт и денотат которого известны и не требуют определения.

1.2.412 Закон распределения вероятностной меры случайной величины интервала календарного времени, границами которого являются момент календарного времени актуализации предшествующей действительной цели функционирования СТС и момент календарного времени актуализации возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это закон распределения вероятностной меры указанной случайной величины, соответствующей возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС.

1.2.413 Интервал календарного времени — это ясное понятие.

1.2.414 Момент календарного времени актуализации предшествующей действительной цели функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.415 Момент календарного времени актуализации возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это ясное понятие.

1.2.416 Законы распределения вероятностных мер случайных величин требуемых целевых результатов, соответствующих возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответствующая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся возможной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС.

1.2.417 Законы распределения вероятностных мер случайных величин ресурсов каждого вида, которые будут поставлены средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения соответствующей возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответству-

ющая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся соответствующей возможной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС.

1.2.418 Законы распределения вероятностных мер случайных величин моментов календарного времени начала поставки ресурсов каждого вида средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения соответствующей возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответствующая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся соответствующей возможной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС.

1.2.419 Законы распределения вероятностных мер случайных величин интервалов календарного времени поставки ресурсов каждого вида средой СТС в СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС для достижения соответствующей возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответствующая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся соответствующей возможной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС.

1.2.420 Законы распределения вероятностных мер случайных величин моментов календарного времени, к которым требуемые целевые результаты соответствующей возможной цели функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС на интервале времени функционирования СТС и среды СТС, должны быть поставлены в среду СТС из СТС, — это последовательность законов распределения вероятностных мер указанных случайных величин, соответствующая требуемой последовательности состояний СТС, которая задаётся соответствующей возможной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС.

1.2.421 Количественная характеристика возможности изменения разработки возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей исходную (предшествующую) действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта результативности разработки возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС;

- закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости разработки возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС;

- закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта оперативности разработки возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС.

1.2.422 Закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта результативности разработки возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это ясное понятие.

1.2.423 Закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости разработки возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это ясное понятие.

1.2.424 Закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта оперативности разработки возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей предшествующую действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС, — это ясное понятие.

1.2.425 Количественная характеристика возможности изменения разработки календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта результативности разработки календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости разработки календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта оперативности разработки календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.426 Закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта результативности разработки календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.427 Закон распределения вероятностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости разработки календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.428 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности разработки календарного графика поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.429 Количественная характеристика возможности изменения разработки календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности разработки календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости разработки календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности разработки календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС.

1.2.430 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности разработки календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это ясное понятие.

1.2.431 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости разработки календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это ясное понятие.

1.2.432 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности разработки календарного графика поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это ясное понятие.

1.2.433 Количественная характеристика возможности изменения действия дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС на СТС — это совокупность количественных характеристик действий, которые реализует дружественная — по отношению к СТС — часть среды СТС, включающая следующие количественные характеристики:

- количественная характеристика возможности изменения задания действительной (исходной) цели функционирования СТС;

- количественная характеристика возможности изменения задания перехода к возможной цели функционирования СТС (из множества возможных целей), сменившей исходную (предшествующую) действительную цель и ставшей (новой) действительной целью функционирования СТС;

- количественная характеристика возможности изменения реализации иных связей между дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС и СТС.

1.2.434 Количественная характеристика возможности изменения задания действительной (исходной) цели функционирования СТС — это количественная характеристика возможности изменения передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС.

1.2.435 Количественная характеристика возможности изменения передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС,

которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС, — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС.

1.2.436 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС, — это ясное понятие.

1.2.437 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС, — это ясное понятие.

1.2.438 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая должна появиться при функционировании СТС и которая является действительной целью функционирования СТС, — это ясное понятие.

1.2.439 Количественная характеристика возможности изменения задания перехода к возможной цели функционирования СТС — это количественная характеристика возможности изменения передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая являлась возможной целью функционирования СТС (из множества возможных целей), но в момент задания перехода стала новой действительной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель.

1.2.440 Количественная характеристика возможности изменения передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая являлась возможной целью функционирования СТС (из множества возможных целей), но в момент задания перехода стала новой действительной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель, — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая являлась возможной целью функционирования СТС,

рования СТС (из множества возможных целей), но в момент задания перехода стала новой действительной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая являлась возможной целью функционирования СТС (из множества возможных целей), но в момент задания перехода стала новой действительной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая являлась возможной целью функционирования СТС (из множества возможных целей), но в момент задания перехода стала новой действительной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель.

1.2.441 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая являлась возможной целью функционирования СТС (из множества возможных целей), но в момент задания перехода стала новой действительной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель, — это ясное понятие.

1.2.442 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая являлась возможной целью функционирования СТС (из множества возможных целей), но в момент задания перехода стала новой действительной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель, — это ясное понятие.

1.2.443 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности передачи в СТС информации о последовательности требуемых состояний СТС, которая являлась возможной целью функционирования СТС (из множества возможных целей), но в момент задания перехода стала новой действительной целью функционирования СТС, сменившей предшествующую действительную цель, — это ясное понятие.

1.2.444 Количественная характеристика возможности изменения реализации иных связей между дружественной — по отношению к СТС — частью среды СТС и СТС — это совокупность, в которую входят:

- количественная характеристика возможности изменения передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС;

- количественная характеристика возможности изменения передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- количественная характеристика возможности изменения поставки средой СТС ресурсов разных видов в СТС;

- количественная характеристика возможности изменения получения средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- количественная характеристика возможности изменения получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС;

- количественная характеристика возможности изменения получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС.

1.2.445 Количественная характеристика возможности изменения передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС.

1.2.446 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это ясное понятие.

1.2.447 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это ясное понятие.

1.2.448 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки ресурсов разных видов из среды СТС в СТС — это ясное понятие.

1.2.449 Количественная характеристика возможности изменения передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности передачи средой СТС в СТС информации о календарных

графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.450 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.451 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.452 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности передачи средой СТС в СТС информации о календарных графиках поставки в среду СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.453 Количественная характеристика возможности изменения поставки средой СТС ресурсов разных видов в СТС — совокупность, в которую входят:

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности поставки средой СТС ресурсов разных видов в СТС;
- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости поставки средой СТС ресурсов разных видов в СТС;
- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности поставки средой СТС ресурсов разных видов в СТС.

1.2.454 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности поставки средой СТС ресурсов разных видов в СТС — это ясное понятие.

1.2.455 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости поставки средой СТС ресурсов разных видов в СТС — это ясное понятие.

1.2.456 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности поставки средой СТС ресурсов разных видов в СТС — это ясное понятие.

1.2.457 Количественная характеристика возможности изменения получения средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности получения средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;
- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости получения средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС;
- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности получения средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС.

1.2.458 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности получения средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.459 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости получения средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.460 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности получения средой СТС из СТС требуемых целевых результатов функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.461 Количественная характеристика возможности изменения получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС.

1.2.462 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.463 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.464 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках функционирования СТС — это ясное понятие.

1.2.465 Количественная характеристика возможности изменения получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС — это совокупность, в которую входят:

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС;

- закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС.

1.2.466 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта результативности получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС — это ясное понятие.

1.2.467 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта ресурсоёмкости получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС — это ясное понятие.

1.2.468 Закон распределения возможностной меры случайной величины эффекта оперативности получения средой СТС из СТС информации о календарных графиках изменения состояния СТС — это ясное понятие.

1.2.469 Количественная характеристика возможности изменения состояния дружественной — по отношению к СТС — части среды СТС при функционировании среды СТС — это совокупность, в которую входят:

- законы распределения возможностных мер случайных величин требуемых эффектов функционирования СТС, соответствующих заданию действительной (исходной) цели функционирования СТС;

- законы распределения возможностных мер случайных величин требуемых эффектов функционирования СТС, соответствующих заданию перехода к возможной цели функционирования СТС;

- законы распределения возможностных мер случайных величин целевых результатов, соответствующих заданию действительной (исходной) цели функционирования СТС;

- законы распределения возможностных мер случайных величин ресурсов разных видов, соответствующих заданию действительной (исходной) цели функционирования СТС;

- законы распределения возможностных мер случайных моментов календарного времени, соответствующих заданию действительной (исходной) цели функционирования СТС;

- законы распределения возможностных мер случайных величин ресурсов каждого вида, используемых при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС, входящими в морфологический состав СТС (в том числе тех ТОП, которые выполняются для перехода в плановое состояние элемента СТС, при выходе из непланового состояния элемента СТС и при конверсии элемента СТС);

- законы распределения возможностных мер случайных событий, заключающихся в появлении плановых состояний (каждого вида) элементов СТС, входящих в морфологический состав СТС, при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС;

- законы распределения возможностных мер случайных событий, заключающихся в появлении неплановых состояний (каждого вида) элементов СТС, входящих в морфологический состав СТС, при выполнении технологических операционных примитивов, входящих в функциональный состав СТС, элементами СТС;

- количественная характеристика возможности изменения задания перехода к возможной цели функционирования СТС;

- количественная характеристика возможности изменения иных связей между средой СТС и СТС.

1.2.470 Количественная характеристика возможности изменения задания перехода к возможной цели функционирования СТС — это совокупность, в которую входят: количественная характеристика возможности изменения взаимодействия СТС и среды СТС, количественная характеристика возможности изменения иных связей между средой СТС.

1.3 Показатель потенциала (цели)

1.3.1 Требуемое состояние СТС — это состояние СТС, появление которого (в результате функционирования СТС) требуется средой СТС.

1.3.2 Действительное требуемое состояние СТС — это состояние СТС, соответствующее действительной цели функционирования СТС.

1.3.3 Возможное (требуемое) состояние СТС — это состояние СТС, соответствующее возможной цели функционирования СТС.

1.3.4 Возможные цели функционирования СТС — это возможная последовательность возможных целей функционирования СТС.

1.3.5 Достичь цель функционирования СТС — это случайное событие, состоящее в появлении таких состояний СТС при функционировании СТС, которые находятся в требуемом отношении с состояниями СТС, соответствующими цели функционирования СТС.

1.4 Показатель потенциала (состояния)

1.4.1 Показатель свойства СТС (на заданном интервале времени функционирования СТС, при заданных характеристиках СТС, характеристиках её среды и характеристиках возможности их изменения), проявляющийся в приспособленности СТС к успешному достижению изменяющихся целей её функционирования, — это мера возможности наступления случайного события, состоящего в том, что последовательно появляющиеся состояния СТС — в результате её функционирования — будут находиться в заданных (требуемых) отношениях с состояниями СТС, соответствующими действительной и (или) возможной (возможным) целям функционирования СТС.

1.4.2 Редуцированный симплекс ТлОп (РС) — симплекс ТлОп, который включает лишь одну ТИО.

1.4.3 РС 1-го вида — это РС, решающий задачу проверки состояния СТС в момент (к моменту) t .

1.4.4 РС 2-го вида — это РС, решающий задачу проверки состояния одного или нескольких РМ (элементов) СТС.

1.4.5 Целевая ТлОп — это ТлОп, выполняемая при целевом функционировании СТС.

1.4.6 Конверсионная ТлОп — это ТлОп, выполняемая при конверсионном функционировании СТС.

1.5 Достижение цели (события)

1.5.1 Случайное событие, состоящее в том, что последовательно появляющиеся состояния СТС — в результате её функционирования — будут находиться в заданных (требуемых) отношениях с состояниями СТС, соответствующими действительной и возможной (возможным) целям функционирования СТС, — это случайное событие, состоящее в том, что последовательно появляющиеся значения векторов эффектов — результатов комплексов ТлОп, реализуемых СТС при её функционировании, будут находиться в заданных (требуемых) отношениях с требуемыми значениями векторов эффектов, соответствующих последовательности действительных требуемых состояний СТС — заданных для действительной цели функцио-

нирования СТС — и возможных требуемых состояний СТС (заданных для возможных целей функционирования СТС).

1.5.2 Состояние ТлОп в момент t — это значение вектора эффектов в момент начала выполнения ТлОп.

1.5.3 Состояние симплекса ТлОп в момент t — это значение вектора эффектов в момент начала выполнения симплекса ТлОп.

1.5.4 Состояние комплекса ТлОп в момент t — это значение вектора эффектов в момент начала выполнения ТлОп комплекса.

1.5.5 Состояние комплексов ТлОп в момент t — это значение вектора эффектов в момент начала выполнения ТлОп каждого из комплексов.

1.5.6 Состояние СТС в момент (к моменту) t — это совокупность состояний её элементов и связей между ними в момент (к моменту) t .

1.5.7 Состояние элемента СТС в момент (к моменту) — это состояние комплекса ТлОп, который на элементе выполняется в этот момент.

1.5.8 Состояние связи между элементами СТС — это состояние в момент (к моменту) комплекса ТлОп по передаче полученных целевых результатов от одного элемента СТС — другим элементам СТС.

1.6 Достижение цели (состояния)

1.6.1 Последовательно появляющиеся значения векторов эффектов результатов комплексов ТлОп, реализуемых СТС, — это последовательность значений векторов эффектов, результатов комплексов ТлОп, реализуемых СТС при её функционировании, в которой (последовательности) i -й элемент — это значение вектора эффектов, полученное в заданный i -й момент (к i -му моменту) времени достижения соответствующего ему (моменту времени) требуемого состояния СТС в заданной их (состояний) последовательности.

1.6.2 Значения векторов эффектов — состояния СТС — в i -й момент (к i -му моменту) времени — это значение, рассчитанное в i -й момент (к i -му моменту) в результате выполнения РС 1-го вида (иначе: это целевой эффект (результат) РС 1-го вида, полученный в i -й момент (к i -му моменту) функционирования СТС).

1.6.3 Целевой результат РС 1-го вида, полученный в i -й момент (к i -му моменту) функционирования СТС, — это результат обработки совокупностей целевых результатов, полученных в i -й момент (к i -му моменту) соответствующими РС 2-го вида и переданных для обработки в РС 1-го вида.

1.6.4 Множество РС 2-го вида, соответствующих i -му моменту функционирования СТС, — это множество, включающее те РС 2-го вида, которые «длятся» в C_i -й момент функционирования СТС, т. е. «длящиеся РС 2-го вида».

1.6.5 Длящиеся РС 2-го вида в i -й момент времени функционирования СТС — это такой РС 2-го вида, что ассоциированные с ним предшествующие ему симплексы завершились, а последующие — не завершились к i -му моменту времени функционирования СТС.

2 Задачи исследования потенциала — это задачи оценивания потенциала, задачи анализа потенциала и задачи синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом.

2.1 Задача анализа потенциала СТС — это вопрос: какое истинностное значение суждения «Показатель потенциала СТС (при заданных характеристиках СТС и заданных характеристиках среды СТС) является функцией заданного вида (например, полиномом второго порядка) от заданного вектора характеристик СТС и заданного вектора характеристик среды СТС»? — Обозначение понятия $\pi_{2,1}$.

2.2 Задача синтеза СТС, обладающей требуемым (если вместо слова «требуемым» использовано «максимально возможным», то вместо «значение, не меньшее требуемого числа a » должно быть «максимально возможное значение») потенциалом, — это вопрос: каково истинностное значение суждения «Существует такое значение заданного вектора изменяемых характеристик СТС, которое при заданных неизменяемых характеристиках СТС и заданных характеристиках среды СТС придаёт показателю потенциала СТС значение, не меньшее требуемого числа a »? — Обозначение понятия $\pi_{3,1}$.

Приложение К. Примеры графо-геометрического представления вербальной модели проблемы исследования потенциала сложных технических систем

Фрагменты графо-геометрических моделей схем экспликации понятий в формате Mind Maps

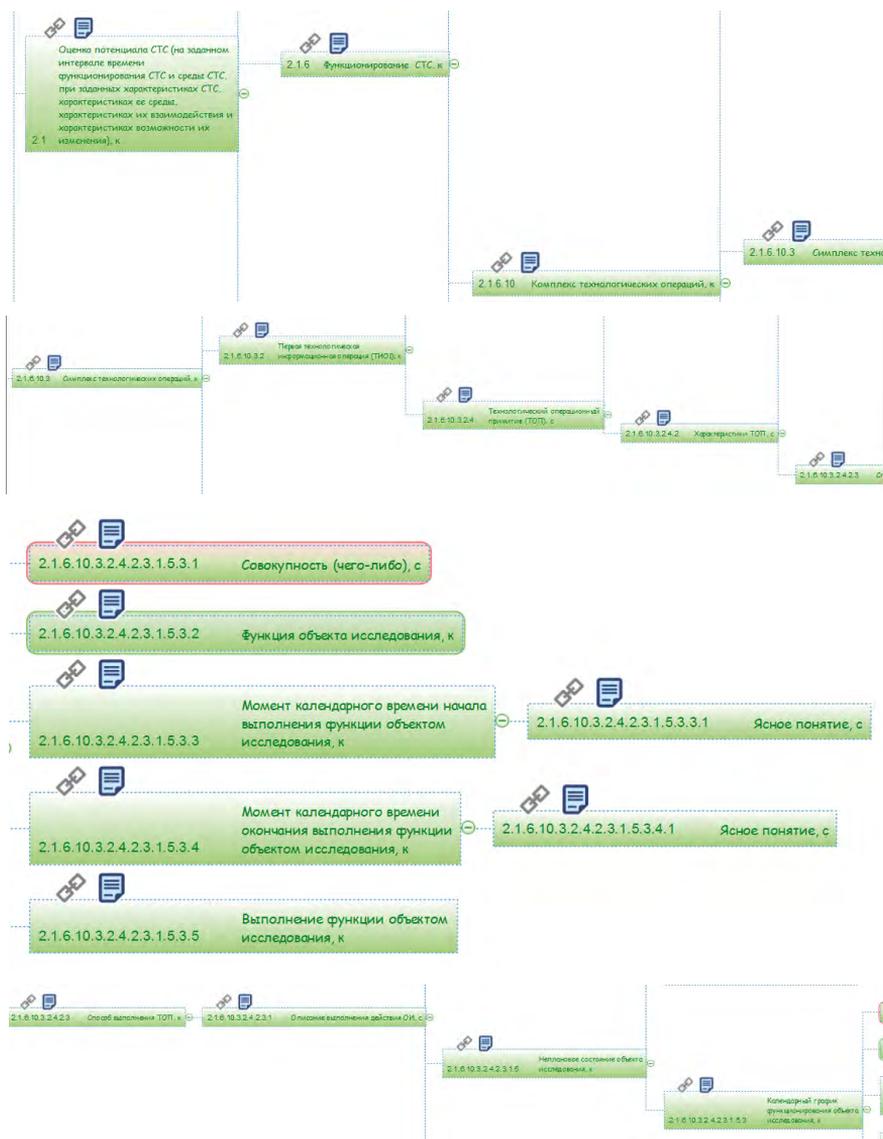
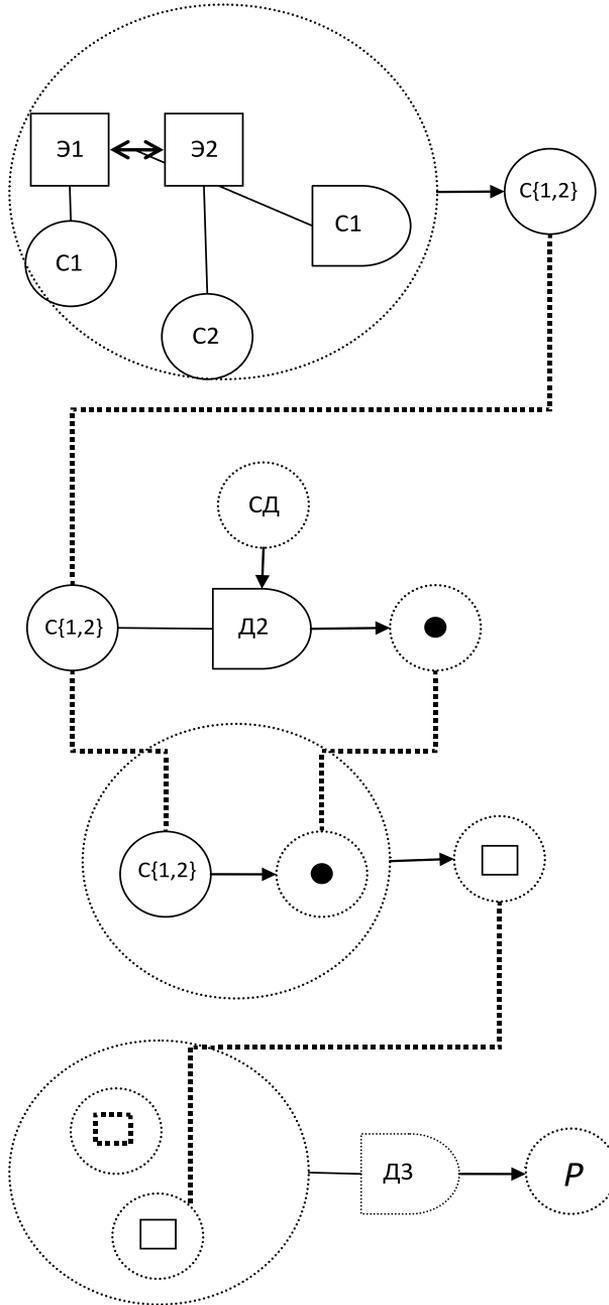
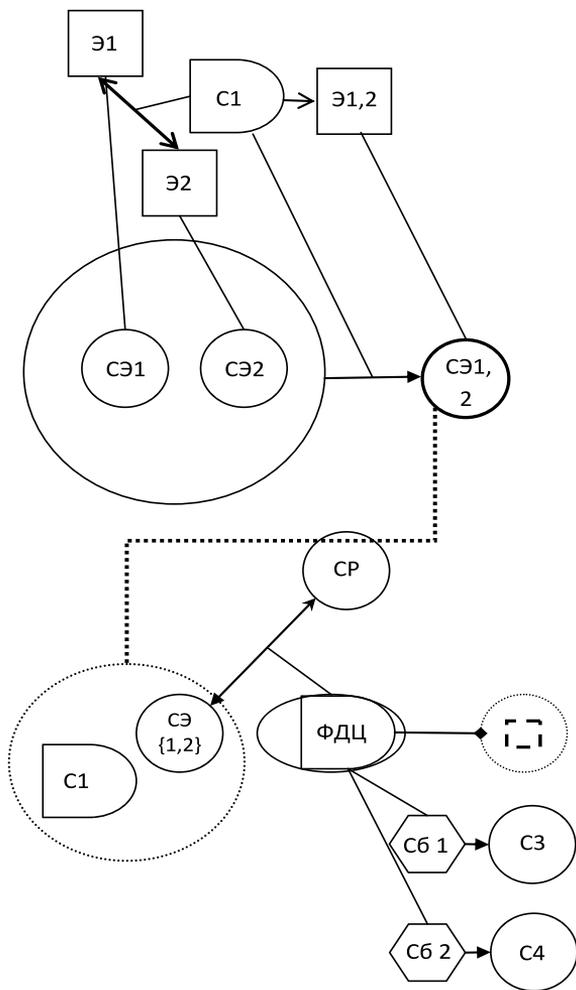


Рисунок 109. Фрагменты графо-геометрических моделей схем экспликации понятий в формате Mind Maps

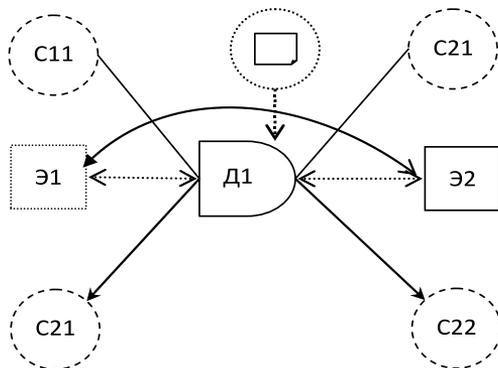
**Фрагменты графо-геометрических моделей
схем порождения понятий**



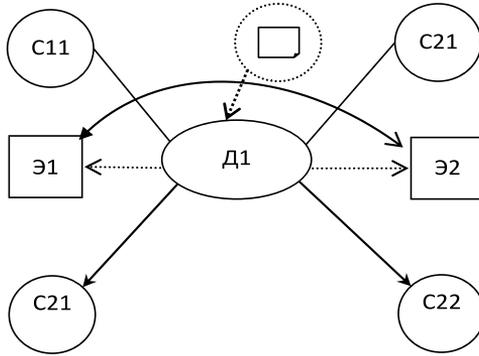
Задача оценивания потенциала СТС



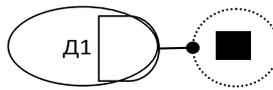
СТС



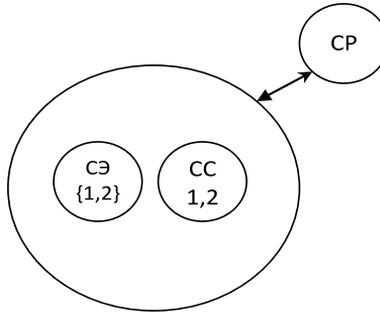
ТИО



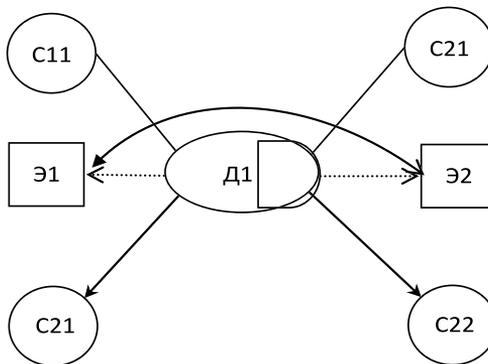
ТНИО



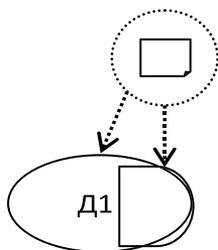
Функция



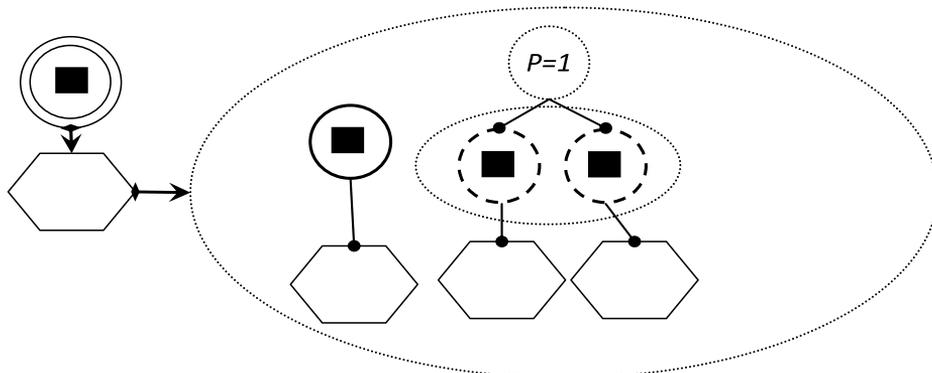
Среда ТС



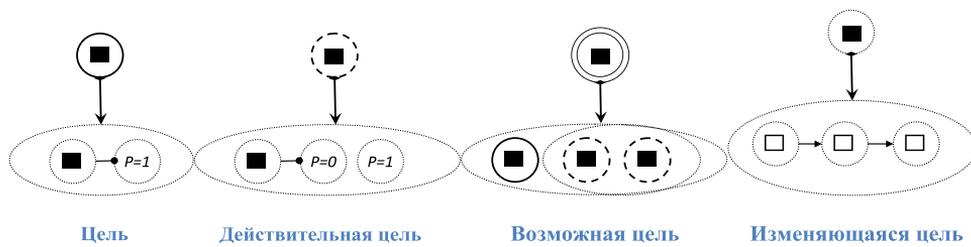
Действие



ТлОп



Достижение изменяющейся цели



Цель

Действительная цель

Возможная цель

Изменяющаяся цель

Приложение Л. Расширение понятия графа — эшграф

Эшграфы и их примеры

Определим понятие эшграф.

Эшграфом E над базисным множеством \mathcal{E}_n будем называть пару (\mathcal{E}_n, A) , в которой: $\mathcal{E}_n \equiv \{\xi_1, \dots, \xi_n\}$, $n \in \overline{1, N}$; ξ_i — i -е базисное счётное множество объектов, $1 \leq i \leq n$; A — счётное множество объектов, построенных из \mathcal{E}_n , определяемое следующим образом: $A \equiv s_1 \circ s_1 \circ \dots \circ s_r(\mathcal{E}_n)$, где \circ — знак суперпозиции отображений, s_j — j -е отображение множества объектов, $j \in \overline{1, r}$, $r \geq 1$:

$$s_j \in \mathbf{s}; \mathbf{s} = q^i \circ o^p \circ f^k, i \in \overline{1, I}, p \in \overline{1, P}, k \in \overline{1, K};$$

s_j — комплексное отображение, состоящее в последовательном выполнении трёх видов отображений — не более двух, по числу операндов следующего отображения из двух начальных отображений q^i , $i \in \overline{1, I}$; $I = 2$, одного (из трёх) отображений o^p , одного из двух завершающих f^k отображений.

Начальное отображение q^i , $i \in \overline{1, I}$, $I = 2$ может состоять в определении множеств — операндов d_j^i , путём операции — взятия подмножеств, операции пересечения множеств, таких, что d_j^i имеют требуемые (для основных отображений s_j) свойства.

При этом получаемые элементы множеств тождественны, если они построены на одних и тех же базовых множествах и при этом получены с использованием тех же конструирующих преобразований.

Начальное отображение сопоставляет одно d_j^i или два $(d_j^{i_1}, d_j^{i_2})$ множества заданному (в результате выполнения s_{j-1}) множеству r_{j-1} — результату s_{j-1} :

$$q^i: r_{j-1} \rightarrow d_j^i \text{ или } q_j^i: r_{j-1} \rightarrow (d_j^{i_1}, d_j^{i_2}).$$

Основное отображение o^p — одна из (базовых) операций преобразования множеств — получение декартова произведения (o^1), получение множества-степени (o^2) применяется к d_j^i , а в результате его применения получают множество r_j :

$$o^p: d_j^p \rightarrow e_j^p.$$

Завершающее отображение f^k — одна из операций — получение пересечения или объединения множеств в результате её применения на основе e_j^p получают множество r_j — результат s_j :

$$f^k: (e_j^p) \rightarrow r_j.$$

При этом, как и при реализации начального отображения, получаемые элементы множеств тождественны, если они построены на одних и тех же базовых множествах и при этом получены с использованием тех же последовательностей отображений.

Определение проиллюстрировано диаграммой отображений (рисунки 110).

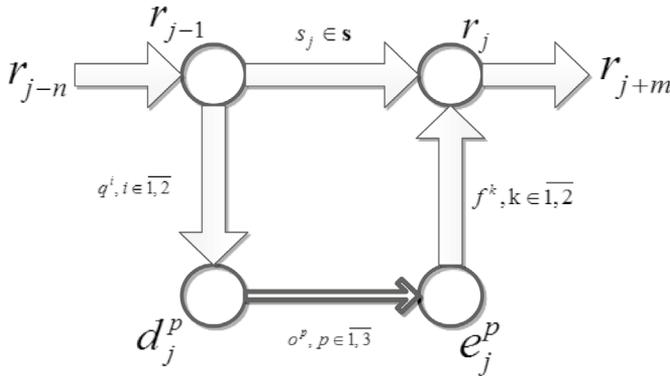


Рисунок 110. Диаграмма комплекса отображений при фиксированных q^i, o^p, f^k

Определение. Получаемые из элементов базовых множеств в результате комплексов отображений множества будем называть *частями эшграфа*.

Определение. Элементы базовых множеств эшграфа будем называть *элементами эшграфа*.

На рисунке ниже приведён пример эшграфа. В этом примере: $n = 1$;

$\xi_1 = v_1, v_2, \dots, v_{11}$; v_i — i -я вершина графа, $i = \overline{1,11}$; $\Xi_1 = \xi_1$;

$A = f_5 \circ f_2 \circ f_1(\Xi_1) = a_1, a_2, a_3$, где $a_1 = (v_1, v_3), (v_2, v_4)$,

$a_2 = (v_3, v_5), (v_4, v_6), (v_4, v_7)$, $a_3 = (v_5, v_8), (v_6, v_9), (v_7, v_{11})$.

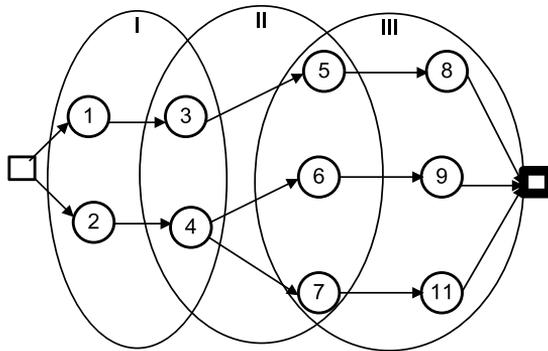


Рисунок 111. Пример геометрического эшграфа

Элементы этого эшграфа — вершины 1–11. Дуги между вершинами и гипердуги I–III — части эшграфа. Эшграфы, используемые на практике, могут иметь значительный размер и вложенность. Поэтому для построения геометрических образов эшграфов целесообразно использовать сокрытие и раскрытие частей и элементов.

Пример эшграфа с использованием сокрытия и раскрытия частей на нём, реализуемым для визуализации различных частей эшграфа (рисунок 112), приведён ниже. Комплексы отображений s_j в результате своего применения образуют последовательности комплексов отображений. Такие ком-

плексы могут использоваться для того, чтобы схематизировать описание синтетических преобразований моделей (рисунок 113).

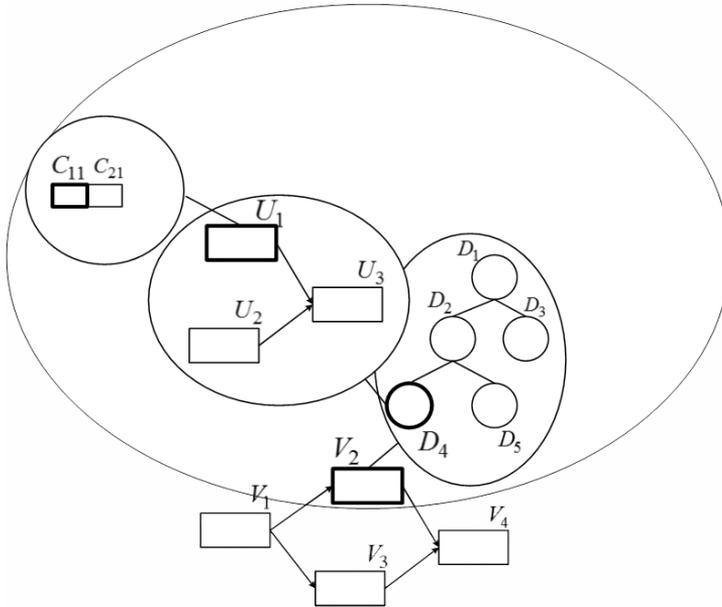


Рисунок 112. Пример визуализации фрагмента эшграфа E с использованием зуммирования его элементов

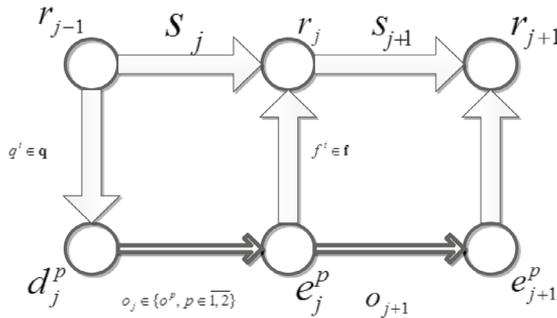


Рисунок 113. Образование комплексов отображений — последовательные операции

Отображение q^i может использоваться, в частности, для определения частей эшграфа, к которым целесообразно применять те или иные операции.

Комплексы отображений множеств вида s_j и их последовательности будем называть *теоретико-множественными преобразованиями множеств* или *схемами конструирования множеств* частей эшграфа.

Части эшграфа, построенные по той или иной схеме конструирования множеств, схему конструирования множеств частей эшграфа следует отличать от схемы конструкции ступени (фр. Schéma de construction d'échelon) и от ступени (фр. Échelon) множества [344], давшего название эшграфу.

Ступень множества, построенная по схеме конструкции ступени, — типизированное множество, все элементы которого построены по одной схеме конструкции ступени. Каждая заданная часть эшграфа построена по известной схеме конструкции ступени, но разные части эшграфа могут быть построены по разным схемам конструкции ступеней. При этом все схемы конструкции ступеней, использованные при построении каких-либо частей эшграфа, должны входить и в схему конструирования множеств частей эшграфа.

В результате схема конструирования множеств частей эшграфа должна содержать сведения о схемах конструкции ступеней всех частей эшграфа.

Части эшграфа, имеющие одну схему конструкции ступеней, образуют соответствующие ступени множеств, но разные части эшграфа могут принадлежать разным ступеням множеств. При этом все части эшграфа, построенные на заданных базовых множествах, должны принадлежать одной шкале множеств (фр. *Échelles d'ensembles*) [15, 345].

Утверждение. Всякая часть эшграфа принадлежит ступени множеств, построенной по схеме конструкции ступени, являющейся частью схемы конструирования множеств частей эшграфа.

Доказательство. Пусть имеется часть эшграфа, построенная не по схеме конструкции ступени, такой, что она является частью схемы конструирования множеств частей эшграфа. Множество всегда построено по какой-либо схеме конструирования. Поэтому у такой части эшграфа схема конструирования такова, что она не является частью схемы конструирования частей эшграфа. При этом для этой части, по определению эшграфа, задана схема конструирования, которая, следовательно, отличается от схемы конструирования ступени множества таких частей. Но схема конструирования ступени множества единственна и каждый элемент ступени множества построен по этой схеме, а значит, по этой схеме построена и часть эшграфа, что противоречит принятому допущению. Таким образом, эти схемы должны совпадать.

Утверждение. Множество частей всех эшграфов, построенных на заданных базовых множествах, — шкала множеств, построенных на тех же базовых множествах.

Доказательство. Множество частей всех эшграфов, построенных на заданных базовых множествах, совпадает, в соответствии с предыдущим утверждением, с множеством различных ступеней, порождённых по разным схемам на этих базовых элементах. Тем самым по определению шкалы и ступени множество частей всех эшграфов, построенных на заданных базовых множествах, — шкала множеств, построенных на тех же базовых множествах.

При оперировании множествами в определении эшграфа *тождественными* считаются элементы, которые порождены по одной и той же схеме конструирования из тех же элементов базовых множеств.

Граф и цепочки его теоретико-графовых трансформаций — эшграф. В этом эшграфе конструирующие преобразования — теоретико-графовые трансформации. Символы алфавита и результаты цепочек преобразований с ними — совокупности предложений некоторого языка — эшграф. В таком эшграфе базовые множества состоят из символов алфавита разного вида, а конструирующие преобразования — получение цепочек символов, формализуемых как результаты декартовых произведений на соответствующих множествах.

Операции с эшграфами и примеры их использования при решении задач исследования потенциала систем

Определение. Части A_1 и A_2 тождественны, если они построены на одних и тех же элементах базовых множеств с использованием тех же схем конструирования частей.

Определение. Базовые множества ξ_1 и ξ_2 тождественны, если они содержат одни и те же элементы.

То, что эшграф может содержать элементы разной схемы, вызывает необходимость определения ряда вариантов операций с эшграфами, в зависимости от особенностей схем конструирования частей.

Определение. Объединением $E_3 = E_1 \cup E_2$ эшграфов $E_1 = (E_{1n}, A_1)$ и $E_2 = (E_{2m}, A_2)$ назовём эшграф $E_3 = (E_{1n} \cup E_{2m}, A_1 \cup A_2)$.

Определение. Пересечением $E_3 = E_1 \cap E_2$ эшграфов $E_1 = (E_{1n}, A_1)$ и $E_2 = (E_{2m}, A_2)$ назовём эшграф $E_3 = (E_{1n} \cap E_{2m}, A_1 \cap A_2)$.

Объединение и пересечение эшграфов удобно использовать при порождении требуемых эшграфов с необходимыми свойствами.

Определение. Схемным продолжением $E_3 = E_1 \cup E_2$ эшграфов $E_1 = (E_{1n}, A_1)$ и $E_2 = (E_{2m}, A_2)$ назовём эшграф $E_3 = (E_{1n} \cup E_{2m}, A_1 \cup A_2)$, такой, что пересечение эшграфов $E_3 = E_1 \cap E_2$ имеет ту же схему конструирования, что и один из эшграфов E_1, E_2 .

Тем самым схемное продолжение представляет собой результат «роста» эшграфа путём получения новых частей, имеющих ту же схему, что и уже имеющиеся части в объединяемых эшграфах. Такой рост может быть представлен с использованием аналогии «роста» частей живого организма — увеличивающимся числом частей за счёт увеличения числа фрагментов, тождественных по своему строению фрагментам имевшейся части.

Определение. Схемное продолжение $E_3 = E_1 \cup E_2$ эшграфов $E_1 = (E_{1n}, A_1)$ и $E_2 = (E_{2m}, A_2)$ такое, что пересечение эшграфов $E_3 = E_1 \cap E_2$ имеет ту же схему конструирования, что и каждый из эшграфов E_1, E_2 , назовём односхемным продолжением. Односхемное продолжение представляет собой процесс «роста» эшграфа путём увеличения числа его частей. Такой рост может быть представлен с использованием аналогии «роста» популяции путём деления живых организмов популяции на аналогичные исходным организмы — копии.

Определение. В односхемном продолжении двух эшграфов эшграф-результат будем называть колонией, а эшграфы — операнды объединения — посевом.

Определение. В схемном продолжении двух эшграфов эшграф-результат будем называть выростом, а эшграфы — операнды объединения — основой (с большей схемой) и проростом (с меньшей).

Определение. Схемным потомком $E_3 = E_1 \overset{=}{\cap} E_2$ эшграфов $E_1 = (E_{1n}, A_1)$ и $E_2 = (E_{2m}, A_2)$ назовём эшграф $E_3 = (E_1 \cap E_2) \cup E_4$.

У схемного потомка эшграфов имеются все части, которые есть у эшграфов — операндов E_1, E_2 , и ещё какие-либо части, полученные в результате объединения с E_4 .

Схемное объединение эшграфов позволяет реализовать комплексы преобразований, введённые выше, по частям. А именно — поскольку отобра-

жения построены с использованием лишь операций на множествах, то они могут быть представлены в виде совокупностей схемных операций с подмножествами или с элементами строящихся множеств — как с частями, так и с элементами эшграфа и, затем, объединения получаемых эшграфов так, что строящиеся на подмножествах или на элементах множеств эшграфы становятся частями эшграфа — объединения. При этом в связи с тем, что в таком частном случае используемые для порождения элементы входят в одни и те же множества, а схемы порождения тождественны, то эшграфы, получаемые в результате такого объединения эшграфов-частей, имеют ту же схему, что и часть схемы объединяемых эшграфов, а построены они на множествах-объединениях. Выполнение операций с эшграфами с целью построения требуемого эшграфа-результата может быть проиллюстрировано с использованием диаграмм. Исходная диаграмма комплекса отображений будет разделена на совокупность связанных диаграмм. Пример такого разделения исходной диаграммы показан ниже (рисунок 114). На рисунке раскрыты части — по одной для каждого из множеств частей, построенных с использованием последовательностей комплексов отображений.

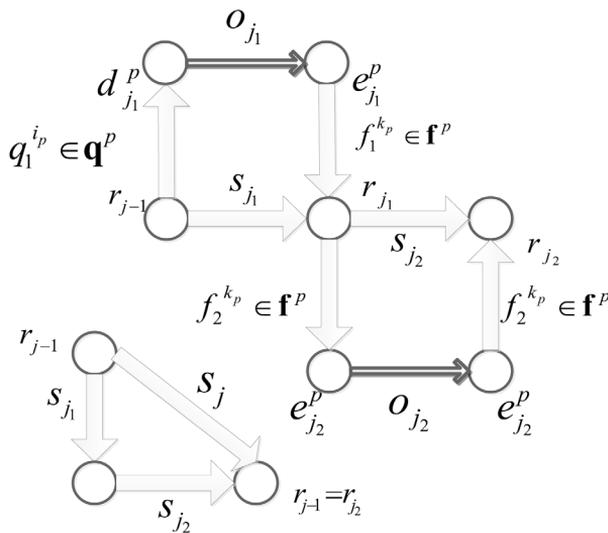


Рисунок 114. Расщепление отображений — получение частей отображений

Для того чтобы диаграмма могла быть разделена на части, необходимо, чтобы промежуточные части эшграфа соответствовали каким-либо строящимся частям конечного эшграфа. Именно так реализуется схемное продолжение. Например, повторяя по одному и тому же конструирующему преобразованию построение эшграфа на разных элементах тех же множеств, а затем осуществляя объединение полученных эшграфов, можно реализовать требуемый процесс «роста» (увеличения мощности множеств) эшграфа. Такой рост на геометрических образах напоминает раскрытие частей эшграфа, введенное выше. Пример такого «роста» эшграфа показан ниже (рисунки 115–117).

Утверждение. Пересечение эшграфов — эшграф, части и элементы которого те же, что и части и элементы пересекаемых эшграфов, а схема конструирования этих частей — такая же, как и у обеих частей пересекаемых эшграфов.

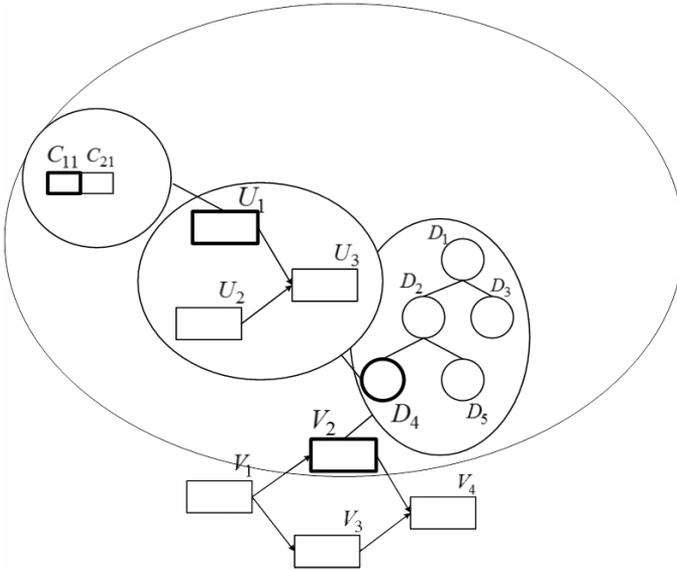


Рисунок 115. Пример реализации «роста» эшграфа с использованием операции объединения. Эшграф 1

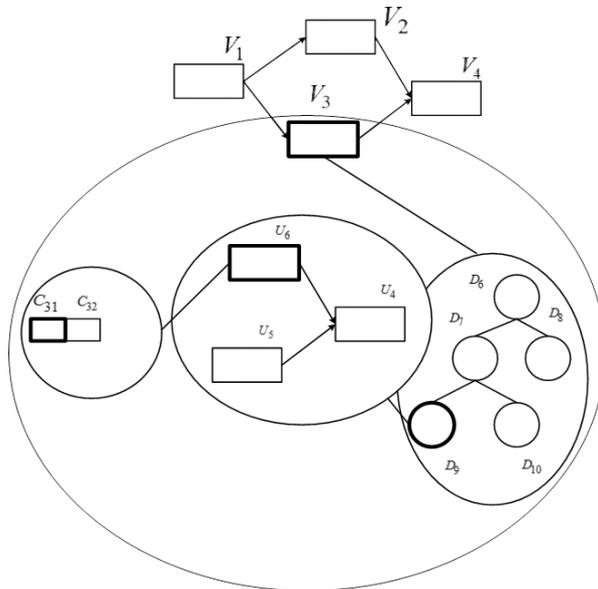


Рисунок 116. Пример реализации «роста» эшграфа с использованием операции объединения. Эшграф 2, построенный по той же схеме конструирования

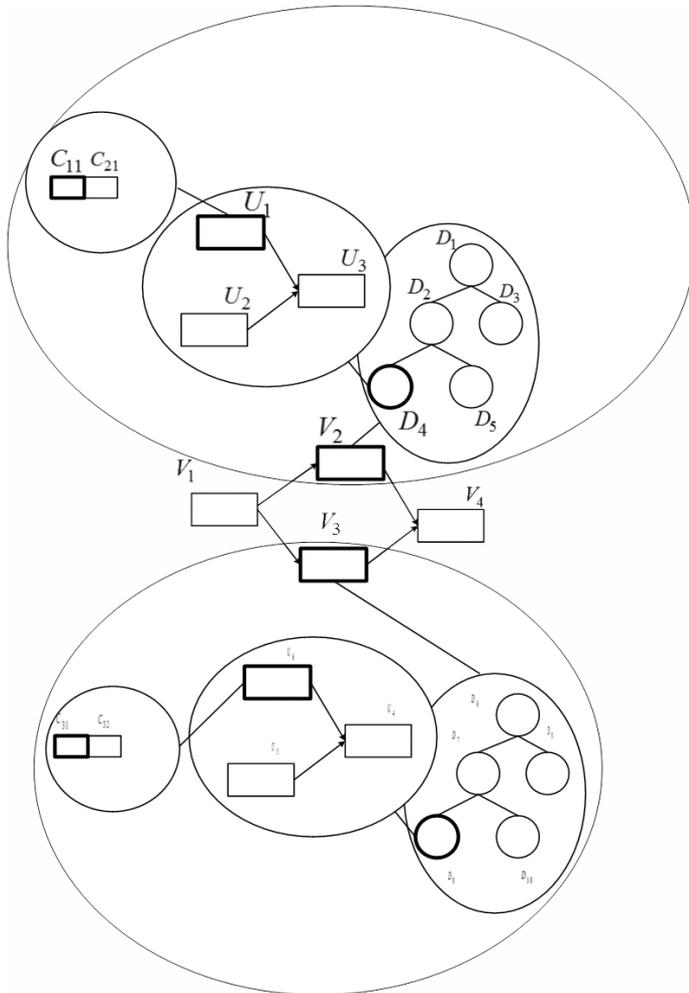


Рисунок 117. Пример реализации «роста» эшграфа с использованием операции объединения. Эшграф 3 — объединение эшграфов 1 и 2, результат «роста» эшграфа по заданной схеме

Доказательство. Пусть имеются части графа — пересечения. Тогда эти элементы должны быть идентичны в обоих пересекаемых эшграфах. Идентичные части эшграфов имеют одинаковую схему конструирования.

Утверждение. Схемное продолжение эшграфов — эшграф, имеющий ту же схему конструирования множеств, что и один из исходных эшграфов.

Доказательство. По определению, исходные эшграфы имеют такую схему конструирования, что один из эшграфов — операндов схемного объединения — включён в другой (пересечение совпадает с одним из эшграфов).

Назовём такой эшграф, который включается в продолжение, «меньшим» эшграфом, а другой эшграф, в который включается продолжение, бóльшим эшграфом. Схема схемного продолжения совпадает со схемой большего эшграфа, поскольку меньший эшграф имеет схему, совпадающую с частью

большого эсграфа, и при объединении схем частей не меняет, а лишь меняет состав частей.

М-оргиперграф M^h эсграфа E — ориентированный гиперграф (граф, в котором дуги образованы парами подмножеств вершин, а не вершинами). Особенность этого ориентированного гиперграфа в том, что с каждой из его вершин ассоциировано множество операндов или результат операции порождения заданного эсграфа.

С использованием понятия о *М-оргиперграфе* операции, реализуемые с эсграфами при их построении, формализуются в удобном наглядном виде (рисунки 118, 119).

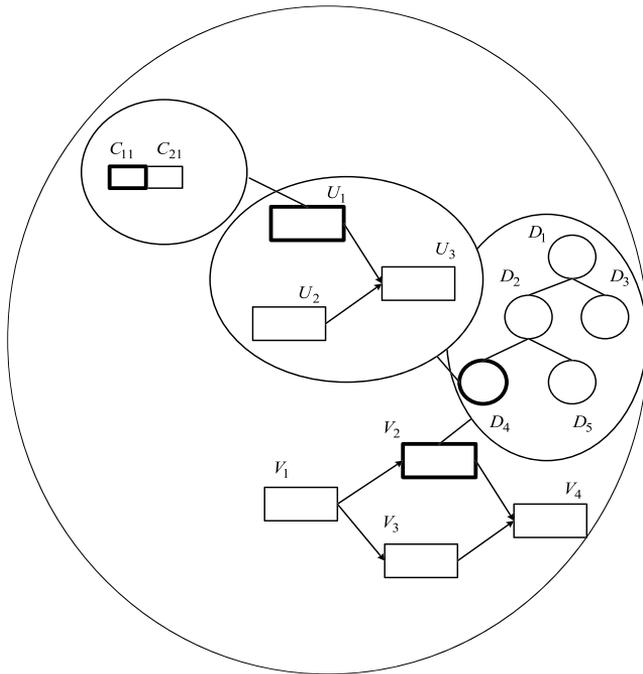


Рисунок 118. Пример визуализации фрагмента эсграфа E с использованием операций зумирования его элементов

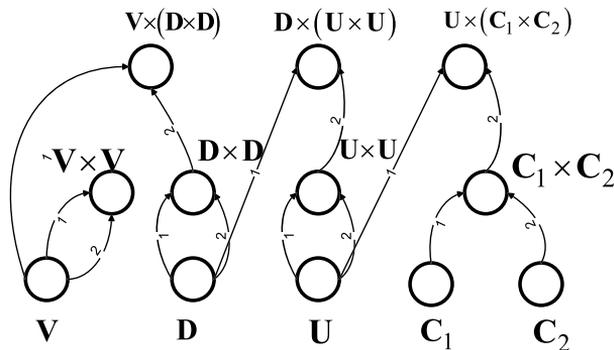


Рисунок 119. М-граф эсграфа E

Это представление используется как метамодель заданного эшграфа. Однако такое формализованное представление сценариев порождения эшграфов может быть использовано и как модель исследуемого объекта.

Например, с использованием М-оргиперграфов эшграфа удобно формализовать декомпозицию деятельности в целом и декомпозицию целей ЦП, а также декомпозицию соответствующих достижению этих целей показателей синтетических операционных свойств. А именно — процессу построения эшграфа сопоставим процесс комбинирования подцелей, ставящихся для того, чтобы достичь основную цель. Тогда М-оргиперграф, описывающий такое последовательное порождение целей более высокого уровня, будет моделью комплекса целей. Такие модели могут быть использованы, в частности, в программно-целевом планировании и управлении. Аналогичным образом может быть построен М-оргиперграф достижения таких целей, М-оргиперграф показателей операционных свойств достижения этих целей. Такие М-графы представляют собой удобное средство описания синтетических моделей, введённых ранее.

М-оргиперграфы удобно использовать совместно с комплексами отображений, формирующими эшграф, поскольку в М-оргиперграфе начало гипердуги ассоциировано со всеми множествами, используемыми для построения результата отображения при формировании эшграфа на том или ином шаге формирования, а вершина — окончание гипердуги — ассоциирована с результатом.

Так, на схеме (рисунок 120) показан случай, когда дуга $H_j = (H_j^l, H_j^r)$ М-оргиперграфа ассоциирована с соответствующими элементам М-оргиперграфа частями диаграммы комплекса отображений формирования эшграфа:

$$H_j^l \leftrightarrow d_j^p, H_j^r \leftrightarrow e_j^p.$$

При этом полученный М-оргиперграф в ряде случаев целесообразно использовать совместно с ассоциированными с ним частями исходного эшграфа. В результате оказывается необходимым описать эшграф, включающий и эти части, и М-оргиперграф, описывающий их построение.

Наконец, введём понятие М-эшграфа. М-эшграфом будем называть эшграф, части которого ассоциированы с множествами операндов и результатов операций с другим эшграфом.

М-эшграфы и М-оргиперграфы целесообразно использовать для описания сценариев моделирования. Так, они позволяют определить в своём составе дуги, каждая из которых описывает тот или иной тип используемых множеств и тип получения новых множеств из этих множеств при моделировании. В результате они описывают классы моделей, что позволяет, с их использованием, описать разнообразные сценарии моделирования с использованием детализаций разного уровня.

Ранее были введены объединение и пересечение эшграфов.

Такие операции с эшграфами целесообразно выполнять и при описании сценариев моделирования. Тогда, например, часть модели в виде эшграфа создаётся по известному сценарию, а часть по другому сценарию. В некоторый момент времени может оказаться необходимым их объединить или най-

ти пересечение. Тогда и могут оказаться практически полезными операции объединения и пересечения.

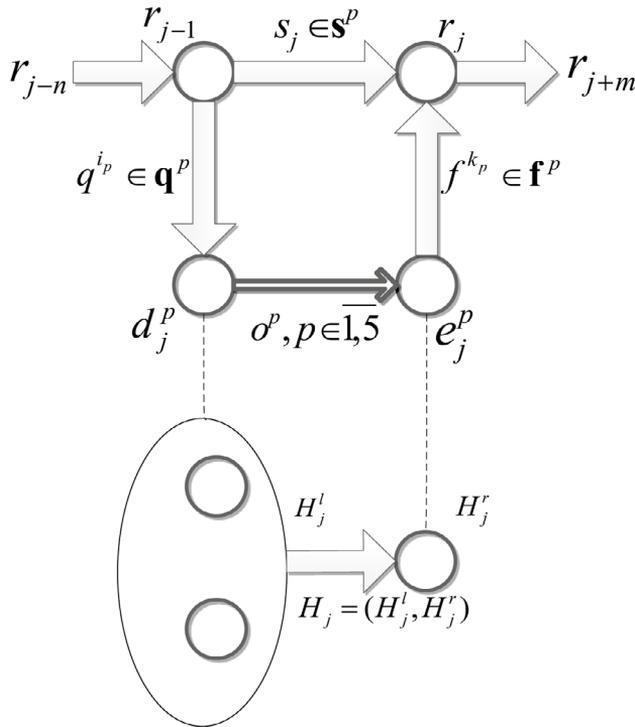


Рисунок 120. Диаграмма комплекса отображений формирования эшграфа и ассоциированный М-оргиперграф

При этом операции объединения и пересечения эшграфов меняют и соответствующие им М-эшграфы (М-оргиперграфы).

А именно — для М-эшграфов эшграфов (и для их М-оргиперграфов как частного случая) может быть сформулировано следующее утверждение.

Утверждение. М-эшграф объединения эшграфов — объединение М-эшграфов объединяемых эшграфов.

Следствие. М-оргиперграф объединения эшграфов — объединение М-оргиперграфов объединяемых эшграфов.

Утверждение 3.6.2. М-эшграф пересечения эшграфов — пересечение М-эшграфов эшграфов, для которых ищется пересечение.

Следствие. М-оргиперграф пересечения эшграфов — пересечение М-оргиперграфов эшграфов, для которых ищется пересечение.

Приложение М.

Фрагмент моделей, построенных при решении примера

Пример модели функционирования среды СТС

Рассмотрим пример модели функционирования среды СТС при следующих исходных данных:

Задана одна действительная G_0^A и две возможных $\{G_1^B, G_2^B\}$ цели. Две возможных цели могут сменить действительную в любой последовательности и в разное время. Такая смена реализуется в результате действий в среде СТС. Эти действия неизвестны, но известны вероятностные характеристики сценариев смены действительной цели. Принято допущение, состоящее в том, что если цель стала действительной, а потом перестала ей быть, то снова действительной эта цель стать не может.

Задана последовательности требуемых состояний среды:

$$\langle S_{00}^A, S_{01}^A, S_{02}^A, S_{03}^A \rangle; \langle S_{00}^A, S_{11}^A, S_{11}^A, S_{03}^A \rangle; \langle S_{00}^A, S_{11}^A, S_{22}^A, S_{03}^A \rangle$$

$$S_{00}^A = 0; S_{01}^A = \langle C_{01}^A, R_{011}^A, R_{012}^A, R_{013}^A, R_{014}^A, R_{015}^A \rangle;$$

$$S_{02}^A = \langle C_{02}^A, R_{021}^A, R_{022}^A, R_{023}^A, R_{024}^A, R_{025}^A \rangle;$$

$$S_{03}^A = \langle C_{03}^A, R_{031}^A, R_{032}^A, R_{033}^A, R_{034}^A, R_{035}^A \rangle.$$

$$C_{01}^A = 45; R_{011}^A = 1; R_{012}^A = 1. C_{02}^A = 57; C_{03}^A = 78.$$

Моменты проверки состояний: T_1^A, T_2^A, T_3^A .

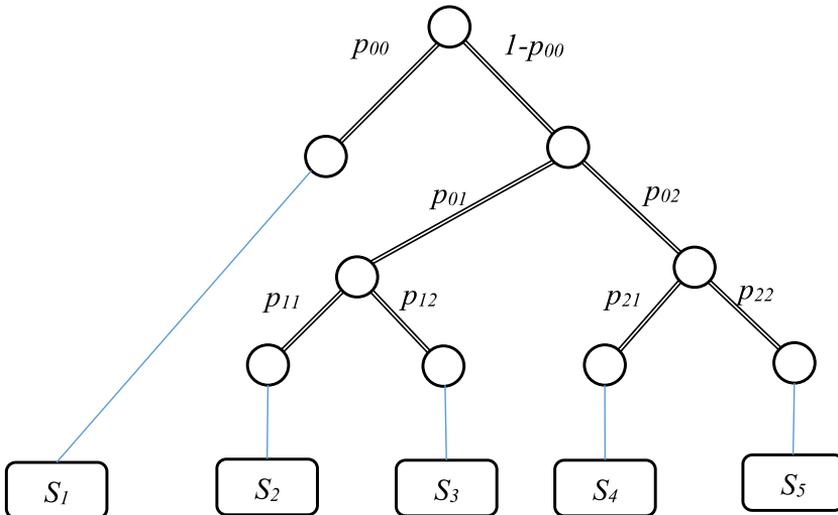


Рисунок 121. Пример модели функционирования среды СТС

Результат использования модели функционирования СТС — возможные последовательности требуемых состояний S_{ij}^A для T_i^A . Модель функциониро-

вания СТС в примере рассчитывается для каждой (по одной) последовательности требуемых состояний.

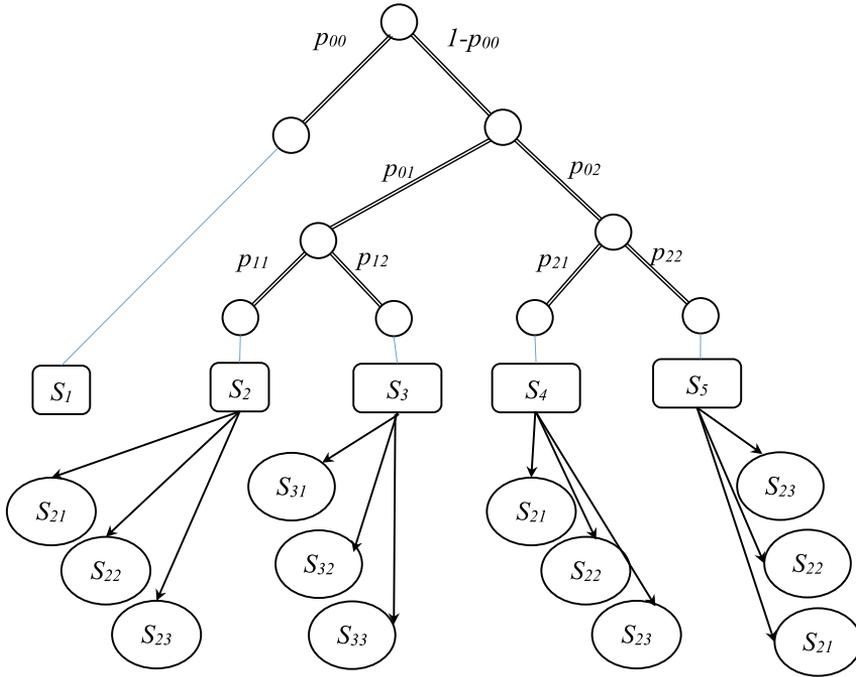


Рисунок 122. Порождение возможных векторов требуемых состояний

Пример модели функционирования СТС

$w_1^m - w_5^m$ — рабочие места, предназначенные для реализации технологических операций (неинформационных).

w_1^i, w_2^i — рабочие места, предназначенные для реализации информационных технологических операций.

$A_1^m - A_5^m$ — неинформационные технологические операции.

A_1^i, A_2^i — информационные технологические операции.

S — система; E^c — среда системы.

$A_i^m \sim \langle \hat{T}, \hat{C}, \hat{R} \rangle; F_{\hat{T}}^m(C)f_b = (T, t_i^m); F_{\hat{C}}^m(C)f_b = (C, c_i^m);$

$f_b(C, c_i^m)$ — функция распределения t_i^m, \hat{c}_i^m с векторами параметров T, C

соответственно;

$$t_i^m = \langle Lt_1^m, Rt_1^m \rangle; C_1^m = \langle Lc_1^m, Rc_1^m \rangle;$$

$$A_1^m \sim \langle t_1^m, c_1^m \rangle; t_1^m = \langle 3,5 \rangle; c_1^m = \langle 10,21 \rangle;$$

$$A_2^m \sim \langle t_2^m, c_2^m \rangle; t_2^m = \langle 2,6 \rangle; c_2^m = \langle 8,19 \rangle;$$

$$A_3^m \sim \langle t_3^m, c_4^m \rangle; t_3^m = \langle 1,4 \rangle; c_3^m = \langle 7,11 \rangle;$$

$$A_4^m \sim \langle t_4^m, c_4^m \rangle; t_4^m = \langle 2,5 \rangle; c_4^m = \langle 9,12 \rangle;$$

$$A_5^m \sim \langle t_5^m, c_5^m \rangle; t_5^m = \langle 2,4 \rangle; c_5^m = \langle 12,23 \rangle.$$

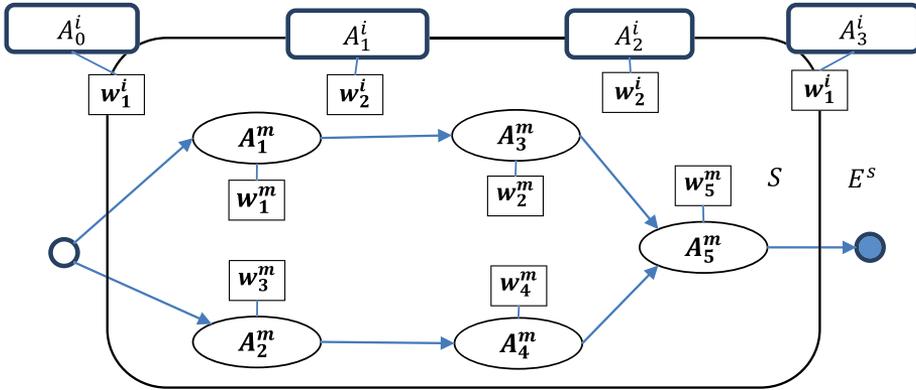


Рисунок 123. Схема ТлОп и РМ СТС

Параметры информационных операций, соответственно:

$$A_0^i \sim \langle t_0^i, c_0^i \rangle; t_0^i = \langle 1, 3 \rangle; c_0^i = \langle 1, 2 \rangle;$$

$$A_1^i \sim \langle t_1^i, c_1^i \rangle; t_1^i = \langle 1, 4 \rangle; c_1^i = \langle 2, 3 \rangle;$$

$$A_2^i \sim \langle t_2^i, c_2^i \rangle; t_2^i = \langle 1, 2 \rangle; c_2^i = \langle 1, 3 \rangle;$$

$$A_3^i \sim \langle t_3^i, c_3^i \rangle; t_3^i = \langle 1, 3 \rangle; c_3^i = \langle 1, 2 \rangle;$$

$$\langle S_{i_0}^T, S_{i_1}^T, S_{i_2}^T, S_{i_3}^T \rangle.$$

Календарный план имеет векторную форму:

$$\langle A_1^m, T_1 \rangle, \langle A_2^m, T_2 \rangle, \langle A_3^m, T_3 \rangle, \langle A_4^m, T_4 \rangle, \langle A_5^m, T_5 \rangle.$$

Здесь:

T_i — календарный момент начала A_i^m , $i = \overline{1, 5}$.

Технологический маршрут имеет вид одной информационной и двух не-информационных цепочек.

Задан технологический маршрут в виде двух цепочек:

$\langle w_1, w_3, w_5 \rangle$ для изготовления и сборки СЧ 1 e_1 и

$\langle w_2, w_4, w_5 \rangle$ для изготовления и сборки СЧ 2 e_2 в изделие (на РМ 5).

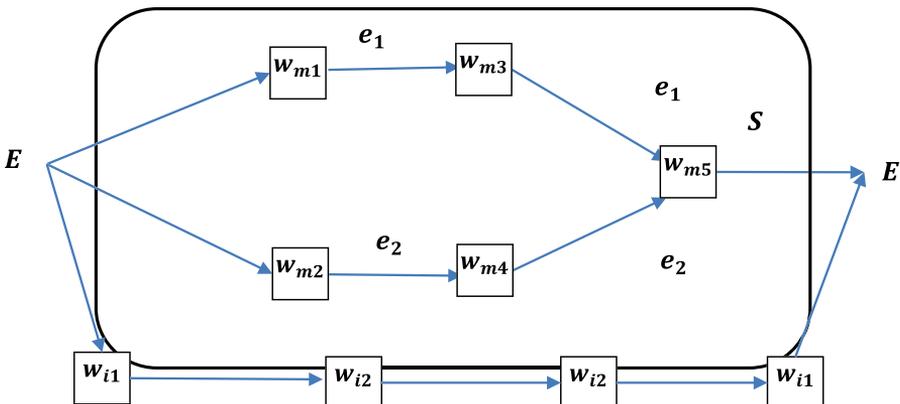


Рисунок 124. Последовательность РМ

Модель функционирования СТС с учётом ожиданий (D_i) начала ТНИО

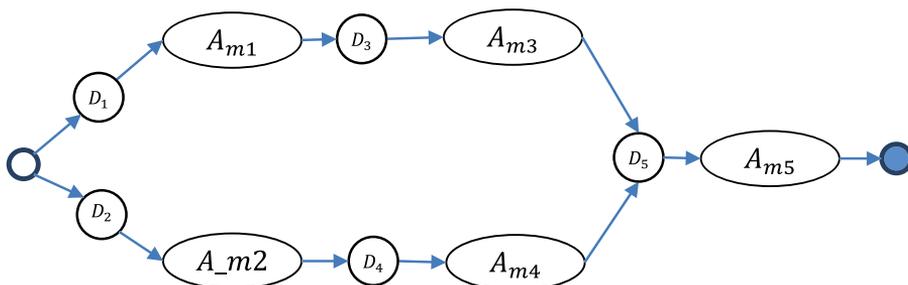


Рисунок 125. Технологическая сеть ТНИО достижения действительной цели

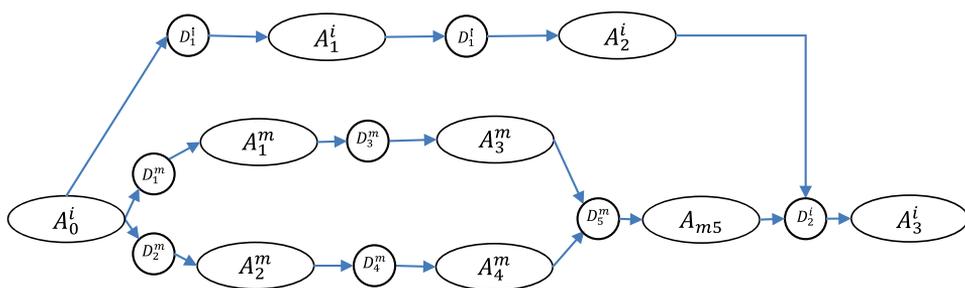


Рисунок 126. Технологическая сеть ТНИО и ТИО достижения действительной цели

Модель возможных ТлОп (в том числе — ожиданий), выполняемых одновременно при функционировании СТС, — в виде дерева возможных сечений модели функционирования СТС (записанной в виде ТлСе).

\hat{S}^{cc} — множество возможных состояний системы и среды при условии заданной последовательности требуемых состояний среды \hat{S}_h^d .

\hat{s}_j^{cc} — возможное состояние системы и среды в заданный (средой СТС) момент времени T_i^d . $\hat{s}_j^{cc} := \hat{s}_j^c \cup \hat{s}_j^e$.

\hat{s}_j^c — случайное состояние СТС в заданный (средой СТС) момент времени T_i^d .

\hat{s}_j^e — случайное состояние среды СТС в заданный (средой СТС) момент времени T_i^d .

\hat{S}^c — множество возможных состояний s_j^c СТС при её функционировании.

b_j^c — j -я ветвь на модели $b_j^c = A_{k_j}^m, k = \overline{1,5} A_{k_j}^m$ — ТНИО A_m , выполняемая на k -м РМ и соответствующая ветви b_j^c .

\hat{s}_j^c — это состояние СТС, порождаемое выполняемыми ТНИО, соответствующими ветви b_j^c .

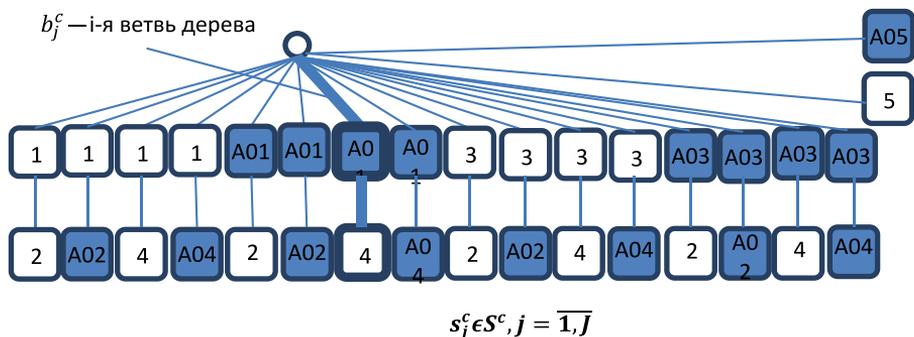


Рисунок 127. Модель способов одновременного выполнения ТИО

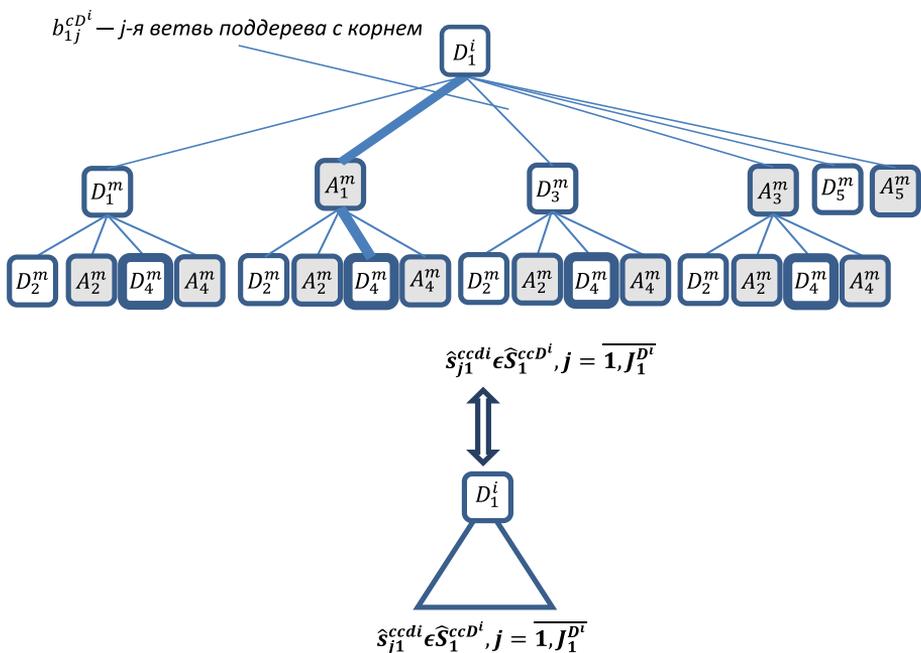


Рисунок 128. Модель способов одновременного выполнения ТИО и ТИО

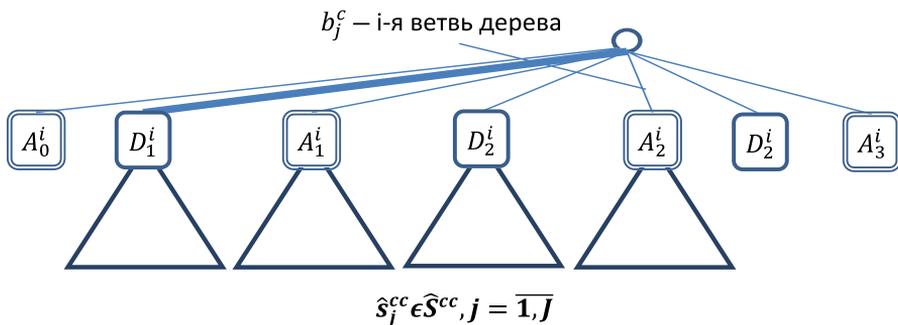


Рисунок 129. Комплексная модель способов одновременного выполнения ТЛО

j — номер возможного состояния СТС.

J — количество возможных состояний СТС.

T — момент времени на интервале функционирования СТС.

$$R_i^c := \langle \hat{R}_{ik}^c : k = \overline{1,5} \rangle; \hat{s}_i^c := \langle \hat{C}_i^c, R_i^c \rangle;$$

$$\hat{C}_i^c := \sum_{j=1}^J \hat{c}_{ij}^c \cdot p_j(s_j^{cc}, T_i^A);$$

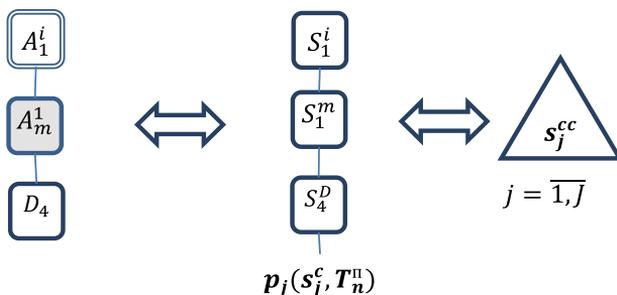


Рисунок 130. Соответствие моделей, ориентированных на способы ТлОп, и моделей, ориентированных на состояния

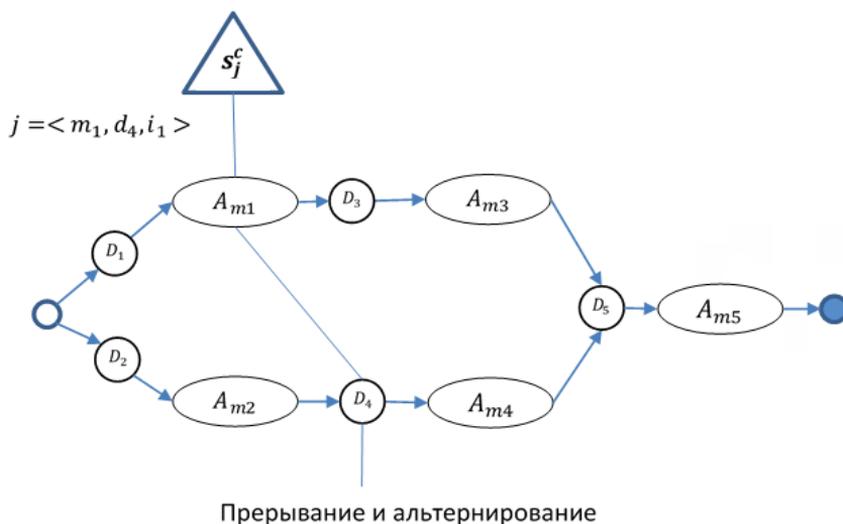
$$\{(p_j(s_j^c, T_n^n))\} = \{P(\hat{T}_{ij}^c \leq T_n^n) : a_{ij} \in s_j^c\}.$$

$$\hat{T}_{ij}^c = \hat{T}_m^c = \hat{t}_m^c + \hat{T}_{m-1}^c, m = \overline{m1, m4, d1, d4, m5};$$

$$\hat{T}_5^c \max = \{\hat{T}_3^c; \hat{T}_4^c\} + \hat{t}_5^c, m = 5; \hat{R}_{mik}^c = \sum_{j=1}^J \hat{r}_{mijk}^c \cdot p_j(s_j^c, T_n^n);$$

$$W_i = P(\hat{C}_{mi}^c \leq \hat{C}_{mi}^A) \cdot \prod_{k=1}^K P(\hat{R}_{mik}^c \geq \hat{R}_{mik}^A); W = \prod_{i=1}^I W_i;$$

$$P(y_1, y_2) = F_{Ny_1}(y_2; M_{y_1}, \sigma_{y_1}).$$



Прерывание и альтернирование

Рисунок 131. Прерывание достижения действительной цели

Рассматриваемый случай соответствует реализации в момент начала проверки соответствия состояний системы и среды ТЛОп операции A_{m1} и ожидания D_4 начала технологической операции A_{m4} .

В этом случае конверсионные мероприятия состоят в приведении РМ 1 в исходное состояние, а затем в переналадке, для РМ 4 необходимо провести переналадку.

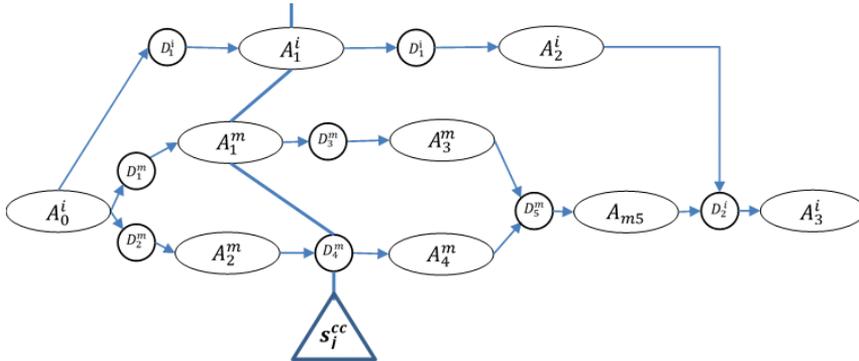


Рисунок 132. Прерывание достижения действительной цели с учётом информационных действий

Информационная ТЛОп A_{ij1} по назначению конверсионных ТЛОп должна после своего начала вернуть множество конверсионных ТЛОп и календарный план их реализации.

После конверсионных мероприятий (не прерываются) выполняется информационная ТЛОп A_{ij2} и на третьем и четвёртом РМ должны начаться целевые ТЛОп по заданному календарному плану. Эти ТЛОп могут также быть прерваны при реализации очередной проверки состояния на границе СТС и среды.

Далее рассматриваем случай, соответствующий реализации состояния СТС $s_h^c(s_j^c)$ из множества возможных состояний $S_h^c(s_j^c)$. Множество возможных состояний определяется предписаниями, назначенными для выполнения при выполнении A_{ij4} , которые зависят от предыдущего проверенного состояния системы s_j^c , состояния среды при реализации этого состояния, от информационных действий и от результатов выполнения конверсионных действий.

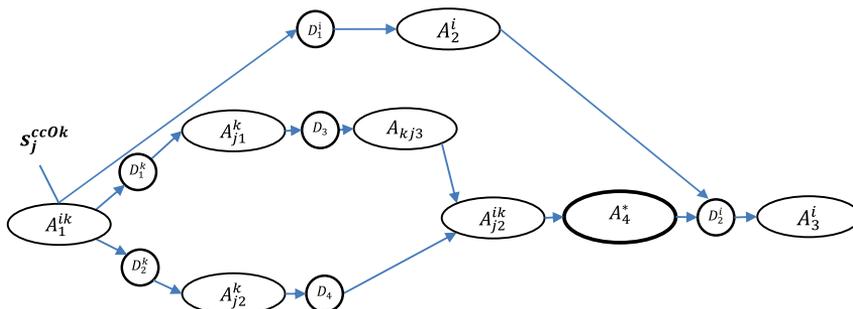


Рисунок 133. Конверсионные операции и переход к комплексу «целевых» операций

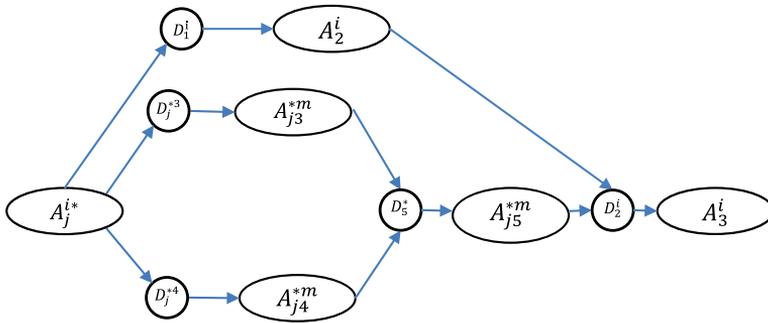


Рисунок 134. Технологическая сеть в результате прерывания достижения действительной цели и перехода к достижению первой возможной цели

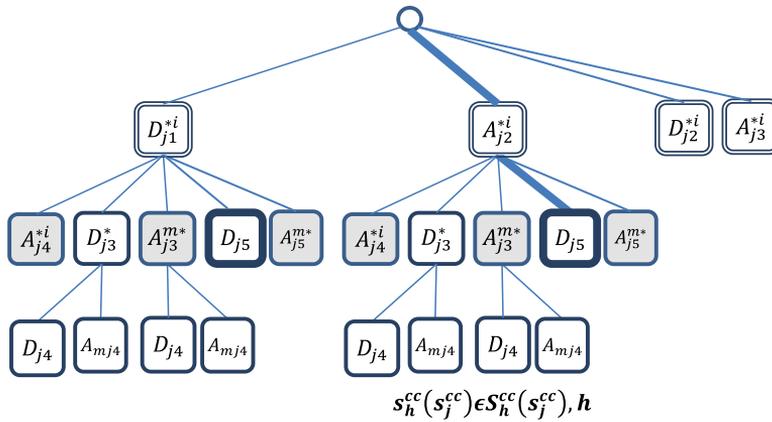


Рисунок 135. Возможные способы реализации операций одновременно (возможные сечения) при второй смене цели

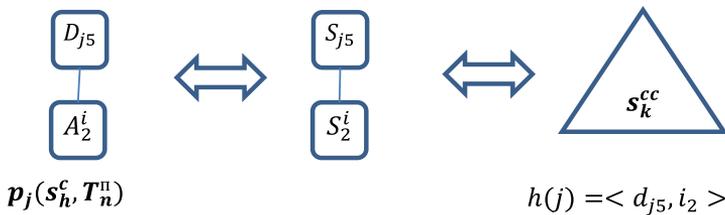


Рисунок 136. Соответствие моделей, ориентированных на способы ТлОп и на состояния при второй смене цели

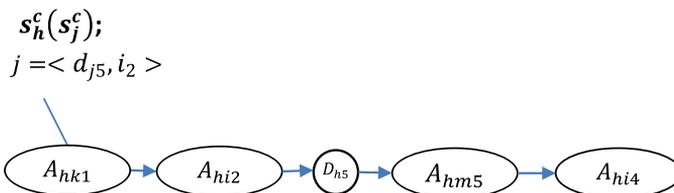


Рисунок 137. Завершающие целевые действия после второй смены целей

Рассматриваемый случай соответствует реализации в момент начала проверки соответствия состояний системы и среды ожидания начала (сборочной) технологической операции — последней в календарном плане.

Предполагается, что в этом случае конверсионные мероприятия не нужны, множество конверсионных мероприятий пусто (так как ТлОп на пятом РМ не начинались, а остальные места уже приведены в исходное состояние и потому более для достижения действительной цели не нужны).

В этом случае информационная ТлОп A_{hk1} по назначению конверсионных ТлОп должна немедленно после своего начала вернуть пустое множество, вызвать информационную операцию A_{hi2} начала целевых ТлОп и завершиться.

Информационная ТлОп A_{hi2} должна немедленно завершиться — так как состояние не менялось, — и на пятом РМ должна начаться ТлОп сборки изделия A_{hm5} . Предполагается, что эта ТлОп уже не прерывается и завершается к началу финальной информационной ТлОп A_{hi4} без ожидания (в нём не может быть необходимости).

$$\hat{R}_{01}^c = R_{01}^c(1,2) = \langle \hat{r}_{01}, \hat{r}_{02} \rangle;$$

$$\hat{R}_{02}^c = R_{02}^c(1,2,3,4) = \langle \min\{\hat{r}_{01}, \hat{r}_{03}\}, \min\{\hat{r}_{02}, \hat{r}_{04}\} \rangle;$$

$$\hat{R}_{03}^c = R_{03}^c(1,2,3,4,5) = \langle \min\hat{R}_{02}^c, \hat{r}_{05} \rangle.$$

Пример формирования комплексных моделей состояний при функционировании СТС

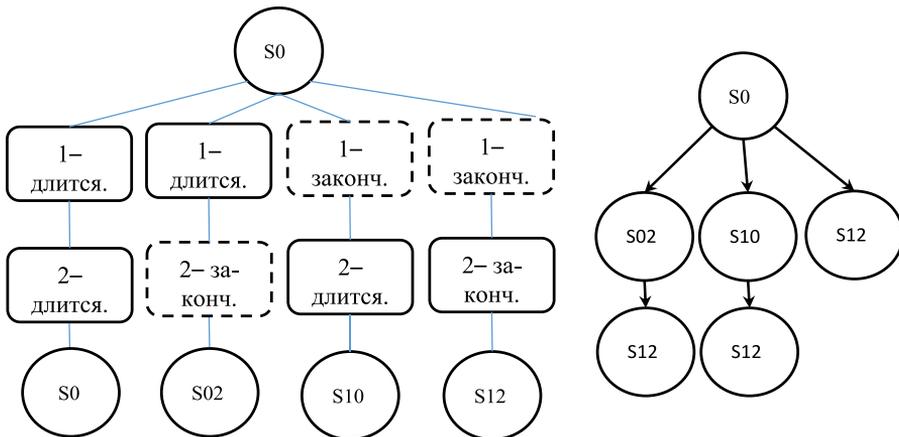


Рисунок 138. Формирование комплексных моделей для двух РМ, функционирующих одновременно

Состояния проверяются при реализации РС-1, и способы реализации РС-1 — в общем случае — зависят от состояний при функционировании СТС и от состояний среды СТС. Способ реализации РС-1 описывается предписаниями РС-1, а его результат описывается начальным и конечным состоянием.

Состояние S_0 в принятых предположениях соответствует состоянию «завершены все предшествующие мероприятия (включая, возможно, ожидание)».

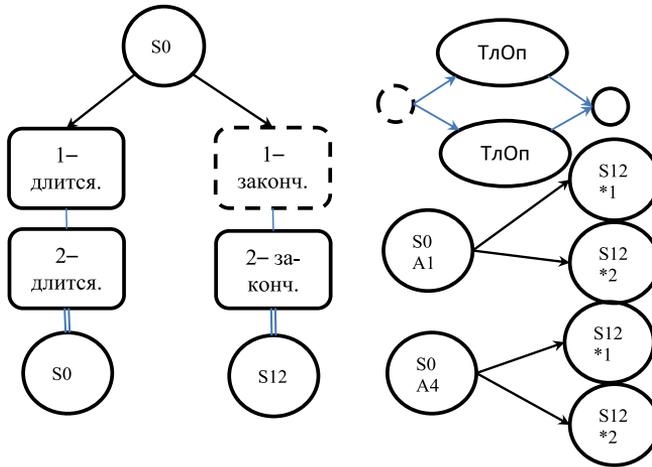


Рисунок 139. Формирование последовательностей одновременно выполняемых ТлОп

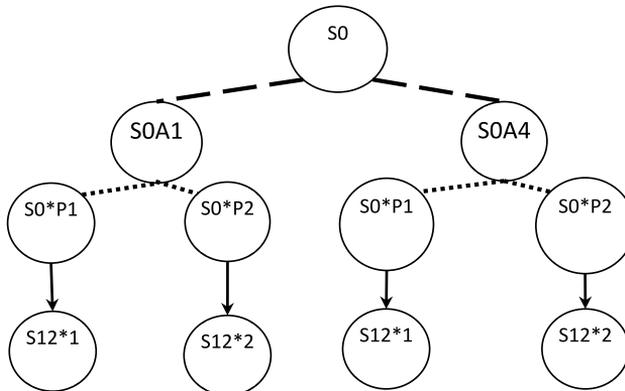


Рисунок 140. Формирование альтернативных переходов

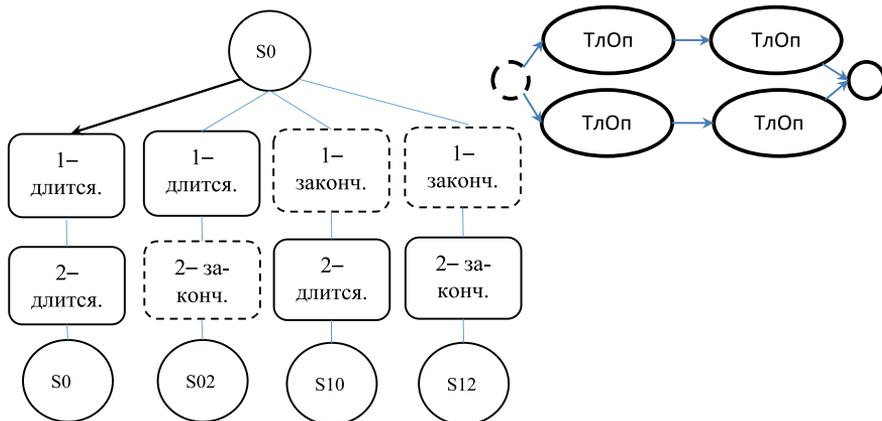


Рисунок 141. Формирование последовательности состояний для параллельно функционирующих РМ

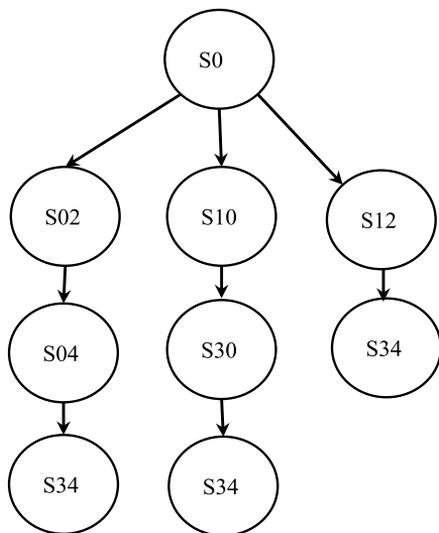


Рисунок 142. Последовательность комплексных состояний

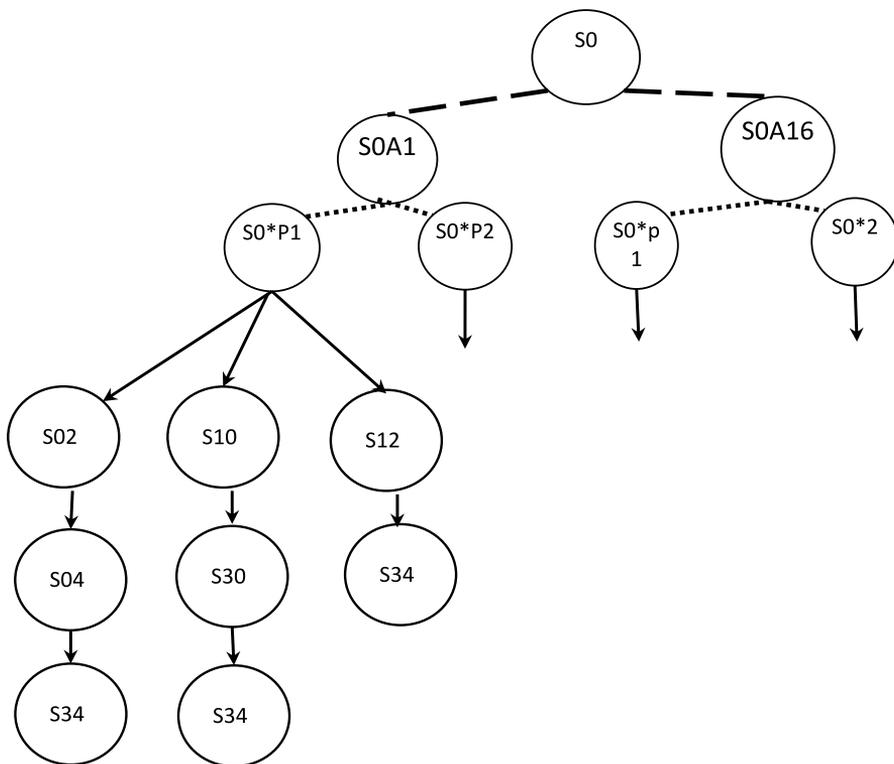


Рисунок 143. Структура последовательности состояний без дополнительных условий

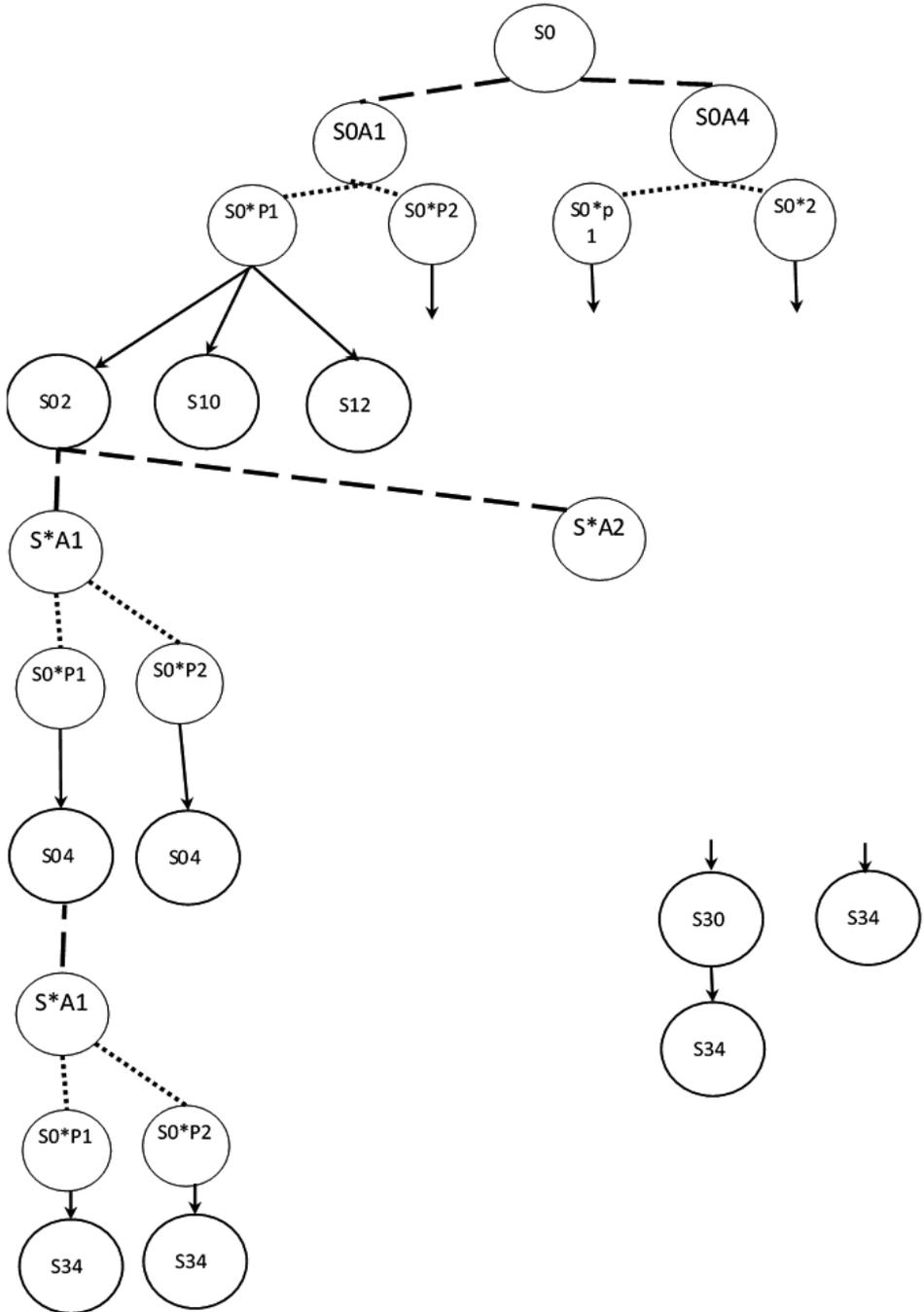


Рисунок 144. Структура последовательности комплексных состояний при функционировании

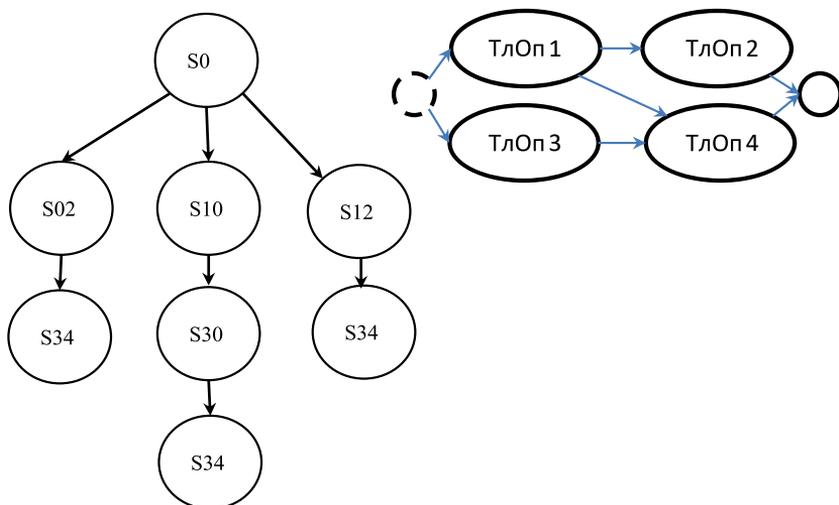


Рисунок 145. Структура комплексных состояний при функционировании

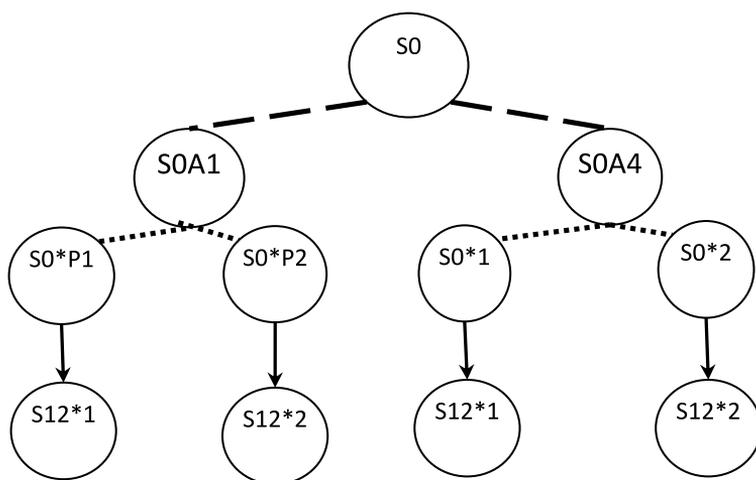


Рисунок 146. Структура возможных состояний при условии, что только после окончания первой ТлОп может независимо от второго РМ начаться последующая ТлОп

Приложение N. Алгоритмы

Алгоритм создания и расчёта дерева возможных состояний при функционировании СТС

Возможные состояния при функционировании СТС могут быть комплексными, состоять из частных состояний РМ, на которых выполняются ТлОп (или РМ бездействуют). Для порождения таких состояний возможно использовать, например, деревья возможных сечений сетей. В таких деревьях хранятся списки (указателей на) ТлОп и соответствующие им РМ, на которых в тот или иной заданный момент выполняются ТлОп. Остальные РМ предполагаются бездействующими. Такие списки позволяют рассчитать состояния СТС в любой заданный момент времени, если известны состояния РМ в этот момент. Дерево сечений (разрезов) сети — дерево, в котором две вершины связаны ветвью тогда и только тогда, когда между этими вершинами на сети нет (ни одного) маршрута. Тем самым такое дерево может называться деревом антимаршрутов (ко-маршрутов) и может быть изображено на исходной сети. Пример такого представления показан на рисунке 147.

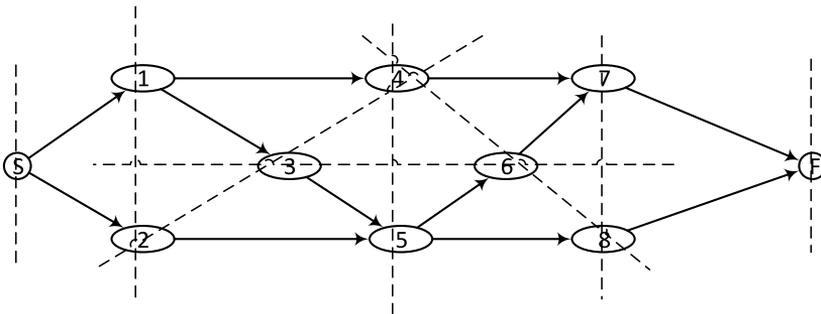


Рисунок 147. Пример сети ТлОп и её сечений

Для создания деревьев возможных сетевых разрезов (антимаршрутов), а затем и соответствующих им деревьев возможных состояний в процессе функционирования системы предложен алгоритм построения деревьев всех возможных сетевых разрезов. Он отличается от известных алгоритмов, таких как алгоритмы поиска максимального потока и минимальных разрезов, тем, что состояние — в отличие от потока — не передаётся неизменным между вершинами или рёбрами (и в результате не сохраняется по разрезам). Вместо этого существуют состояния, которые соответствуют каждому разрезу, и они отличаются для каждого набора вершин в разрезе. Состояния формируются из состояний РМ при выполнении работ, а они рассчитываются по сети работ.

Таким образом, для исследования состояний при реализации функционирования все возможные разрезы — и меры их возможности — должны быть структурированы, рассмотрены и рассчитаны отдельно. По этой причине необходимо строить дерево — или другую структуру — всех возможных разрезов и необходим алгоритм для его порождения.

Алгоритм проиллюстрирован примером ниже. Исходная сеть для примера порождения дерева сечений (и множества разрезов) сети показана на рисунке 148. Алгоритм состоит в рекуррентном повторении аналогичных шагов:

- (I) порождение нового маршрута в сети;
- (II) построение ветвей дерева — или разрезов на сети в виде системы множеств — из имеющихся маршрутов;
- (III) оперирование маршрутами.

Эти шаги показаны в виде левой (I), центральной (II) и правой (III) частей на иллюстрации шагов алгоритма. Начальным состоянием алгоритма является Start (I) — новый маршрут, Root-дерево (II) и Start-маршрут (III). Первый шаг алгоритма показан на рисунке 149.

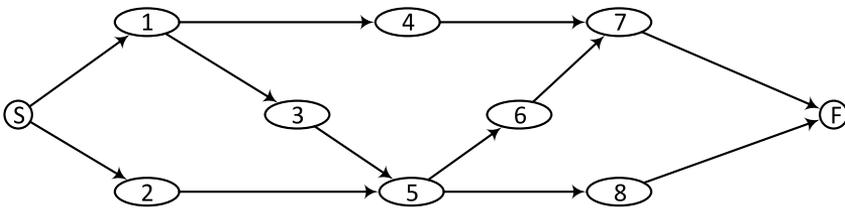


Рисунок 148. Пример исходной сети



Рисунок 149. Первый шаг алгоритма

В результате *первого шага* (I) — маршрут (s,1,4 — за номером 1), вершина 7 отмечена как недопустимая для прохода в соответствии с обходом в глубину (имеются другие маршруты в вершину). (s,1,4) введены как первый уровень дерева (II) или как система множеств $\{\{s\}, \{1\}, \{4\}\}$, затем текущий маршрут назначен 1. После этого в соответствии с алгоритмом поиска в глубину осуществляется возврат в вершину 1 и следующий шаг алгоритма (III).

Второй шаг алгоритма проиллюстрирован на рисунке 150.

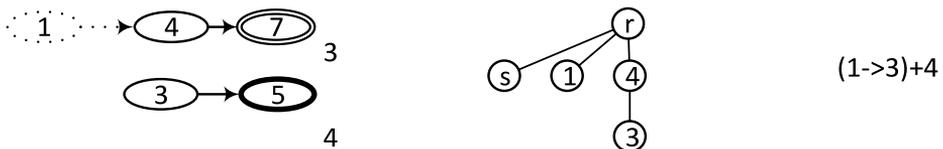


Рисунок 150. Второй шаг алгоритма

В результате *второго шага* создаются маршруты (3, 4) (3 — получен из 1 путём удаления вершин, предшествующих текущему ветвлению обхода в глубину (т. е. удаляем s-1, так как мы его прошли до ветвления в 1): остаётся (4)), (4-(3)), и вершина 5 отмечена как допустимая для прохода (так как

все маршруты в вершину рассмотрены). (II) вершина (3) введена как второй уровень дерева (II) или введена в систему множеств $\{\{s\}, \{1\}, \{4,3\}\}$, и затем маршрут 4 добавлен к 3 и 2 (III). *Ввести в систему множеств означает* дописать в качестве элемента в каждое подмножество с заданными свойствами. Проверяемое свойство — быть на рассматриваемых маршрутах. Соответственно, вершина 3 введена во множества, где есть 4. Третий шаг алгоритма показан на рисунке 151.

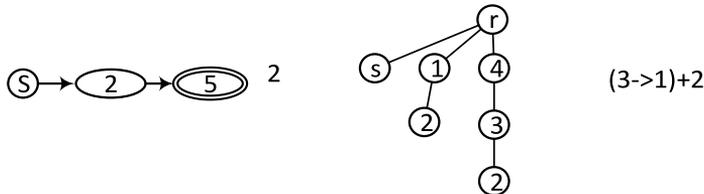


Рисунок 151. Третий шаг алгоритма

В результате *третьего шага* создаётся маршрут (2) (s,2), вершина 5 отмечена как недопустимая для прохода (имеются другие маршруты в вершину). Кроме этого, при проходе в глубину в результате отхода назад к s восстановлен маршрут (1) из 3 (3->1). (II) вершина (2) введена как второй уровень дерева (II), как параллельная к маршруту (1) из (1,4), или введена в систему множеств $\{\{s\}, \{1,2\}, \{4,3,2\}\}$, и затем маршрут 2 добавлен к 1 (III).

Четвёртый шаг алгоритма показан на рисунке 152.

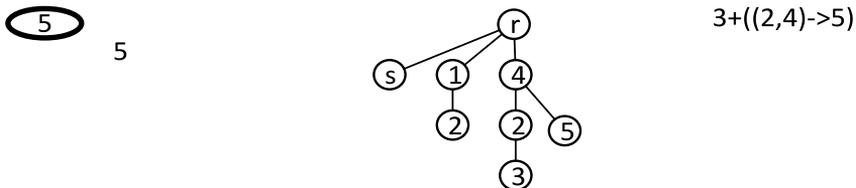


Рисунок 152. Четвёртый шаг алгоритма

В результате *четвёртого шага* создаётся маршрут 5 из одной вершины (5) (II), маршруты (2,4) меняются на (5), вершина (5) введена на второй уровень дерева (II) как параллельная маршруту (3) из вершины (4) или введена в систему множеств $\{\{s\}, \{1,2\}, \{4,2,3\}, \{4,5\}\}$, и затем маршруты (2,4) меняются на (5) — поскольку из вершин этих маршрутов нет других не пройденных маршрутов (III).

Пятый шаг алгоритма показан на рисунке 153.

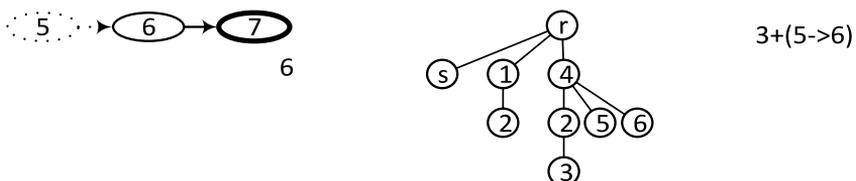


Рисунок 153. Пятый шаг алгоритма

В результате *пятого шага* создается маршрут 6 из вершин (6,7), этот маршрут заменяет (5), вершина 7 отмечена как возможная для посещения (II), вершина (6) введена на второй уровень дерева как параллельная маршруту 3 (II) или введена в систему множеств $\{\{s\}, \{1,2\}, \{4,2,3\}, \{4,5\}, \{4,6\}\}$, и затем маршрут (5) меняется на (6) (III).

Шестой шаг алгоритма показан на рисунке 154.

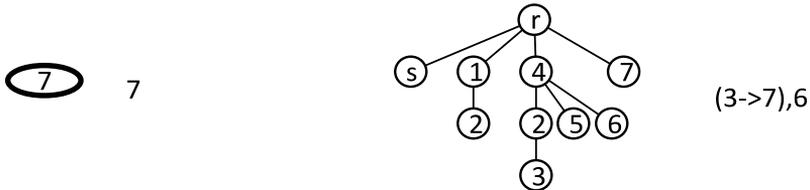


Рисунок 154. Шестой шаг алгоритма

В результате *шестого шага* проходится вершина (7) и создается маршрут 7 из вершины (7), маршрут (3) меняется на 7, так как из его вершин больше нет путей (II), вершина (7) введена на первый уровень дерева, так как других («параллельных») маршрутов нет (II), или введена в систему множеств $\{\{s\}, \{1,2\}, \{4,2,3\}, \{4,5\}, \{4,6\}, \{7\}\}$, других действий с маршрутами нет, поскольку из маршрута (6) есть ещё возможные пути (III).

Седьмой шаг алгоритма показан на рисунке 155.

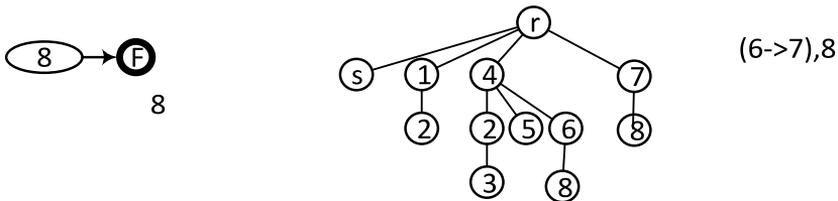


Рисунок 155. Седьмой шаг алгоритма

В результате *седьмого шага* проходится вершина (8) и создается маршрут (8) из вершины (5), вершина F помечается возможной для прохода и маршрут (6) меняется на 7, так как из его вершин больше нет возможных путей (II), вершина (8) введена в дерево параллельно (7) и (6) (II) или введена в систему множеств $\{\{s\}, \{1,2\}, \{4,2,3\}, \{4,5\}, \{4,6,8\}, \{7,8\}\}$.

Последний, восьмой шаг алгоритма, показан на рисунке 156.

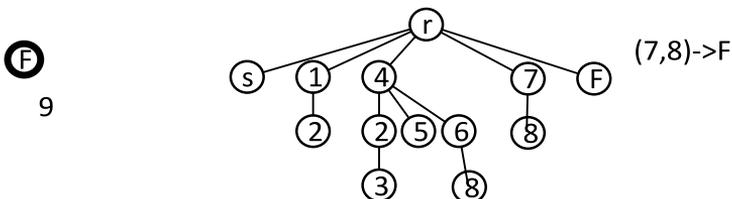


Рисунок 156. Последний (восьмой) шаг алгоритма

В результате *восьмого шага* проходится вершина (F) (I), вершина F вводится в дерево (II) или введена в систему множеств $\{\{s\}, \{1,2\}, \{4,2,3\}, \{4,5\}, \{4,6,8\}, \{7,8\}, \{F\}\}$, а затем маршруты 7 и 8, из которых более нет маршрутов, меняются на F (III).

Приложение О.

Алгоритм расчёта пометок моделей при их обходах

Пересчёт пометки реализуется *алгоритмом пересчёта пометки при совместном обходе теоретико-графовых моделей* (деревьев) функционирования СТС и среды.

Обход деревьев реализуется совместно, начиная с дерева функционирования СТС.

Алгоритм расчёта с использованием совместного обхода (без учёта случайности структуры действий контроля состояний на границе по отношению к состояниям при функционировании СТС):

1. Иницируется обход в глубину на дереве состояний и переходов среды. Он начинается из корня дерева состояний и переходов среды. Затем каждый шаг алгоритма связывается с обработкой одной из вершин дерева состояний и переходов среды. Вершины обрабатываются обходом в глубину или в ширину. Проход в глубину (ширину) реализуется с расчётом характеристик требований со стороны среды и характеристик мероприятия по предъявлению и контролю соответствия эффектов требованиям на границе среды и СТС, в том числе характеристик моментов времени начала и окончания мероприятия, мер возможности его актуализации. Заполняются измерения соответствующего массива.

Проход в глубину в соответствии с лексикографическим упорядочением (*в ширину — другая версия алгоритма*) по переходу в дереве состояний и переходов среды — блок расчёта последовательного причинно-следственного перехода в среде («Если-То» — в среде).

На входе — начальное состояние в среде, в котором предъявляются и контролируются требуемые состояния (т. е. совокупности характеристик, требуемых средой).

На выходе — конечное состояние в результате заданного перехода в среде и мера возможности его реализации.

2. После посещения очередной вершины дерева состояний и переходов среды и её расчёта соответствующим блоком иницируется подготовка обхода в ширину (или в глубину — *другой алгоритм*) на дереве состояний и переходов СТС. Инициация начинается из начальных состояний в модели функционирования СТС (дерево состояний и переходов СТС). Они получаются как результат предшествующего шага алгоритма или, при первом шаге, — это корень дерева. Инициация заключается в порождении состояний дерева состояний и переходов СТС, позволяющих рассчитать слой дерева состояний и переходов. Этот слой такой, что конечные состояния слоя контролируются на границе СТС и среды при выполнении зафиксированного при выполнении прохода в глубину на дереве состояний мероприятия по контролю состояний. Структура состояний СТС, из которых порождается слой, предполагается детерминированной мероприятием по контролю и функционально связанной с ним (это допущение алгоритма). Задаётся эта функция указанием поддеревьев, расположенных между мероприятиями по контролю состояний на границе среды и СТС, по одному поддереву для каждого начального состояния шага. Совокупность таких поддеревьев —

поддереву дерева состояний и переходов при функционировании СТС. Эти поддерева и мероприятия контроля на границе СТС и среды предполагаются детерминированными деревом состояний и переходов среды и соответствующим деревом состояний и переходов при функционировании СТС (точки графика функции заданы парой из вершины дерева для среды и поддеревом для СТС). Соответственно, выделение указанных поддеревьев — блок выделения (указания) поддеревьев для ТлОп контроля на границе. Это блок указания на последовательности контролируемых последовательностей состояний и переходов.

На входе — вершина в дереве состояний и переходов среды, в котором предъявляются и контролируются требуемые состояния (т. е. совокупности характеристик, требуемых средой).

На выходе — поддерево дерева состояний и переходов функционирования СТС, состояния, ассоциированные с висячими вершинами которого, и контролируются при реализации перехода из вершины на входе.

3. Реализуется обход в ширину подготовленного поддерева состояний и переходов при функционировании СТС, пересчёт характеристик этого поддерева. Результат расчётов представляется как уровень слоя дерева слоёв на соответствующем шаге. На первом шаге — первый уровень. В дереве слоёв комплексы переходов комплексированы до одного перехода, такого, что его начальное и конечное состояния контролируются (проверяются) на границе. При этом рассчитываются характеристики конечных состояний слоя по состояниям (внутренним) характеристик состояний СТС, не контролируемым на границе. Их расчёт детерминирован соотношениями по расчёту стохастических сетей. Фрагмент стохастической сети — и соотношения для расчёта — соответствуют симплексам ТлОп — по одному на задействованном РМ — и редуцированным симплексам, выполняемым между проверками состояний на границе. Кроме того, на фрагменте дерева рассчитываются характеристики распределений моментов времени начала и окончания переходов, меры возможности актуализации переходов. Эти характеристики сопоставляются висячим вершинам рассчитанного в результате слоя дерева слоёв (т. е. комплексных переходов слоя и состояний слоя). Заполняются измерения соответствующего массива. Реализуется набором расчётных блоков:

Блок расчёта элементарного последовательного причинно-следственно-го перехода при функционировании СТС (Если–То). Этот блок реализует пересчёт эффектов из начального состояния в конечное в результате выполнения перехода (реализации операционного примитива функционирования СТС в возможных условиях среды). По крайней мере, рассчитывается целевой эффект, затраты ресурсов.

Может объединяться в цепочки блоков в рамках реализации шага алгоритма. Например, при реализации последовательностей информационных операционных примитивов между проверками состояний — блок цепь И–Если–То.

Блок расчёта возможных результатов реализации операционного примитива (Вероятностная Или–зависимость между И–Если–То или цепью И–Если–То). Состоит из альтернативных переходов (И–Если–То) в результате

реализации заданного операционного примитива заданным способом с учётом заданного начального информационного состояния. Результат работы — характеристики альтернативных состояний, каждое рассчитано как результат одного И–Если–То, и результату сопоставлена вероятность перехода.

На входе — одно состояние (в том числе описание действия).

На выходе — множество возможных состояний, по одному для каждого возможного исхода (например, воздействия среды) и вероятности актуализации этих состояний на выходе. Каждое такое состояние получено блоком И–Если–То.

Блок расчёта переходов для комплекса заданных начальных состояний параллельное И–«для всех»–Или. Блок пересчитывает для каждого элемента соединённого И (каждого начального состояния шага алгоритма, в том числе информационного), полученного в результате выделения поддерева состояний и переходов при функционировании СТС: для каждого состояния по блоку Или–зависимость между И–Если–То (или цепь И–Если–То).

На входе — множество начальных состояний шага алгоритма.

На выходе — множество состояний и мер их возможности, получено обработкой всех (И–для всех) начальных вершин блоком Или–Если–То конечных вершин. Эти вершины образуют конечные вершины слоя состояний.

Может сочетаться с цепью И — образуя дерево И–Или. Конечные вершины образуют конечные вершины слоя.

Параллельное И (совместное выполнение). Соответствует совместному выполнению операционных примитивов на разных рабочих местах («параллельные» ТлОп).

Сопоставляет одному начальному состоянию одно конечное состояние в результате завершения всех начатых работ.

На входе — одно состояние.

На выходе — одно состояние, характеристики которого рассчитаны по соотношениям для совместно выполняющихся технологических операционных примитивов.

Параллельное И — (совместное выполнение) — Или. Соответствует совместному выполнению операционных примитивов на разных рабочих местах («параллельные» ТлОп) с учётом возможных окончаний операционных примитивов в разном порядке.

Сопоставляет одному начальному состоянию несколько возможных конечных состояний в результате завершения начатых работ в том или ином порядке и меры возможности такого окончания.

На входе — одно состояние.

На выходе — множество состояний, возможных в результате окончания операционных примитивов в какой-либо возможной последовательности, и меры возможности этих состояний. Каждое из состояний на выходе (т. е. его характеристики) рассчитаны по соотношениям для совместно (параллельно) выполняющихся технологических операционных примитивов, т. е., как Параллельное И.

Блок Параллельное И–(совместное выполнение)–Или может комбинироваться с И–Если–То (и последовательностями), с И–(для всех)–Или и с Или–И–Если–То.

В результате такого комплексного использования блоков реализуется блок «Расчёт множества конечных состояний блока из множества начальных» (комбинация И–Или разных видов).

4. Рассчитанный слой сопоставляется с рассчитываемым узлом дерева состояний и переходов, как проиллюстрировано на рисунке 157.

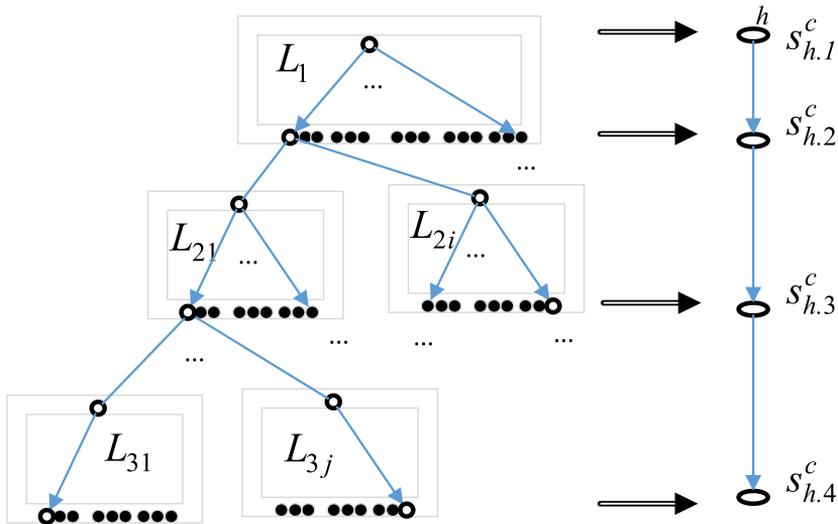


Рисунок 157. Сопоставление мер возможности соответствия эффектов требованиям

5. Использованный для расчётов фрагмент (поддерево) дерева состояний и переходов СТС уничтожается (как ненужный, ему соответствуют многоточия внутри поддеревьев каждого слоя).

6. По характеристикам законов распределения прогнозируемых — ассоциированы с конечными вершинами слоя — и требуемых — ассоциированы с соответствующим состоянием среды — эффектов выполняется расчёт мер возможности соответствий прогнозируемых состояний требуемым и меры возможности их актуализации. Заполняются измерения соответствующего массива. Реализуется блоком расчёт меры соответствия.

На входе: Множество состояний (характеристики случайных величин, меры возможности) при функционировании СТС и состояние, требуемое и контролируемое средой.

На выходе: Меры возможности реализации соответствия между состояниями на границе СТС и среды.

7. Слои стягиваются во множество конечных вершин слоя, и эти вершины становятся основой для последующих расчётов (стягивание проиллюстрировано на рисунке ниже, оно схематизировано синими стрелками).

8. Полученные меры соответствия прогнозируемых эффектов требованиям сопоставляются обрабатываемой вершине дерева состояний и переходов при функционировании среды. При этом может реализовываться один из видов комплексирования меры соответствия по формулам комплексирования (свёртки).

9. Блок свёртка мер соответствия. Реализует расчёт показателей как вероятностных смесей или по критериям оценивания множества альтернатив.

На входе: Массив мер соответствия (по нескольким измерениям) и меры возможности реализации компонент.

На выходе: Скаляр или массив мер соответствия по меньшему числу измерений и меры возможности их реализации.

10. Осуществляется цикл — с использованием последующих за обработанной вершин дерева состояний и переходов среды (вглубь) или, альтернативно, «родственных» ей в дереве вершин, поиск в глубину — другой алгоритм, в качестве обрабатываемых состояний среды и конечных состояний слоёв в качестве начальных состояний в модели функционирования СТС (дерево состояний и переходов).

Реализуется блоком цикл.

Блок цикл — реализация действия рекуррентно, с другими характеристиками, в соответствии с тем или иным алгоритмом обхода. Здесь — обход дерева состояний и переходов среды в глубину.

11. По достижении вершины рассчитываются (комплексные) показатели эффективности достижения цели и реализации переходов от достижения одной цели к достижению другой (конверсий).

После расчёта при реализации блока цикл характеристик висячих ветвей выполняется блок расчёт показателей потенциала.

Сопоставляет скалярные или векторные показатели потенциала рассчитанным ветвям дерева.

Может реализоваться циклом по ветвям — для скалярного показателя.

Альтернативные алгоритмы, развитие представленных алгоритмов:

1. Обход в ширину. При этом возможно уменьшить число расчётов дерева состояний и переходов при функционировании СТС, за счёт сохранения результатов на предыдущих шагах. Это же возможно, если хранить уже рассчитанные слои.

2. Алгоритмы расчёта по альтернативным планам изменения и функционирования СТС.

В этом случае вводится ещё и дерево альтернатив функционирования. В нём должен быть предусмотрен блок «Исключающее Или задания альтернативы». Этот блок соответствует дереву, рассчитываемому между обходом требуемых состояний среды и деревом состояний при функционировании СТС — для каждой альтернативы планов изменения и функционирования СТС. Этот алгоритм может быть использован и при синтезе планов.

Приложение Р. Примеры ввода исходных данных, хода и результатов расчётов

▼ Входные данные: рёбра графа

[0,1],[0,2],[0,25],[0,4],[0,5],[5,6],[6,8],[6,26],[6,11],[1,11],[2,11],[25,11],[22,9],[9,26],[4,11],[14,12],[11,13],[11,22],[12,15],[15,16],[16,17],[13,18],[18,19],[19,17],[26,20],[20,21],[21,24],[21,27],[21,23],[17,26],[24,4],[23,4],[27,4]

▼ Исходный граф 4

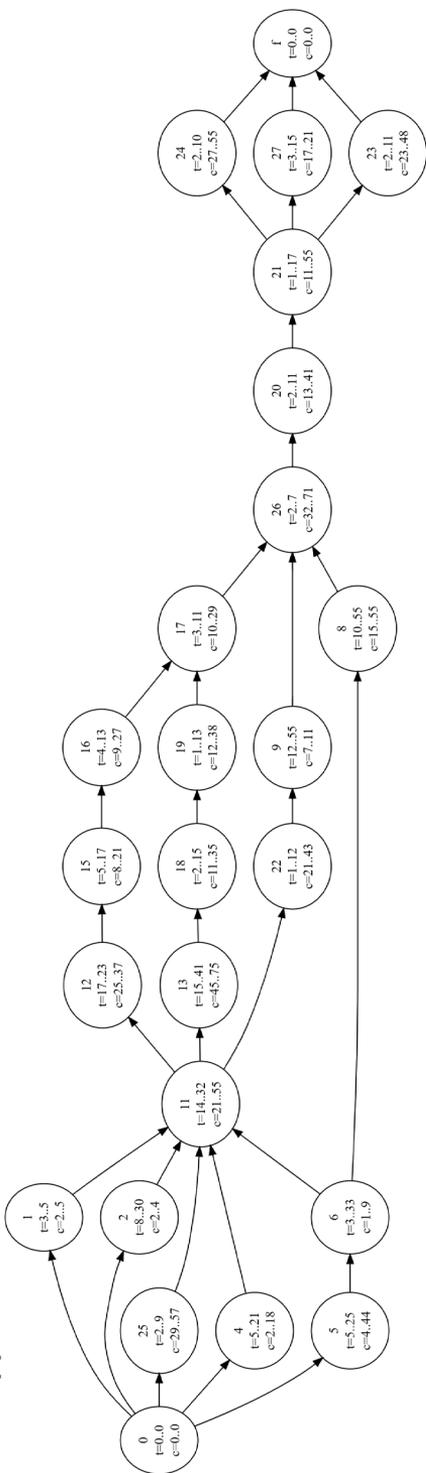


Рисунок 158. Расчёт потенциала системы — первый вариант характеристик функционирования

▼ Входные данные: рёбра графа

[[0,1],[0,2],[0,3],[0,4],[2,5],[5,6],[6,7],[1,8],[8,9],[9,7],[3,10],[10,11],[11,12],[4,13],[13,11],[13,14],[14,15],[15,16],[17,17],[17,18],[12,19],[19,18],[19,16],[18,20],[16,21],[20, 'f'],[21, 'f']]

▼ Исходный граф

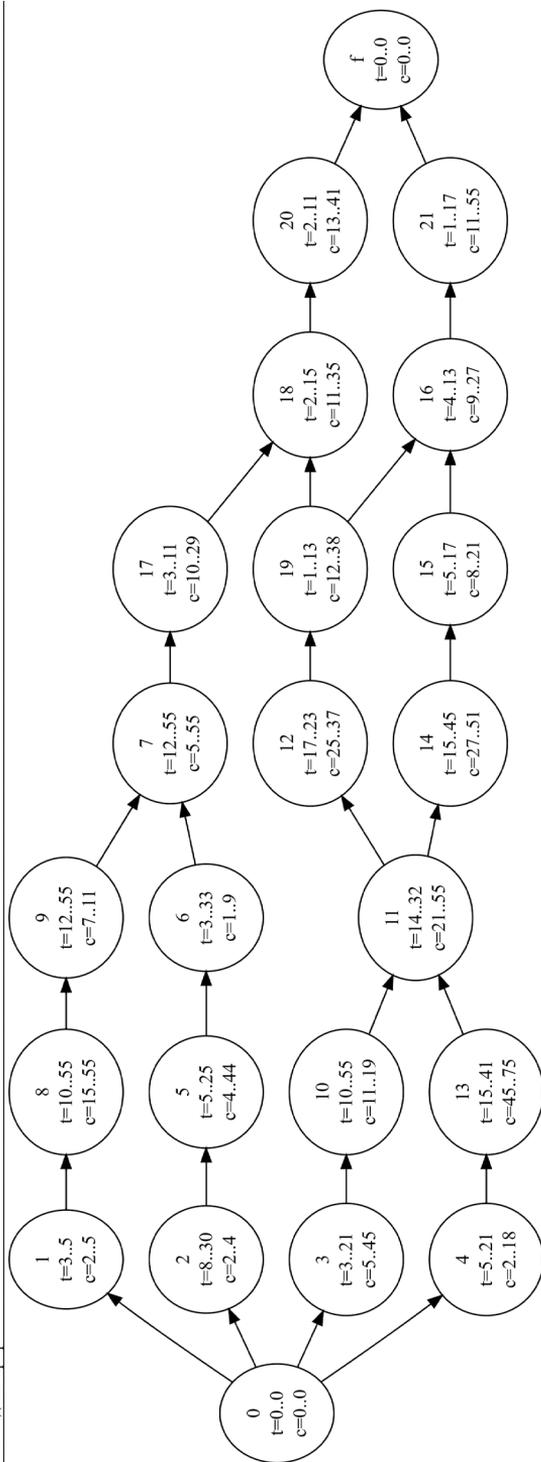


Рисунок 159. Расчёт потенциала системы — второй вариант характеристик функционирования

Расчёт сечений и их интерактивное представление с использованием инструмента «ползунок» и цветового кодирования показано на рисунке 160. С использованием сечений описываются возможные альтернирования функционирования (в результате изменения целей) и последовательности альтернирования. Расчёты сечений и их характеристик автоматизированы и проиллюстрированы ниже.

На рисунках ниже проиллюстрирован ввод данных о сетях в программу (с использованием формата DOT).

▼ граф 3 с ожиданиями

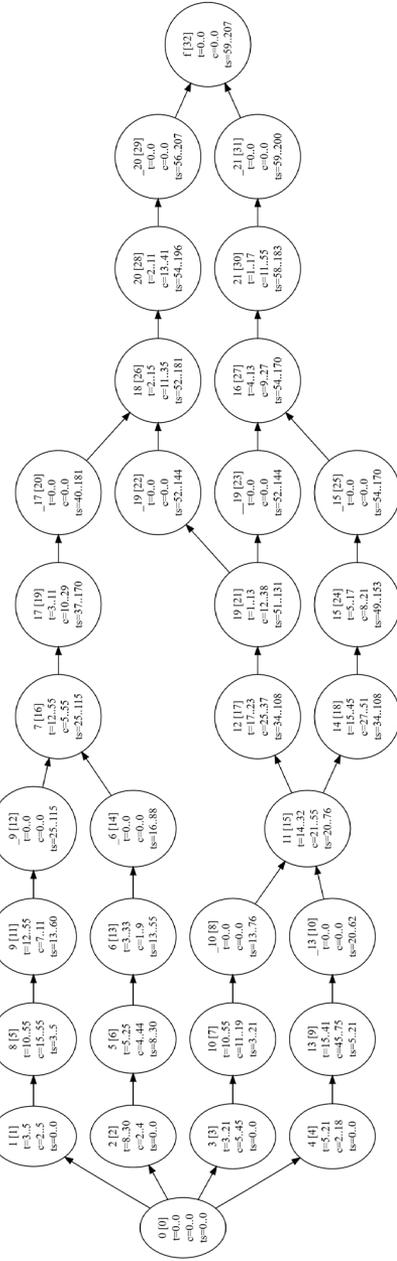


Рисунок 162. Сеть 3 с ожиданиями

▼ граф 4 с ожиданиями

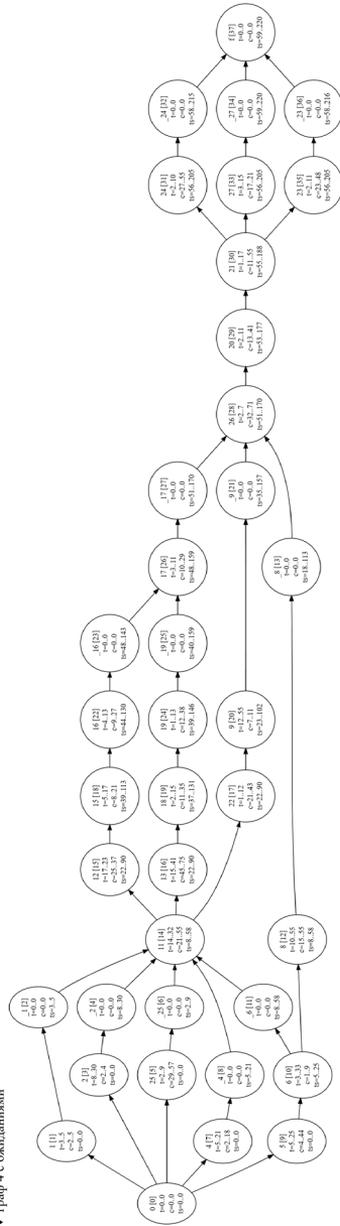


Рисунок 163. Сеть 4 с ожиданиями

На последующих рисунках проиллюстрированы автоматизированные расчёты по представленным исходным данным — добавление ожиданий, расчёт сечений, расчёт сетей, расчёт вероятностей актуализации сечений.

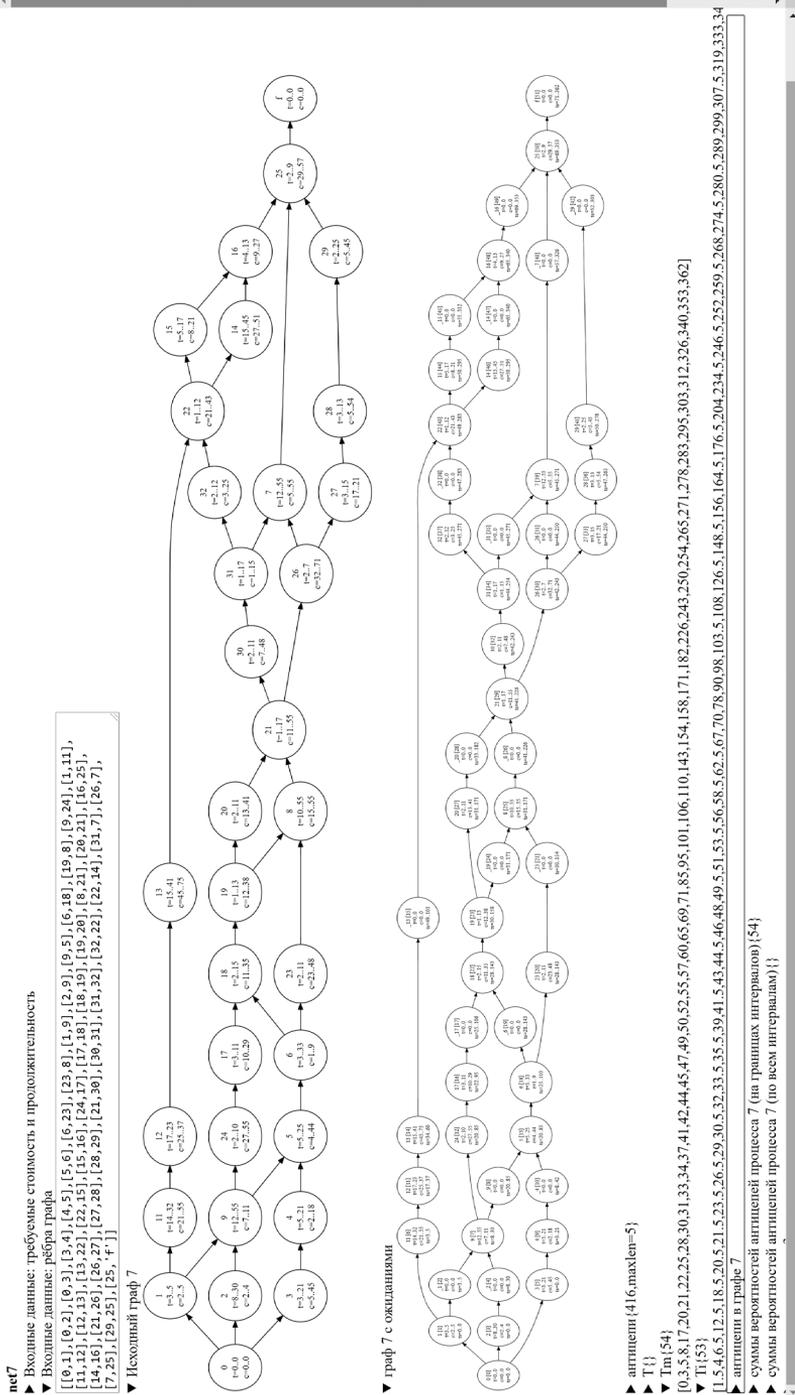


Рисунок 164. Сеть 7 с автоматически добавленными ожиданиями и рассчитанными антицепями

▼ алгоритм в графе

№ алгоритма = 1, { len=4 }, стоимость сечения = 11, 72

Tm	0	3	5	8	13	16	20	21	25	30	34	37	40	49	51	52	54	55	58	59	60	62	76	88	108	115	131	144	153	170	181	183	196	200	207	
p	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tl	1	5	4	6	5	10	5	14	18	20	5	23	27	5	32	35	38	5	44	5	50	51	5	53	54	5	55	5	57	58	5	59	5	61	5	75	5	182	189	5	198	203	5	
p	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

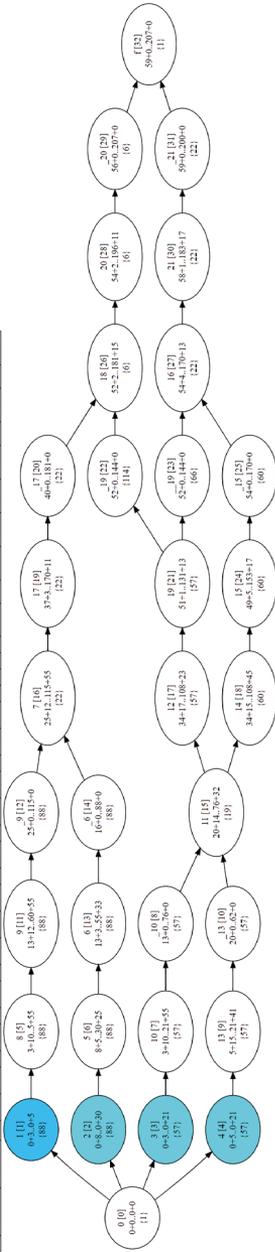


Рисунок 170. Анализ сечений сети 3 (сечение 1)

▼ алгоритм в графе

№ алгоритма = 26, { len=4 }, стоимость сечения = 93, 276

Tm	0	3	5	8	13	16	20	21	25	30	34	37	40	49	51	52	54	55	58	59	60	62	76	88	108	115	131	144	153	170	181	183	196	200	207								
p	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tl	1	5	4	6	5	10	5	14	18	20	5	23	27	5	32	35	38	5	44	5	50	51	5	53	54	5	55	5	57	58	5	59	5	61	5	75	5	182	189	5	198	203	5	
p	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

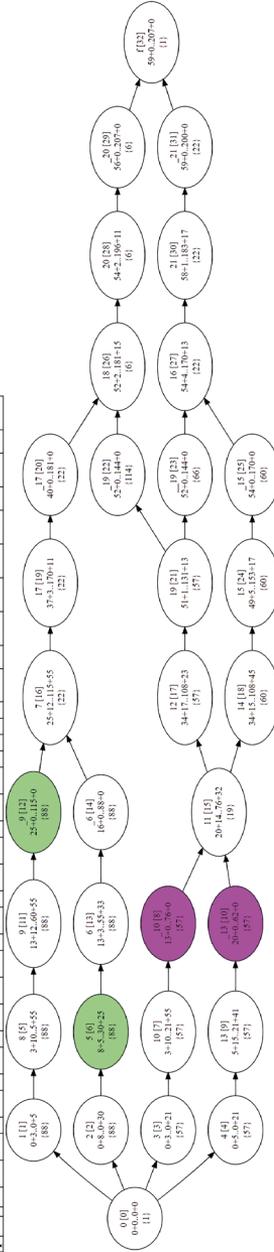


Рисунок 171. Анализ сечений сети 3 (сечение 126)

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гейда Александр Сергеевич

Подписано в печать 30.12.2021. Формат 70x100 1/16.
Гарнитура Times. Печ. л. 25,5.
Тираж 300 экз. Заказ № 6230.

Издатель – Российская академия наук

Оригинал-макет подготовлен
ООО «Красногорский полиграфический комбинат»

Публикуется в авторской редакции

Отпечатано в ООО «Красногорский полиграфический комбинат»
115093 г. Москва, Партийный переулок, д. 1, корп. 58, стр. 1, эт. 1, пом. 1

Издается в соответствии с постановлением Научно-издательского совета
Российской академии наук (НИСО РАН) от 12 февраля 2021 г. № 01
и распространяется бесплатно