

На правах рукописи



ГЕЙДА АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЕЁ ПРИЛОЖЕНИЯ
К ПРИНЯТИЮ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ**

Специальность 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Санкт-Петербург – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН).

Научный консультант:

Лысенко Игорь Васильевич, доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН).

Официальные оппоненты:

Ильин Игорь Васильевич, доктор экономических наук, профессор, директор Высшей школы управления и бизнеса Института промышленного менеджмента, экономики и торговли Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого».

Прохорович Владимир Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского центра технологий контроля качества ракетно-космической техники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»).

Усин Валерий Викторович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» (СПбГЭУ).

Защита состоится «23» декабря 2021 г. в 13-00 на заседании диссертационного совета 24.1.206.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН) по адресу: 199178, Россия, С.-Петербург, 14 линия В. О., д.39.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук».

Автореферат разослан «21» октября 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.206.01
кандидат технических наук

Абрамов Максим Викторович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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

Так, 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 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 диссертации 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. Исследование причин и последствий проявления указанных недостатков, их классификация позволили сделать вывод о том, что их следует устранять, как недостатки, которые *вызываются несоответствием характеристик СТС регулярно меняющимся требованиям со стороны среды и другими её 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 и по разработке последующих переходных действий в диссертации отнесены 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 заинтересованных 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 способов устранения недостатков, понимаемых в работе, как улучшения, совершенствования СТС ОПК, описаны их последствия, 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 видов и их характеристик. На основе способов действий и их характеристик формируется множество выбора в изменяющихся условиях. Такие способы и их характеристики 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. 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 усовершенствованным, *лучшим целевым эффектам 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* (затрат ресурсов, времени) на своё выполнение.

Предложенное в работе *свойство СТС – её потенциал, как комплексное операционное свойство, характеризующее приспособленность (то есть пригодность, соответствие условиям) СТС к достижению изменяющейся (то есть действительной и одной из возможных, будущих) цели, зависит от характеристик «целевого» и «переходного» функционирования СТС, в том числе 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 (в приложении к принятию проектных решений). Предложенные в диссертации основы концепции и методологии *были разработаны впервые* и составляют в своей совокупности *основы теории потенциала СТС*.*

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

К таким научным коллективам можно, прежде всего, отнести научные школы член-корреспондента РАН Юсупова Р.М. (эффективность использования информационных технологий), профессоров Петухова Г.Б. (теория эффективности целенаправленных процессов и функционирования целеустремлённых систем), Лысенко И.В. (анализ и синтез систем обеспечения готовности), Флейшмана Б.С. (теория потенциальной эффективности сложных систем), Цвиркуна А.Д. (теория анализа и синтеза структур крупномасштабных систем), Смирнова А.В. (интеллектуальное управление конфигурациями виртуальных и сетевых организаций), Резникова Б.А., Калинина В.Н. (теория систем и управления), Соколова Б.В., Охтилева М.Ю., Павлова А.Н. (проактивное управление структурной динамикой сложных объектов), Микони С.В. (квалиметрия моделей и полимодельных комплексов), Голенко-Гинзбурга Д.И. (исследование альтернативных стохастических сетей), Кульбы В.В. (сценарное исследование сложных систем), Шульца В.Л. (информационное управление), Овчинникова В.А., Петрошенко А.В. (теория суперграфов и гиперсетевых моделей), Никанорова С.П. (теория ступеней множеств). Среди зарубежных научных школ следует отметить школы Дэвида Тиса (David Teace, dynamic capability), А.Сена (A. Sen,

capabilities approach), ван де Ветеринга (Van de Wetering, IT Capabilities), Эрика Ас-слаксена (Eric W. Aslaksen, System design in functional domain).

Однако, концепции и методологии, позволяющей исследовать в комплексе операционные свойства СТС в изменяющихся условиях, реализацию переходных функционирований применительно к их альтернативным вариантам, в изменяющихся условиях – с оценением соответствующих эффектов – предложено не было.

Цель исследования – разработка основ теории потенциала СТС и решение с её помощью следующих задач: оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования характеристик СТС, обладающих требуемым потенциалом, в приложении к принятию проектных решений.

Для достижения цели исследования требуется решить следующие **научные задачи**:

1. Разработка концепции оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обеспечивающих требуемый потенциал СТС.

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

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

4. Разработка методов решения задач оценивания, анализа потенциала сложных технических систем и обоснования проектных решений, обеспечивающих требуемый потенциал СТС.

5. Разработка технологий и методик решения прикладных задач оценивания, анализа потенциала СТС обоснования проектных решений, обеспечивающих требуемый потенциал 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 его оценивания, анализа и обоснования характеристик СТС, обладающих требуемым потенциалом, в приложении к принятию проектных решений.

Научная проблема заключается в том, что улучшение качества СТС (в том числе — её функционирования) как при создании, так и при использовании СТС по назначению, связано с реализацией проектных решений, при принятии которых требуется учитывать, что СТС будет функционировать в изменяющихся условиях среды. При этом улучшение качества СТС может быть достигнуто благодаря улучшению такого свойства СТС, которое называют «потенциал СТС». Но в теории СТС отсутствуют концептуальные и методологические средства, с помощью которых могли бы быть корректно сформулированы и решены задачи оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования характеристик СТС, обладающих требуемым потенциалом, в приложении к принятию проектных решений. Создание указанных теоретических средств, то есть основ теории потенциала СТС, должно разрешить указанное несоответствие, внести новизну в теорию и практику улучшения качества СТС, увеличить длительность использования СТС по назначению, снизить затраты на модернизацию СТС и на использование СТС по назначению.

Научная новизна работы обусловлена тем, что в ней:

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. Предложен 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 экспликации: концептов; 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. Разработаны основы новых информационных технологий и методики решения ряда актуальных прикладных задач, *обеспечивающие* учёт особенностей функционирования СТС в изменяющихся условиях при принятии проектных решений.

Теоретическая значимость работы состоит в том, что в ней: разработаны основы концепции оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений, обеспечивающих требуемый потенциал СТС; обоснованы метод разработки концепции и методы решения задач совершенствования СТС, функционирование которых изменяется в результате воздействий среды; предложены модели, позволяющие реализовать оценивание, анализ потенциала СТС и обоснование проектных решений, обеспечивающих лучшие значения показателей потенциала СТС; описаны методы оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС; рассмотрены методики и технологии решения прикладных задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС.

Практическая значимость работы 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, согласующиеся с теоретическими выводами и практикой функционирования предприятий. Результаты, в частности, позволили существенно улучшить экономические эффекты модернизации производственной базы, снизить затраты ресурсов,

повысить обоснованность принимаемых проектных решений, о чём свидетельствуют акты о реализации результатов диссертации и описанные в них результаты.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач в работе использованы методология системного анализа, методы 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 теории графов.

Решение научных задач и обобщение полученных научных результатов определило следующие теоретические **положения, выносимые на защиту**:

1. Концепция оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала.

2. Методы создания концептуальной модели функционирования СТС и её среды и методы решения задач создания, использования, совершенствования СТС, функционирование которых изменяется в результате воздействий среды.

3. Модели задач оценивания, анализа потенциала СТС и задач обоснования проектных решений.

4. Методы оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС.

5. Основы информационных технологий и методики принятия проектных решений с использованием теории потенциала СТС.

Высокая **степень достоверности** научных положений, основных выводов и результатов диссертации обеспечивается благодаря всестороннему анализу состояния исследований в предметной области, согласованности теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки полученных результатов исследований, в частности — на предприятиях и организациях ОПК, а также апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах и докладах на российских и международных научных и научно-практических конференциях.

Апробация результатов работы. Основные результаты докладывались и обсуждались в период с 1992 по 2020 годы на более чем 30 международных и Российских конференциях, в том числе на ведущих международных (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) 21–29», «Interdisciplinary Information Management Talks» (IDIMT) 2019-2021; 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 диссертации 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 работы. Основные результаты исследований диссертации 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 16-08-00953* – «Концептуальные и методологические основы теории потенциала сложных технических систем», *20-08-00649* - «Модели и методы исследования эффективности использования цифровых технологий при функционировании технологических систем» (руководитель), *19-08-00989* – «Разработка и исследование научных основ теории многокритериального оценивания, анализа и управления качеством моделей и полимодельных комплексов, описывающих сложные технические объекты», *15-08-01825* – «Концептуальные и методологические основы управления техническим состоянием критически важных объектов на основе их мониторинга», *13-08-00573* – «Модели и методы оценивания инновационных проектов при создании сложных технических систем» (участник научного коллектива).

Личный вклад автора в основных публикациях с соавторами кратко характеризуется следующим образом. В публикациях [11,13,20] 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 [6,19] представлены принципы расчёта показателей операционных свойств СТС и её функционирования, методы расчёта этих показателей и примеры расчёта этих показателей. В [9,10,26] раскрыты модели и методы моделирования в задачах исследования потенциала СТС. Примеры использования теории потенциала СТС для решения практических задач рассмотрены в [9,10,14,15,16]. В [34] описан ряд методов и моделей, позволяющих автоматизировать моделирование и решение задач исследования потенциала СТС. В [21,22,25,28,34] описаны концепция, модели и методы, позволяющие оценивать операционные свойства использования информационных технологий, другие операционные свойства: «dynamic capabilities, organizational capabilities». Приведены примеры оценивания.

Структура и объём работы. Диссертационная работа изложена на 345 страницах основного машинописного текста и 174 страницах приложений к основному тексту, содержит 107 иллюстраций и 12 таблиц, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы (345 наименований) и приложений А–Р.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована её актуальность, проведён анализ решаемой в диссертации проблемы разработки основ теории потенциала (в том числе, концептуальных и методологических основ оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений по показателям потенциала) и обоснован подход к её решению, сформулированы цель и задачи диссертационного исследования, определена научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту, и сведения об апробации, публикациях и реализации результатов работы.

В первой главе выполнен анализ недостатков функционирования современных сложных технических систем на примере СТС ОПК, описаны источники проблемности, возникающие при их устранении. Фрагмент полученной классификационной схемы недостатков СТС ОПК и их функционирования показан на рис. 1.

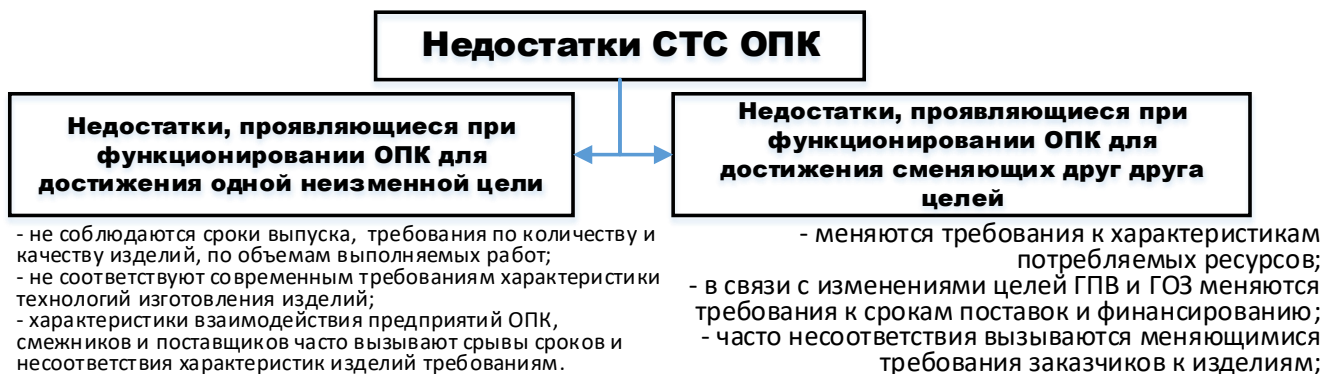


Рисунок 1 — Фрагмент классификационной схемы недостатков СТС ОПК и их функционирования

Показано, что *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. Выполнено *исследование различных способов устранения недостатков СТС*, их последствий, введена их классификация. Классификация способов устранения недостатков оборонно-промышленного комплекса, как действий различной направленности по совершенствованию систем показана на рис.2. При совершенствовании СТС способы устранения недостатков следует выбирать научно обоснованно, на основе моделей, описывающих зависимости характеристик операционных свойств совершенствуемых СТС (свойств, характеризующих приспособленность СТС к извлечению пользы на практике) от возможных способов действий по совершенствованию функционирования и от характеристик таких способов, формирующих множество выбора в решаемых задачах.

Вскрыты *особенности совершенствования (в том числе, устранения недостатков) СТС* с учётом реализации информационных действий. Так, из практики известно, что в связи с регулярными и изменяющимися воздействиями со стороны среды возникает необходимость выполнения переходных действий разных видов. Такая необходимость ведёт далее к реализации сначала – информационных действий, связанных с оцениванием *состояний системы и среды* и затем, в случае необходимости, с реализацией информационных действий по *разработке* способов переходных действий, направленных на классифицированные в работе виды изменений. Затем выполняются другие переходные действия.

Переходные действия направлены на то, чтобы вести с одной стороны, к усовершенствованным, лучше соответствующим изменившимся условиям целевым эффектам функционирования, но с другой стороны, они ведут и к дополнительным затратам обеспечивающих эффектов на выполнение переходных действий. Вводимое *новое свойство потенциала СТС* как свойство, характеризующее приспособленность СТС к достижению изменяющейся (действительной и возможных) цели при функционировании, и зависит от эффектов «целевого» и «переходного» функционирований СТС. Показатель этого свойства и должен оцениваться в зависимости от характеристик классифицированных на схеме (рис.2) способов устранения недостатков СТС.



Рисунок 2 — Классификация способов устранения недостатков СТС

В работе *вскрыты особенности эффектов*, которые проявляются при функционировании. Выполнена классификация эффектов с учётом реализуемых *переходных действий*. Классификация проиллюстрирована схемой эффектов функционирования СТС. Фрагмент схемы показан на рис. 3. Эффекты (результаты функционирования, к которым предъявляются требования) последовательно делятся на 2 группы эффектов, в зависимости от того, выполняются ли переходные процессы от одного функционирования к другому. В результате выделяется новый *вид эффектов*, проявляющихся при *совершенствовании функционирования в изменяющихся условиях* и не учитывавшийся ранее в полной мере. Эффекты, характеризующие процесс функционирования системы для достижения исходной цели или действительной цели, затем сменившей исходную, — это характеристики известного операционного свойства — эффективности функционирования систем. Эффекты же, которые характеризуют *переходные процессы*, а также как возможные переходные процессы, так и последующие достижения *возможных целей* — это характеристики новых операционных свойств систем, которые прежде в *полной мере* не выделялись и не исследовались.

К ним относится *свойство конверсивности*, а также и введённое в работе (операционное) *свойство СТС — потенциал системы*, характеризующее приспособленность к достижению изменяющихся целей. Показано, что при смене состояний элементов СТС и выполняемых ими действий регулярно реализуются те или иные информационные действия и соответствующие информационные технологии.

При реализации последовательностей действий, вызванных изменениями среды, сначала выполняются информационные действия по определению состояний

элементов и среды, мониторинг состояний системы и среды, затем – возможные информационные действия по определению необходимых переходных действий. А затем – по необходимости, выполняются разработанные переходные действия, требующие затрат ресурсов разного вида. При реализации переходных, а затем и целевых действий, в зависимости от состояний элементов системы и среды, происходят разные комплексы действий, в результате происходят те или иные события и проявляются отличающиеся состояния системы, среды и их последовательности. Эти последовательности ведут к исходам функционирования различной успешности (к несопадающим мерам соответствия требований в результате реализации того или иного функционирования). Кроме того, последовательности таких событий и состояний характеризуются разными возможностями своего проявления, в зависимости от состояний среды при функционировании.

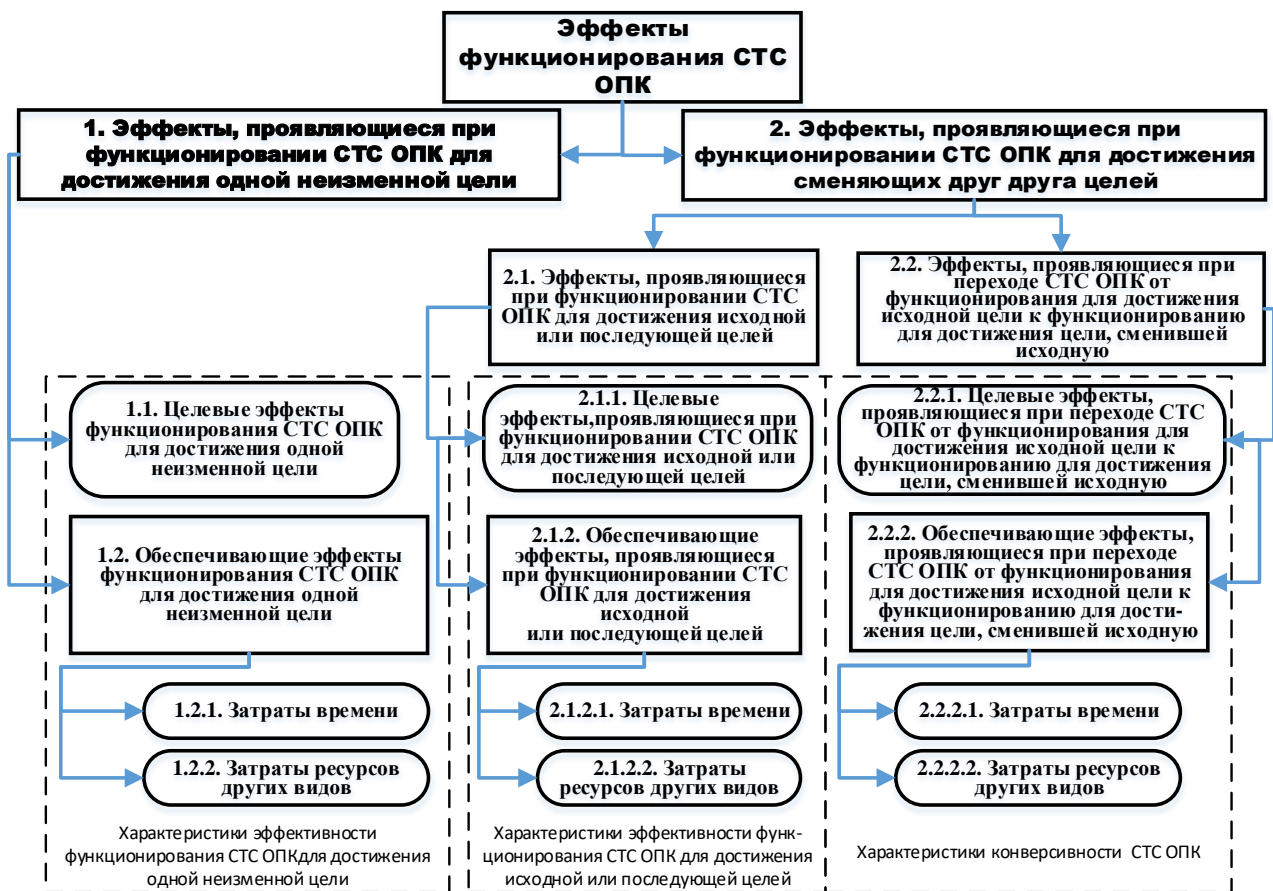


Рисунок 3 — Схема эффектов функционирования СТС ОПК в изменяющихся условиях

Введённое в работе комплексное операционное свойство СТС, названное её потенциалом, и характеризует такую сторону качества систем, которая определяет успешность СТС (в системной инженерии — достижение с использованием СТС успеха заинтересованными сторонами) в изменяющихся условиях. Это свойство и следует оценивать на основе моделирования комплексов возможных действий СТС в различных условиях. Научный заказ на разработку теории потенциала был сформулирован в 2007–2015 г. г. СП РФ, Военно-промышленной комиссией и Аналитическим центром при Правительстве РФ, в связи с чем было выполнено более 30 НИР и ОКР. *Актуальность* разработки основ теории потенциала СТС определяется тем, что научный заказ, новые требования практиков — проектировщиков, конструкторов, управленцев — к СТС, обладающей требуемым потенциалом, не могут быть

удовлетворены с помощью существующих теорий, в рамках которых не вскрываются связи между характеристиками СТС, среды, изменениями их функционирования и показателями потенциала СТС.

Задачи исследования состоят в разработке концепции, моделей, методов и технологий, позволяющих решать комплекс практических задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования проектных решений с использованием показателей потенциала СТС, как соответствующих предиктивных и прескриптивных математических задач. Показано, что для использования понятия о потенциале СТС для придания СТС лучшего качества в изменяющихся условиях необходимо ввести такой комплекс концептов и принципов, в том числе – отсутствующих в теории СТС, чтобы этот комплекс позволил реализовать *концептуальный этап* разработки основ теории потенциала. Затем с использованием полученного результата следует реализовать *методологический этап* разработки основ теории потенциала, в том числе – за счёт введения отсутствующих в теории СТС методологических средств.

Во второй главе представлены основы разработанной **концепции исследования потенциала** сложных технических систем (**1-й результат**). Под *исследованием потенциала* понимается оценивание, анализ потенциала СТС и обоснование проектных решений, обеспечивающих лучшие значения показателей потенциала. Описан *метод концептуализации (разработки концепции)* проблемы исследования потенциала сложных технических систем. Он основывается на логико-семантической теории Г. Фреге. Представлены основные *концепты и принципы решения проблемы* исследования потенциала, как задач оценивания, анализа потенциала систем и синтеза по показателям потенциала. Выполнены *вербальные постановки задач*:

Вербальная постановка задачи оценивания потенциала. Дано: Технология функционирования системы (совокупность сведений о том, как реализуются действия в системе) в различных условиях, в том числе информационная технология функционирования системы; возможные изменения среды. *Определить:* Значение показателя(-ей) потенциала СТС и определить, достаточно (-ы) ли это(-и) значение(-я). *При:* заданных планах функционирования системы в заданных возможных условиях изменения среды.

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(-ей) потенциала с переменными, задающими возможные характеристики проектных решений, в заданных возможных границах их изменений (например, в диапазонах границ изменений характеристик календарных графиков функционирования СТС). *При:* заданном плане функционирования системы и заданных планах реализации операций при заданных (например, в виде календарных графиков) возможных изменениях среды.

Вербальная постановка задачи обоснования характеристик функционирования системы, обеспечивающих лучшие значения потенциала системы. Дано: Технология функционирования системы, в том числе информационная технология функционирования системы; возможные изменения среды; множество допустимых значений

характеристик проектных решений, в заданных допустимых — в соответствии с ограничениями — границах их изменений (например, допустимых характеристиках графиков функционирования СТС). *Найти:* Решение в виде планов функционирования (план — совокупность способов реализации информационных и неинформационных операций при возможных изменениях среды), обеспечивающие наилучшие значения показателя (показателей) потенциала системы. *При:* заданных возможных планах функционирования системы и заданных возможных планах реализации операций при заданных возможных изменениях среды.

Вербальная постановка задачи синтеза характеристик системы и её функционирования, обеспечивающих требуемый потенциал системы при изменениях системы и её среды. Дано: Возможные изменения системы, технология функционирования системы, возможные изменения среды; множества возможных значений переменных. Под переменными понимаются ранее классифицированные характеристики (элементов, отношений между элементами, последовательностей таких отношений) системы, которые могут выбираться при принятии проектных решений. *Найти:* Решение в виде состава, характеристик системы и планов её функционирования, обеспечивающее наилучшие значения показателя (-ей) потенциала совершенствуемой системы. *При:* заданном возможном составе и характеристиках системы, и заданной возможной технологии её функционирования при заданных возможных изменениях среды.

Теоретико-множественная формализация проблемы разработки научных основ решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и принятия проектных решений в изменяющихся условиях. Метод теоретико-множественной формализации состоит в описании основных концептов и отношений теоретико-множественными формами — множествами, векторами, отношениями, отображениями, функциями — и увязывании этих форм (математических объектов) таким образом, что в результате теоретико-множественной формализации был получен комплекс теоретико-множественных форм решения задач исследования (т.е. оценивания, анализа показателей потенциала СТС, обоснования с использованием показателя потенциала СТС), позволяющий описать её так, что 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 (описывающие виды теоретико-множественных моделей, отношений между их элементами) так, чтобы они соответствовали связанным требуемыми отношениями элементам (вершинам, дугам, рёбрам, гипердугам) создаваемых теоретико-графовых моделей. Это даёт возможность перейти от теоретико-множественных форм к теоретико-графовым моделям проблемы исследования потенциала. Теоретико-множественная модель — это предикат первого порядка, который является «агрегатом», моделью, которая является деревом экспликации (раскрытия) денотатов понятий задачи исследования потенциала СТС. Вершины этого дерева ассоциированы с предикатами нулевого и первого порядка, а рёбра ассоциированы с отношением экспликации, и обратно, импликации (следования) между вершинами. Дерево экспликации денотатов соответствует дереву экспликации схем порождения денотатов. Вершины дерева экспликации схем ассоциированы с теоретико-множественными моделями, являющимися схемами, представляющими концепты, соответст-

вующие вершинам дерева экспликации концептов соответствующей задачи исследования потенциала СТС, а рёбра дерева экспликации схем ассоциированы с отношением декомпозиции и композиции схем. Таким образом, теоретико-множественная модель исследования потенциала – это множество трёх предикатов первого порядка: предиката – модели задачи оценивания потенциала СТС; предиката – модели задачи анализа потенциала СТС и, наконец, предиката – модели задачи синтеза СТС, обладающей требуемым потенциалом. Экспликация концептов реализована на основе нотации интеллект карт (MindMaps) представления концептов. В результате использования предложенного метода теоретико-множественной формализации разработаны теоретико-множественные модели изменяемой системы и изменяющейся среды, задач оценивания, анализа потенциала и синтеза характеристик систем по показателям потенциала, а затем, на их основе, постановки задач исследования потенциала в теоретико-множественной форме.

Основные теоретико-множественные объекты, описывающие систему и её среду: 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, имеющая структуру с подмножествами). $C(O^e)$ – множество характеристик элементов среды — пометка графа, описывающего состав элементов среды. $C(O^S)$ – множество характеристик элементов системы — 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 — и представляющих собой подмножество (заданное ограничениями) $\mathcal{B}(C(O^e))$. $S^S \in \mathcal{B}(C(O^S))$ – множество возможных состояний элементов системы. $S := S^S \cup S^e$ – множество возможных состояний как системы, так и среды системы. u – универсальный многомерный под индекс (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 (отношений) между состояниями системы и среды (возможно, имеющее структуру подмножеств). $A_u \subseteq M$ – результат действий элементов системы на другие её элементы и среды на систему (действий), совокупность возможных переходов τ_u в результате действий. $A_u \subseteq M$ – множество возможных переходов в результате действий. I_u – описание (предписание) действий элементов системы на другие её элементы — информация о том, как такое действие может выполняться и какие результаты могут быть получены в результате выполнения этих действий в различных 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. $I_u \subseteq I_u^o, I_u^{sb}, I_u^{se}, I_u^p, I_u^a$, 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 действия A_u , I_u^{se} – сведения о возможных альтернативных конечных состояниях действия A_u (из заданного начального состояния), I_u^p – сведения об альтернативных предписаниях, инструкциях, описаниях действий A_u . I_u^a – сведения о возможных альтернативных способах действия, т. е. какие конечные состояния действий могут быть реализованы из начальных состояний (какие возможны переходы τ_u из начального состояния).

$P(\hat{A}_u) = P(\hat{A}_1) \dots P(\hat{A}_i) \dots P(\hat{A}_n)$, $\sum_{i=1}^{|\hat{A}_i|} \hat{A}_i = 1$; $S_i^s(i_i, pi_u^s, \pi_u^e)$ – состояние системы в момент T_i , как результат реализации функционирования $i_i \in I_i$. $S_i^s(i_i, pi_u^s, \pi_u^e)/\hat{A}_i$ – состояние системы в момент T_i , как результат альтернативного функционирования $i_i \in I_i$ (результат события \hat{A}_i); $S_i^e(i_i, pi_u^e)/\hat{E}_i$ – состояние среды в момент T_i как результат альтернативного функционирования $i_i \in I_i$ (результат события \hat{E}_{ui}); $\hat{B}_{ui}(i_i, pi_u^s, \pi_u^e)/\hat{A}_i$ – событие, состоящее в том, что в результате альтернативного функционирования $i_i \in I_i$ состояние $S_i^s(i_i, pi_u^s, \pi_u^e)/\hat{A}_i$ будет соответствовать состоянию $S_i^e(i_i, pi_u^e)/\hat{A}_i$ согласно описанию \mathcal{R} такого соответствия с использованием требуемых отношений, заданное дважды неопределённым вероятностным предикатом, описывающим такое соответствие $p(S_i^s, S_i^e, i_i; \mathcal{R})$:

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

Основные элементы теоретико-множественной модели функционирования системы. Теоретико-множественная модель функционирования системы согласно плану π_u^s/\hat{E}_i в результате возмущающего воздействия среды согласно модели действий среды π_u^e - кортеж:

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

Эта модель позволяет оценить показатель эффективности $w(I_u^{er*}/(\hat{E}_u) \cup (\hat{A}_u))$ 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 $\hat{B}_{[ui]}$ зависимы:

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

где универсальный под индекс u пробегает подпоследовательность переменных значений под индекса — 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 $w(u)$ – вероятностная (в Байесовском смысле) мера, которая может принимать значения из интервала $[0,1]$. Она представляет собой условную вероятность достижения цели при реализации заданных условий. Теоретико-множественная модель функционирования системы согласно

возможным планам Π_u^s/\hat{E}_{ui} в заданных условиях среды при заданной модели действий 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 построить закон распределения многомерной случайной величины вероятности сложного события $\hat{\omega}$:

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

Она описывает вероятность $P(\hat{B}_{ui}/((\hat{E}_u) \cup (\hat{A}_u))$ в различных альтернативных условиях реализации событий \hat{E}_{ui} , и с учётом вероятностей $P(\hat{A}_u)$ альтернатив. Закон позволяет оценить характеристики случайной величины (моменты распределения).

Основные элементы теоретико-множественной модели 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 $\pi_u^e \in \mathbf{P}i_u^e$ в моменты T_i : $\mathcal{M}^e = \langle T, U, \hat{E}_{ui} \in E_u, \{\hat{\mathcal{F}}^e(\pi_u^e)\}, \mathbf{P}i_u^e \in \Pi_u^e \rangle$.

Альтернативные события \hat{E}_u ведут к разным требуемым средой состояниям $\hat{S}_u^e = \langle S_{ui}^e \rangle$. Эти состояния — результат отображения $\hat{O}^e(\pi_u^e): \pi_u^e \xrightarrow{\hat{O}^e} \hat{S}_u^e$ сценариев 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. Отображение \hat{O}^e сценариев функционирования в состояния среды реализуется с использованием теоретико-графовой модели состояний при реализации календарного плана функционирования среды. Далее предполагается, что сценарий функционирования среды задан в виде упорядоченной последовательности действий в среде. В результате *теоретико-множественная модель функционирования системы в изменяющихся условиях среды* (в соответствии с множеством планов Π_u^s реализуемых в изменяющихся условиях среды \hat{S}_u^e , описанных \mathcal{M}^e) – это кортеж $\mathcal{M}^{sef}(\mathcal{M}^e)$:

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

Эта модель позволяет оценить многомерную вероятностную меру $\hat{\Omega}$:

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

где под индексы принимают значения (как переменные) элементы $pi_u^e \in \Pi_u^e$ и возможные последовательности состояний, реализуемых при функционировании - подиндексы u in \hat{A}_{ui} . Тем самым при оценивании потенциала под индексы задают 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 изменяющихся условиях \hat{E}_{ui} среды, возникающих при реализации действий среды в соответствии с различными моделями действий среды $\pi_u^e \in \mathbf{P}i_u^e$ – кортеж $\mathcal{M}^{seft}(T_u)$:

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

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

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

в которой под индексы пробегают разные конечные множества (измерения), описывающие величины T_u , $pi_u^e \in \Pi_u^e$ и возможные u в последовательностях событий \hat{A}_{ui} , т. е. для возможных измерений индекса U , определяющего номера возможных значений многомерной вероятностной меры в массиве, описывающем изменения этой меры от возможных воздействий среды и изменений условий среды во времени.

Постановка задачи оценивания потенциала в теоретико-множественной форме связывает значение показателя потенциала СТС в общем виде с заданными сведениями, обозначенными выше, как основные множества, описывающие систему и среду, благодаря использованию множеств, предикатов, отображений без указания конкретных значений числовых зависимостей между характеристиками и конкретных индексов элементов введённых множеств.

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

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

где $\widehat{\Omega}$ – многомерная мера (многомерная случайная дискретная величина значений вероятностной или возможностной меры в различных условиях). Эта мера определена на измерениях (под индексах) $u \in U$ заданных для разных условий и O, C, S, M и значений $T_i \in T, \Pi^s, \Pi^e$. Под индексы — 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

$$\hat{O}^s(\pi_u^s, \pi_u^e): \langle \pi_u^s \times \pi_u^e \rangle \xrightarrow{\hat{O}^s} \hat{S}_u^s, \text{ где } \hat{S}_u^s = \hat{S}_{ui}^s -$$

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 мер согласно выражению 1 в измерениях, задаваемых под индексами u . Эти выражения формируют значения вероятностной меры согласно 2,3,4 и 5.

$C(\widehat{\Omega}(T; O, C, S, M))$ – значение одной из характеристик многомерной вероятностной меры $\widehat{\Omega}(T; O, C, S, M)$ например момент или другие характеристики распределения $\widehat{\Omega}(T)$. $C(\widehat{\Omega}(T; O, C, S, M))$ – множество характеристик. Например, если $C(\widehat{\Omega}(T)) \in C(\widehat{\Omega}(T; O, C, S, M))$ – это математическое ожидание $\widehat{\Omega}(T)$, то:

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

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

Задача оценивания может быть представлена, как реализация композиций отображений $\mathbb{O}(\mathcal{K}) \circ D(\mathcal{K})$. *Постановка задачи анализа в теоретико-множественной форме.*

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

$$\delta(O, C, S, M, T) = \{\widehat{\Omega}(T; O, C, S, M) - \widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y), \quad (8)$$

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

где $\widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y)$ – многомерная вероятностная мера (многомерная случайная дискретная величина значений вероятностной меры в случайных условиях разного

вида), заданная с использованием под-индексов $y \supset u \in U$. Эти под индексы O_y, C_y, S_y, M_y порождены, как дополнительные "измерения" по координатам $y \in Y$, полученные, как соответствующие — дополнительные к u — переменные под индексы, описывающие переменные T, P^s, P^e величины мер согласно выражению 1 для номеров индексов, заданных u . С использованием предикатов рассчитываются 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 y в сравнении с u . Координаты соответствуют возможным значениям переменных O, C, S, M, T (возможным проектным решениям).

$F_y(\widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y))$ — функция аппроксимации. Если $O_y(\Omega, D, \mathcal{K})$ — операция нахождения функции аппроксимации, то задача анализа может быть представлена, как реализация композиций отображений $O_y(\mathcal{K}) \circ \mathbb{O}(\mathcal{K}) \circ \mathcal{D}(\mathcal{K})$.

Постановка задачи принятия проектных решений о характеристиках системы

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

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

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

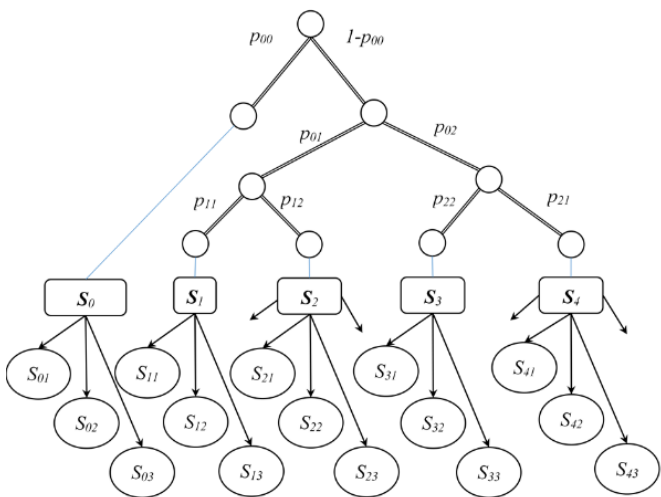
Где $\langle O^*, C^*, S^*, M^* \rangle$ — вектор оптимальных значений переменных, взятых из множества альтернатив $\mathcal{A} = \{O, C, S, M\} = \mathcal{A}_y, y \in Y$; где $y \in Y$ — "измерения", соответствующие возможным элементам $\mathcal{A} O, C, S, M$; $\widehat{\Omega}(T; O_y, C_y, S_y, M_y)$ — многомерная вероятностная мера, определённая на измерениях $y \supset u, u \in U$ для O_y, C_y, S_y, M_y дополнительных измерений координат по $y \in Y$ как соответствующих, дополнительных к u) переменных координат и T, P^s, P^e координат (как переменных), имеющих вид значений выражений 1 по координатам, определённым индексом u . Эти выражения 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 (-ов) \mathcal{A} , удовлетворяющих критерию оптимизации Cr , то задача анализа может быть представлена, как реализация композиций отображений $\mathcal{F}_w(\mathcal{A}, Cr, \mathcal{K}) \circ \mathbb{O}(\mathcal{K}) \circ \mathcal{D}(\mathcal{K})$.

В третьей главе предложены основы методологии исследования потенциала СТС. Описан метод решения задач совершенствования СТС, функционирование которых изменяется в результате воздействий среды. Метод базируется на разработанных методологических основах решения проблемы исследования потенциала, **второй результат**). Методологические основы включают совокупность концептов и принципов решения задач совершенствования СТС, функционирование которых изменяется в результате воздействий среды, как комплекса математических задач, требования к моделям и методам моделирования в этих задачах, к методам и технологиям решения сформулированных задач исследования, как математических задач, методы разработки графовых, параметрических, функциональных моделей СТС и её среды, функциональные модели СТС, функциональные модели среды СТС.

Разработан принцип схематизации моделирования, состоящий в том, что основой для применения методов моделирования являются схемы, задаваемые в виде диаграмм (при концептуальном моделировании), а затем — схемы в виде (помеченных) конечных графов, описывающих исходные модели и метод порождения модели на основе исходной. В результате использования предложенных методов разработан

комплекс моделей СТС и её функционирования в изменяющейся среде, выполнена классификация математических моделей, позволяющих реализовать решение задач исследования потенциала. Указанные модели делятся по их виду в последовательности их порождения на модели: концептуальные, алгебраические теоретико-графовые, параметрические теоретико-графовые, функциональные теоретико-графовые, программные. В этом порядке перечисления с использованием предложенных методов они и порождаются. Полученные модели, позволяющие решать задачи оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования характеристик СТС, обладающих требуемым потенциалом, как математические задачи – **третий результат научных исследований**.

Примеры теоретико-графовых алгебраических и параметрических моделей. Пример фрагмента теоретико-графовой модели среды, используемый в примере оценивания потенциала СТС. Рассмотрим пример модели функционирования среды СТС при следующих исходных данных: Задана одна действительная G_0^d 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, вызванных функционированием среды для достижения целей её частей. Эти действия, как правило, неизвестны, но известны вероятностные характеристики сценариев функционирования среды. Пример модели среды СТС показан на рис. 4.



$$S_{01}^d = \langle C_{01}^d, R_{011}^d, R_{012}^d, R_{013}^d, R_{014}^d, R_{015}^d \rangle;$$

$$S_{02}^d = \langle C_{02}^d, R_{021}^d, R_{022}^d, R_{023}^d, R_{024}^d, R_{025}^d \rangle;$$

$$S_{03}^d = \langle C_{03}^d, R_{031}^d, R_{032}^d, R_{033}^d, R_{034}^d, R_{035}^d \rangle.$$

Рисунок 4 — Пример теоретико-графовой модели функционирования среды СТС

Сценарии в верхней части рисунка – последовательности действий в среде СТС. Эти действия могут привести к изменению цели. Сценарии показаны жирными линиями без стрелок. Принято допущение, что, во-первых, если цель становится действительной (перестав быть лишь возможной), а затем перестаёт быть действительной (меняется на другую из бывших возможными), то эта цель не может снова стать действительной, а значит исключается и из возможных. Во-вторых, предполагается, что если произошло изменение цели (одна из возможных целей стала действительной, а эта действительная перестала быть действительной), то информационные операции и значит СТС не могут пропустить это изменение без реакции. В-третьих, предполагается, что цели изменяются в течение временного интервала вне выполнения информационных операций по проверке актуальных целей, поскольку эти проверки пренебрежимо малы по длительности. Сценарии характеризуются вероятностями: $p_{00}, p_{01}, p_{11}, p_{12}, p_{02}, p_{21}, p_{22}$, где индексы показывают возможные переходы между

состояниями среды в результате действий в среде (в общем случае действия неизвестны). Детерминированные моменты проверки состояния системы S^S и её среды S^e следующие: $T := \{T_0, T_1, T_2, T_3\}$. Момент T_0 соответствует началу функционирования. Возможные последовательности требуемых состояний среды и возможности реализации таких последовательностей: $S_{01} := \langle S_{01}^d, S_{02}^d, S_{03}^d \rangle$; $p = p_{00}$, где индексы представляют сценарии и номера требуемых векторов состояний, соответствующие будущим — по отношению к моменту смены цели — моментам времени. Например, этими требуемыми векторами состояний могут быть состояния на Рис.7: C^d - требования к стоимости, R^d - требования к количеству выпущенных изделий.

Примеры фрагментов функциональных моделей. На рис. 5 а) и б) приведена схема технологических маршрутов между информационными и неинформационными рабочими местами (PM) СТС и модель базового функционирования СТС, используемые в примере расчёта потенциала СТС.

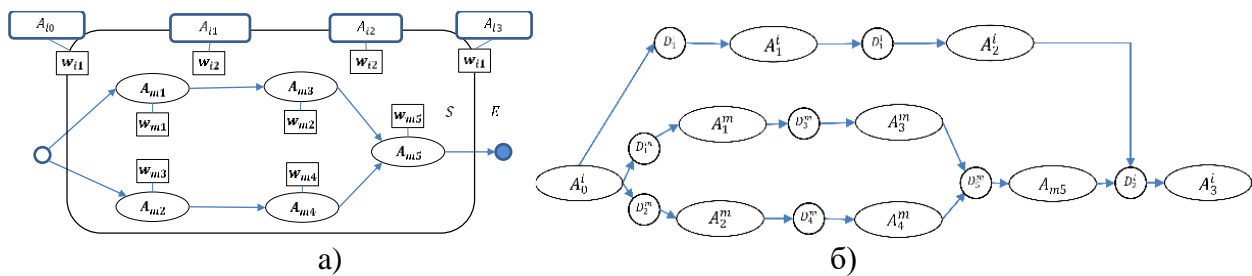


Рисунок 5 — Пример схем технологических маршрутов а) и функционирования СТС с учётом информационных операций б)

На схеме а): $w_1^m - w_5^m$ — PM, предназначенные для выполнения неинформационных (материальных) ТЛОп; w_1^i, w_2^i — PM, предназначенные для выполнения информационных операций. $A_1^m - A_5^m$ — неинформационные ТЛОп;

A_1^i, A_2^i — Информационные ТЛОп; S — система; E^c — среда системы.

Эффекты ТЛОп задаются, как случайные векторы $A_i^m \sim \langle \hat{T}, \hat{C}, \hat{R} \rangle$;

$F_{\hat{t}_i^m}(C) = f_b(T, t_i^m); F_{\hat{c}_i^m}(C) = f_b(C, c_i^m); f_b(C, c_i^m)$ — функция распределения t_i^m, \hat{c}_i^m с векторами параметров T, C соответственно; календарный план имеет векторную форму: $\langle A_1^m, T_1 \rangle, \dots, \langle A_5^m, T_5 \rangle$. Здесь T_i — календарный момент начала $A_i^m, i = \overline{1,5}$. Технологический маршрут имеет вид одной информационной и двух неинформационных цепочек. Задан технологический маршрут в виде 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 PM 5). На схеме б) приведена модель функционирования СТС с учётом ожиданий (D_i). Модель возможных ТЛОп (в том числе — ожиданий), выполняемых одновременно при функционировании СТС разработана в виде дерева возможных сечений модели функционирования СТС. Эта модель позволяет сформировать возможные состояния при альтернировании функционирования (прерывания исходного функционирования СТС и перехода к новому функционированию). Она имеет комплексный вид, её комплекс приведён на рис. 6 а), а симплекс (часть комплекса) на рис. 6 б). \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 ; Сеть,

описывающая функционирование после прерывания, представлена на рис. 10 а). С использованием полученных фрагментов графовых моделей рассчитываются ассоциированные с моделями характеристики: \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 $b_j^c = A_{k_j}^m, k = \overline{1,5}$ $A_{k_j}^m$ - ТНМО A_m , выполняемая на k -м РМ и соответствующая ветви b_j^c . \hat{s}_j^c - это состояние СТС, порождаемое выполняемыми ТНМО, соответствующими ветви b_j^c .

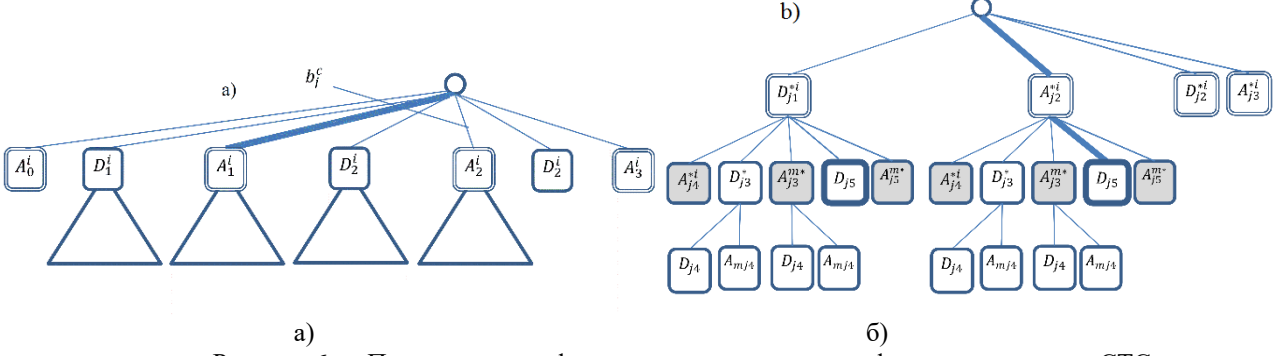


Рисунок 6 — Пример модели формирования альтернатив функционирования СТС

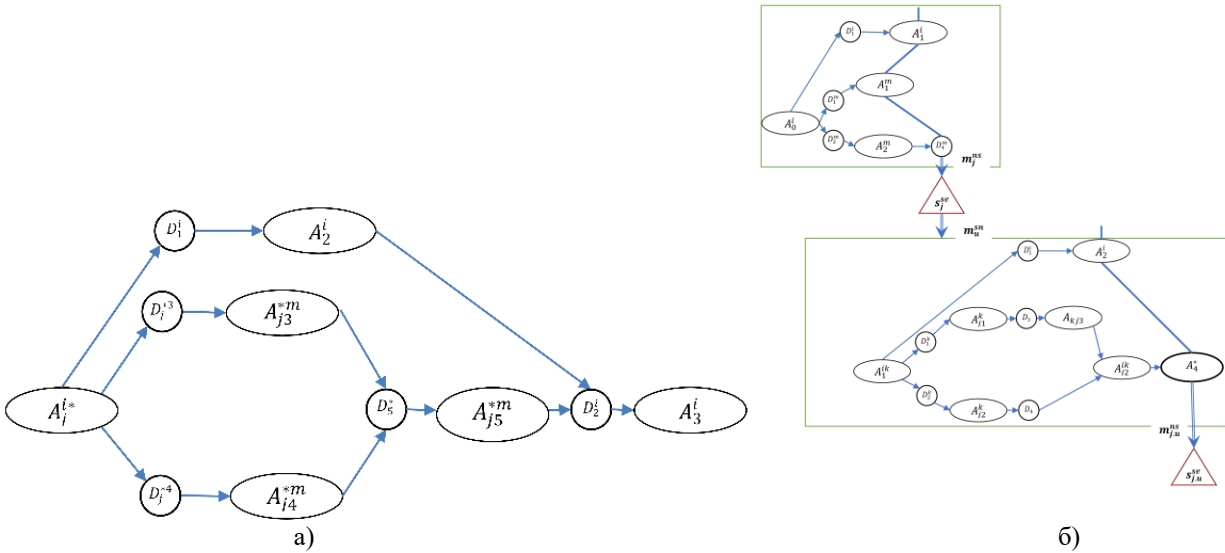


Рисунок 7 — Модель продолжения функционирования а), фрагмент цепи семейства альтернативных стохастических сетей операций б)

j - номер возможного состояния СТС; J - количество возможных состояний СТС; T - момент времени на интервале функционирования СТС.

Для расчёта скалярного показателя потенциала W СТС с использованием ассоциированных с сетями значений вероятностных мер следует рассчитать:

$$R_i^c := \langle \hat{R}_{ik}^c : k = \overline{1,5} \rangle; \hat{s}_i^c := \langle \hat{C}_i^c, R_i^c \rangle; \hat{C}_i^c := \sum_{j=1}^J \hat{c}_{ij}^c \cdot p_j(s_j^{cc}, T_i^d);$$

$$p_j(s_j^c, T_n^n) = P(\hat{T}_{ij}^c \leq T_n^n) : a_{ij} \in s_j^c.$$

$$\hat{T}_{ij}^c = \hat{T}_m^c = \hat{t}_m^c + \hat{T}_{m-1}^c, m = \overline{m1, m4, d1, d4, m5}; \quad (12)$$

$$\hat{T}_5^c = \max\{\hat{T}_3^c; \hat{T}_4^c\} + \hat{t}_5^c, m = 5; \hat{R}_{mik}^c = \sum_{j=1}^J \hat{r}_{mijk}^c \cdot p_j(s_j^c, T_n^n);$$

$$W_i = P(\hat{C}_{mi}^c \leq \hat{C}_{mi}^d) \cdot \prod_{k=1}^K P(\hat{R}_{mik}^c \geq \hat{R}_{mik}^d); W = \prod_{i=1}^I W_i.$$

Предложено формализовать комплекс взаимосвязанных теоретико-графовых моделей с использованием семейств альтернативных стохастических сетей операций – вида введённого автором «расширения» графов (эшграфов) [12]. Совокупности построенных теоретико-графовых моделей позволяют рассчитать эффекты функционирования СТС в различных условиях, описываемых моделью среды СТС.

Вычисления выполняются на основе *функциональных моделей. Фрагмент функциональной модели среды СТС.*

$$P_{i+1}^b(T_{j+1}) = P_{i+1}^{cb}(T_{j+1})(1 - F_{i+1}^e(T_{j+1})) -$$

вероятность $P_{i+1}^b(T_{j+1})$ того, что к концу интервала $[T_j, T_{j+1}]$ началось состояние c_{i+1}^e и не закончилось, где $P_{i+1}^{cb}(T_{j+1})$ – накопительная вероятность начала $i + 1$ – го состояния в момент T_{j+1} :

$$P_{i+1}^{cb}(T_{j+1}) = \prod_{k=0, \bar{i+1}} F_k^b(T_{j+1}) \cdot P_{(i,i+1)}^a(T_j, T_{j+1}) = p_{i(i+1)k}^l P_{i+1}^b(T_{j+1}) -$$

вероятность перехода. $P_{in}^{ae}(T^H) = P_i^c(T^H)(1.0 - F_i^e(T^H))$ – вероятность актуализации n – й $f e_{in}$: $P_{in}^a(T^H)$ (вероятность того, что на момент окончания горизонта планирования T^H соответствующее $f e_{in}$ i – е действие среды всё еще длится. Здесь $P_i^c(T^H)$ – условная вероятность того, что к моменту T^H началось i – е состояние:

$$P_i^c(T^H) = \prod_{k=0, \bar{i}} F_k^b(T^H),$$

$F_k^b(T^H)$ – вероятность того, что все предшествующие i – му состоянию начались, включая само i – е состояние. $P_n^a = \prod_{i \in C_n} P_{(i,i+1)}^a(T_j, T_{j+1}) P_{in}^{ae}(T^H)$ – вероятность актуализации цепочки состояний, заданных строкой C_n^e .

$$\sum_{n: f e_{in} = \text{const}} \prod_{i \in C_n} P_{(i,i+1)}^a(T_j, T_{j+1}) = 1.0. \sum_{i=0, \bar{l}} P_i^{ae}(T^H) = 1.0.$$

Результат решения задачи – строки, содержащие условные вероятности. Строка порождается расчётом возможной реализации функционирования системы.

Фрагмент функциональной модели состояний рабочих мест при выполнении технологических операций. Каждый способ реализации операции a_i задаёт состояние при его реализации; $\hat{A}_i = (\hat{B}_{vi} \cap \hat{N}_i / \hat{B}_{vi})$, 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, все предшествующие по плану операции, включая саму a_i , начались; \hat{B}_{vi} – комплексное событие: операция началась. Значит, началась операция a_i при условии, что предыдущие по плану операции из множества V_i операций, предшествующих a_i – ой операции, тоже начались.

$p_i^a = P(\hat{A}_i)$, $p_i^b = P(\hat{B}_i)$, $p_i^{ne} = P(\hat{N}_i)$; $F_i^b(T_m)$, $F_i^e(T_m)$ – функции распределения вероятностей моментов начала и окончания операции a_i . Значение рассчитывается к моменту T_m . Рассмотрены типы структур: 1. «СтартФорк»; 2. «СтартПосл»; 3. «ПослПосл»; 4. «ПослФорк»; 5. «Ожидание»; 6. «ДжойнПосл»; 7. «ДжойнФорк»; 8. «ПослФин»; 9. «ДжойнФин».

$$p_i^a = p_i^b p_i^{ne}, \text{ где } p_i^{ne} = 1 - p_i^e.$$

1. Для «СтартФорк» структур, ассоциированных с $s = v_i, i = 0$: $p_i^b = 1$; $p_i^e = 1$.
2. Для «СтартПосл» структур, ассоциированных с $s = v_i, i = 0$: $p_i^b = 1$; $p_i^e = 1$.
3. Для «ПослПосл» структур, ассоциированных с $v_i, i > 0$,

$$p_i^b(T_m) = \prod_{j \in C_i} F_j^b(T_m), p_i^c(T_m) = p_i^c(T_m) F_i^b(T_m); p_n^c(T_m) = p_i^c(T_m) F_i^b(T_m).$$

$p_i^e(T_m) = F_i^e(T_m)$, $F_i^e(T_m)$ – в соответствии с допущениями, значение нормально распределённой функции распределения вероятностей момента времени \hat{T}_i^e окончания операции, ассоциированной с v_i в заданный момент T_m .

4. Для «ПослФорк» вершин расчёт аналогичен варианту (3), но множество $N_i(v_k)$ последующих вершин для вершины v_k содержит более одной вершины $v_{ip}(v_k)$.

5. Для «Ожидание»: $p_i^{bw}(T_m) = \prod_{j \in C_i} F_j^b(T_m) = \prod_{j \in V_i} F_j^{buw}(T_m)$, $p_i^{new}(T_m) = 1 - p_i^{ew}$.

6. Для структур «ДжойнПосл» $p_i^{bj} = \prod_{j \in Pr_i^w} F_j^b(T_m)$, где Pr_i^w – полное множество различных путей в v_i с уникальными (попарно не пересекающимися по вершинам Pr_i^w .) путями. Для «ДжойнПосл», $p_i^e = F_i^e(T_m)$; $p_i^{ne} = 1 - p_i^e$;

7. «ДжойнФорк» структура рассчитывается, как комбинация Джойн и Форк.

8. Для «ПослФиниш» структур: $p^{fb} = F_j^e(T_m)p_j^b(T_m)$, т. е. вероятность, что предыдущая операция v_j закончилась при условии, что она началась.

9. Для «ПослФиниш» и «ДжойнФин» $p^{fne} = 1$; $p^{fa} = p_f^b p_f^{ne}$. На основе полученных моделей разработана модель состояния СТС.

Фрагмент функциональной модели состояний рабочих мест при выполнении технологических операций. CS – вид подмножеств CS_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 может оказаться в одном сечении. N – вид безусловных подмножеств (всех остальных типов). Так, в частности, CJ – вид подмножеств Cj_j «Джойнов» в заданном сечении. Если элемент может относиться и к безусловному, и к условному типу, то его следует рассчитывать, как условный. 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 C , 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 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). 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_n , исключаются из множества CB : $CB^* = (CB \setminus CW) \cup N$. Для вершин CFS вида. $p_j^b = \prod_{i \in CF_f} p_i^{b^*}, j \in CF_f, i \in CF_f$. 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 до вершин подмножества вида CF .

Любая j (но одна) такая общая часть для вершины – «сестры» 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 один (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». Здесь, 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 $P^{cjb} = p_j^{bj}$: $P^{ce}(T_m) = P^{ceW}(T_m)P^{ce\bar{W}}(T_m)$.

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 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 функционирования системы по заданной сети операций N_u . Кроме того, в третьей главе описаны *методы решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования характеристик СТС, обладающих требуемым потенциалом* (результат 4). Они включают метод построения и преобразования моделей, метод фрагментарно контролируемого случайного поиска, методы оперирования случайными величинами, метод представления и использования результатов решения задач. Метод фрагментарно контролируемого случайного поиска проиллюстрирован новой частью алгоритма случайного поиска, использующего особенности предложенных функциональных моделей (рис. 8).



Рисунок 8 — Метод фрагментарно контролируемого случайного поиска

Метод оперирования случайными числами проиллюстрирован схемой формирования значений функции принадлежности для суммы нечётких чисел (рис. 9).

В четвёртой главе описаны технологии и методики решения практических задач исследования потенциала СТС и технологии решения таких задач в приложении к принятию проектных решений (результат 5). Типовая методика включает:

комплекс частных концептуальных и математических моделей, комплекс частных методов использования моделей, постановку решаемой частной практической задачи, описание подготовки исходных данных решаемой практической задачи, описание процедур интерпретации результатов решения математической задачи для практики, пример решения задачи. Рассмотрим их на примере процедур подготовки исходных данных, выполнения расчётов и интерпретации результатов решения задачи оценивания потенциала. Фрагмент исходных данных о наименованиях, составе операций и их возможных последовательностях показан на рис. 10.

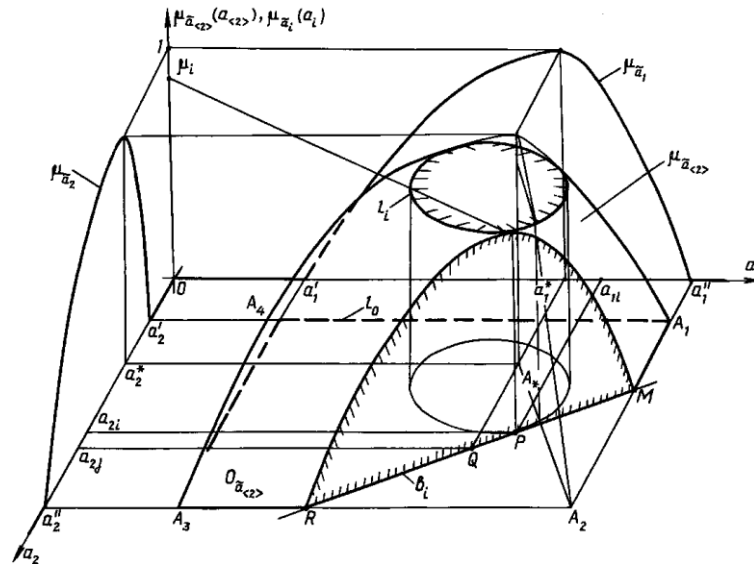


Рисунок 9 — Схема формирования результата при реализации сложения случайных чисел

Фрагмент модели среды представлен на рис. 11 в виде возможных последовательностей действий а) и параметров требований среды б), заданных, как функции возможных реализаций функционирования среды.

Фрагмент таблиц, формирующих множество выбора параметров способов реализации технологических операций основных функционирований по достижению заданных целей (а) и переходных функционирований от достижения заданной цели к цели, её сменяющей (б) показан на рис. 12. Соответствия возможных сетей достижения целей и номеров, входящих в них операций, соответствие реализаций функционирования среды в виде последовательностей переходов среды и выдвигаемых в результате номеров вариантов требований к СТС показаны в табл. 1. Случайные моменты T_j времени смены расчётных интервалов («сетка») подобраны так, что в каждом из интервалов, задаваемый T_j либо возможен один из переходов между возможными состояниями среды, либо на интервале переходов нет. При этом структура возможных состояний СТС (заданная сечениями) для каждого интервала неизменна.

Горизонт планирования T^H задан, $\sum_{i \in 1:\bar{1}} T_i^{el} \leq T^H$, где T_i^{el} — левая граница интервала времени выполнения i — го действия a_i^e . В результате каждой полной ветви $C_b^e \in Tr$ 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. Смена i -го номера s_{bni}^e соответствует переходу между состояниями среды.

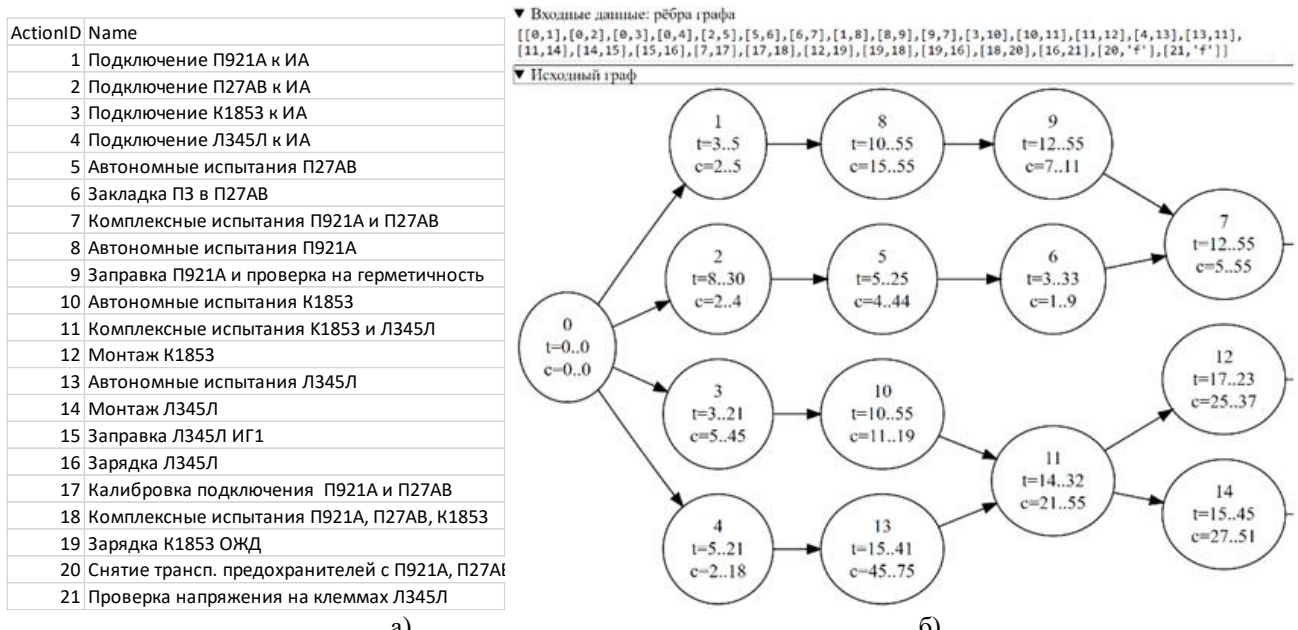


Рисунок 10 — Фрагмент исходных данных о составе операций (а) и их последовательности (б)

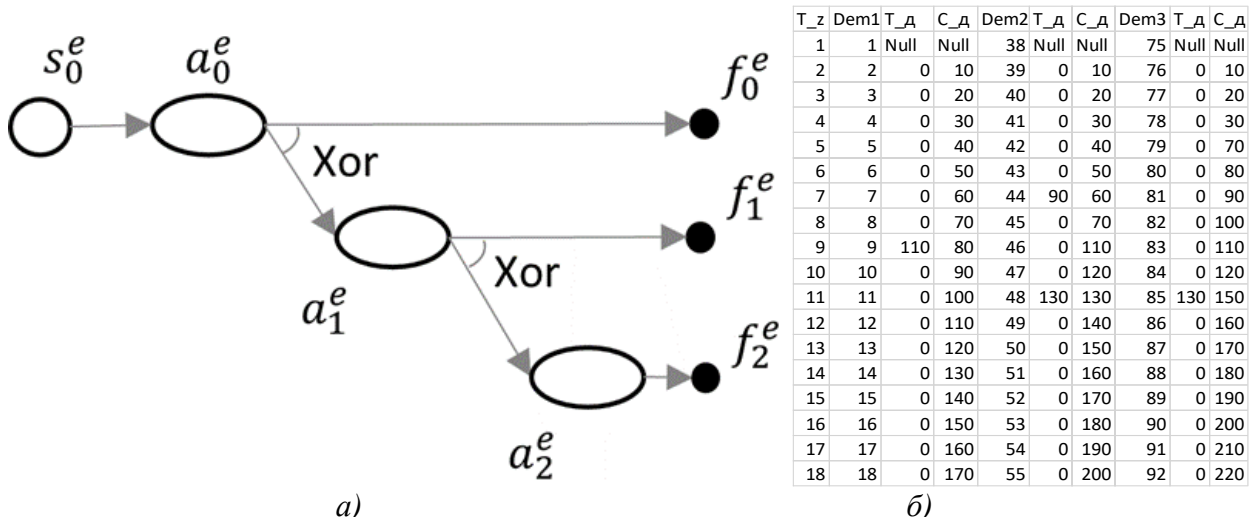


Рисунок 11 — Пример модели среды в виде последовательности действий а) и параметров требований среды б)

Для последующих расчётов необходима совокупность S^e возможных последовательностей S_{bn}^e ячеек s_{bni}^e для всех полных ветвей $S_b^e \in Tr$ дерева Tr . Одной ветви S_b^e соответствует несколько S_{bn} , полученных перестановками моментов переходов по ячейкам. Эти совокупности задают таблицу состояний и переходов среды, пример которой представлен ниже.

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 (табл. 3), полученная на основе табл. 2 и таблицы сечений текущей сети технологических операций.

AmodelD	ParTa	ParTb	ParCa	ParCb		
a_mi	t_a	t_b	c_a	c_b		
1	3.00	5.00	2.00	5.00	536	Подготовка и согласование Плана р 48 hrs
2	2.00	3.00	5.00	9.00	540	Ведение БД спецификаций, расчеты 80 hrs
3	1.00	2.00	12.00	21.00	541	Ведение БД по материально-технол 80 hrs
1	8.00	30.00	2.00	4.00	542	Ведение БД трудовых нормативов 80 hrs
2	6.00	25.00	3.00	4.00	543	Расчеты материальных калькуляций 80 hrs
3	5.00	25.00	7.00	21.00	544	Расчеты производственной програм 80 hrs
4	4.00	16.00	21.00	55.00	545	Раскрытие производственных прогп 80 hrs
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		

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	####
6	1	2.00	12.00	1.00	4.00
	2	1.00	15.00	1.00	####

Рисунок 12 — Фрагмент исходных данных о характеристиках операций основных сетей (а) и операций сетей переходных действий (б)

Таблица 1 — Соответствие возможных сетей и номеров операций (а), переходов состояний среды и требований (б)

а)						б)					
V_i	N_3	N_4	N_5	N_6	N_7	T_z	C_p, C_q	G_n, G_m	Dem1	Dem2	Dem3
1	1	1	26	1	1	1	C1, C2	G1, G2	1	38	75
2	2	2	27	2	2	2	C1, C2	G1, G2	2	39	76
3	3	25	25	25	3	3	C1, C2	G1, G2	3	40	77
4	4	4	4	4	4	...	...	...	...	...	...
5	5	5	28	5	5	37	C1, C2	G1, G2	37	74	111
...						
33	NULL	NULL	NULL	37	37						

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 — номера ячейки, переданного 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 табл. 3. 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. Результат выполнения информационной операции в примере задаётся виде вектор – функции, описанной табличным соответствием фрагментов n –й строки $C_{bn}^e [c_{binj}^e]$: $\langle C_{bn}^e [c_{binj}^e], c_{iu}^s \rangle \rightarrow \langle D_i^g, N_i^v, N_i^g; i = \overline{1, C_I} \rangle$.

Таблица 2 — Пример представления возможных последовательностей состояний среды

№	$\langle c_i^e \rangle^{f_b} / T_j$	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 3 — 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	...	...	...	...	...	...
...

Это отображение между строками $C_{bn}^e [c_{bnij}^e] = \langle c_{bn11}^e \dots \times \dots c_{bnij}^e \rangle$ состояний среды до состояния c_{bnij}^e в ячейке табл. 1, каждым возможным состоянием системы в моменты смены состояния среды, требований и заданий вида $\langle J_{il}^g, D_i^g \rangle$: $D_i^g = \langle (D_{i1}, T_{i1}), \dots, (D_{ip}, T_{ip}) \rangle$, где 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 (табл. 1, 2), состояний системы и среды (табл.3) и модель результата информационной операции (фрагмент в табл.4) задают основные элементы структуру данных для расчёта потенциала СТС. Указанные отображения реализуются для всех возможных переходов в табл. 2,3 и для всех возможных сечений. В результате из табл. 3 и 4 получают таблицу со всеми последовательностями состояний СТС, среды и возможностями их актуализации.

Таблица 4 — Табличное представление отображения информационной операцией содержимого строк табл.1,2

$D_{11}(T_{11})$...	$D_{1m}(T_{1m})$	N_1^v	N_1^g	...	$D_{i1}(T_{k1})$...	$D_{ip}(T_{ip})$	N_i^v	N_i^g	...
------------------	-----	------------------	---------	---------	-----	------------------	-----	------------------	---------	---------	-----

Таблица 4 — Таблица состояний альтернирования и возможностей их актуализации

m	A_{jp}	$\langle c_{zp}^s \rangle$	$\prod P_{xij}^a$	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 . $\prod_{px} P_{pxij}^a$ – 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 со структурой:

c_{jim}^e	G_v	N_i^v	N_i^g	T_1	C_1^d	V_1^d	...	T_n	C_n^d	V_n^d	$W_1(T)$...	$W_n(T)$
-------------	-------	---------	---------	-------	---------	---------	-----	-------	---------	---------	----------	-----	----------

Здесь G_v – описание цели, T_n, C_n^d, V_n^d – требования к функционированию СТС 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 $\Omega(C^e, If^e, T)$, 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 [40-44]. Расчёт характеристик потенциала системы с использованием разработанного макета программного комплекса проиллюстрирован на рис. 12–15. В виде примеров полученных зависимостей мер возможности для разных «срезов» распределения $\Omega(C^e, If^e, T)$.

На рис. 12 а) показано число попаданий мер возможности реализаций функционирования в интервалы мер возможностей актуализации и мер соответствия. Виден явно выраженный пик числа попаданий и «след» из редких случаев реализации. На рис. 12 б) проиллюстрирована зависимость комплексной меры возможности реализаций функционирования от составляющих её частей для последовательностей переходов состояний среды длиной 1. Серым выделена основная часть точек графика.

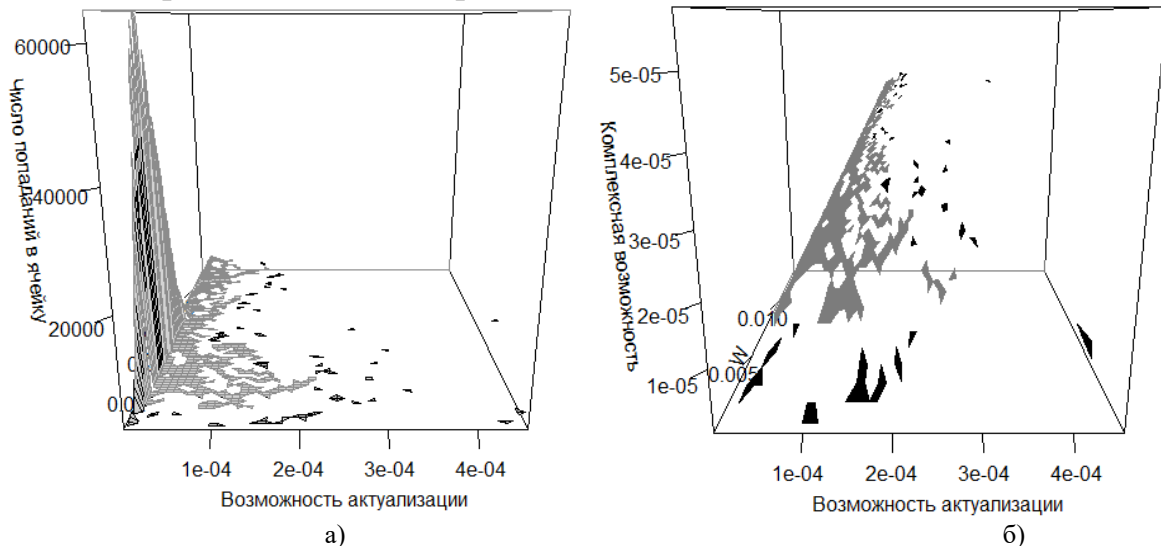


Рисунок 12 — Зависимость: числа реализаций от возможностей их актуализации и мер соответствия (а); комплексной меры от возможности актуализации и меры соответствия для последовательностей переходов длиной 1 (б)

На рис. 13 а) проиллюстрирована зависимость комплексной меры возможности реализаций функционирования от составляющих её частей для последовательностей переходов состояний среды длиной 2. Серым выделена основная часть точек графика. На рис. 13 б) показана аппроксимированная (методом kriging) поверхность зависимости комплексной меры возможности реализаций функционирования для последовательности переходов состояний среды длиной 1. На рис. 14 а) – длиной 2. На рис. 14 б) показана аппроксимированная поверхность зависимостей показателей потенциала для заданной упорядоченной последовательности улучшений СТС.

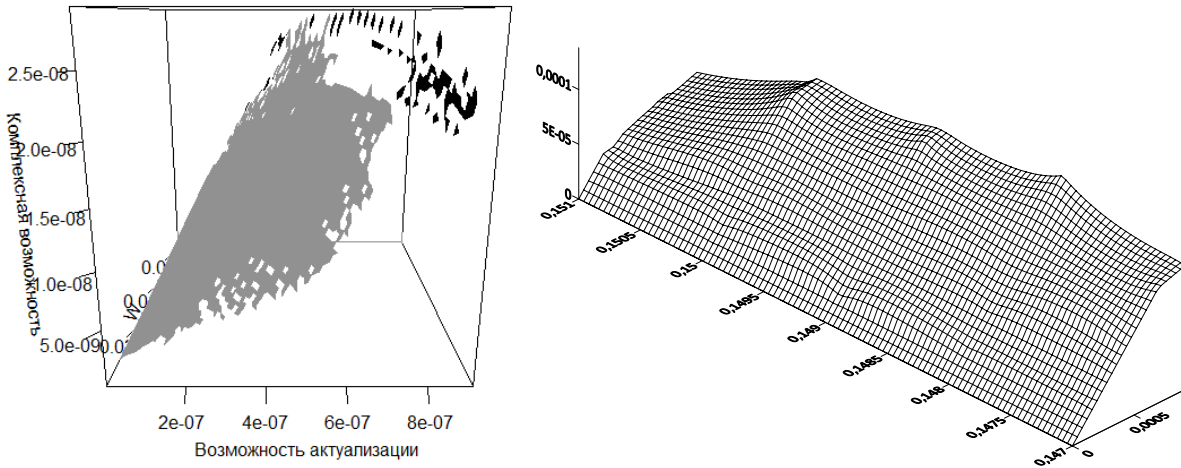


Рисунок 13 — Зависимость: комплексной меры от возможности актуализации и меры соответствия для последовательностей переходов длиной 2 (а); аппроксимированная (kriging) поверхность зависимостей мер возможности для последовательностей переходов длиной 1 (б)

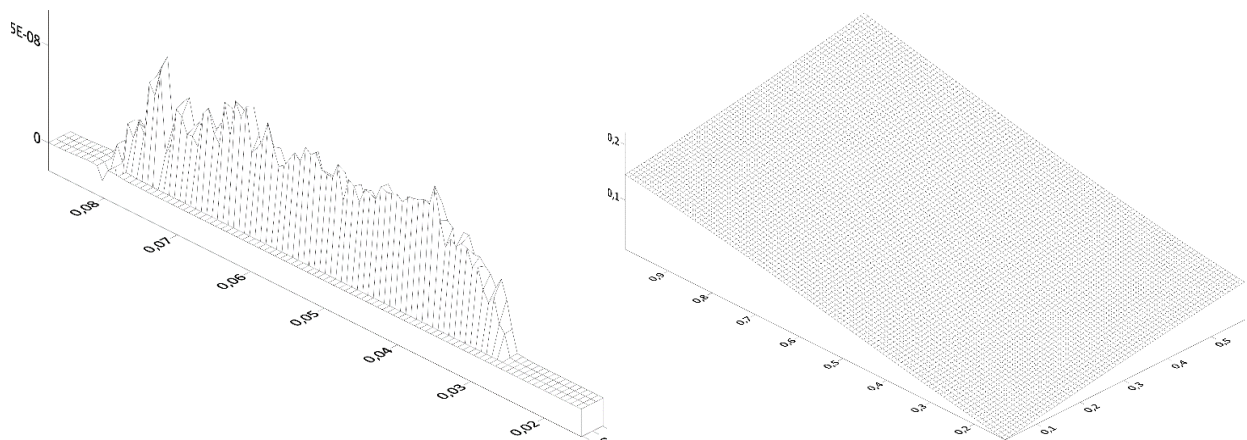


Рисунок 14 — Аппроксимированная (kriging) поверхность зависимостей мер возможности для последовательностей переходов длиной 2 (а); аппроксимированная (kriging) поверхность зависимостей мер возможности для упорядоченной последовательности улучшений характеристик CTC (б)

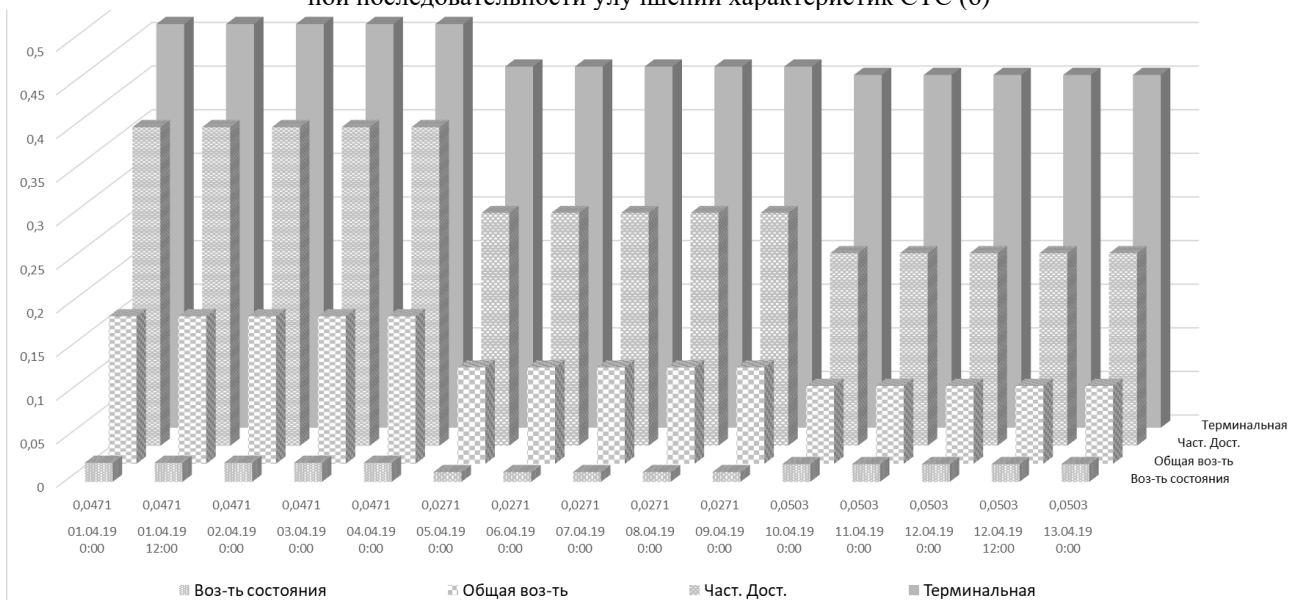


Рисунок 15 — Изменение мер возможности соответствия эффектов функционирования системы требованиям среды во времени для одной из реализаций функционирования среды

Примеры решений ряда прикладных задач исследования потенциала приведены в [7-10,13] (методики исследования риска и потенциала систем), [14-18] (методики исследования потенциала при модернизации), [19] (исследование потенциала и

конкурентоспособности) а также в более чем 30 НИР и ОКР, выполненных с участием автора работы. В *заключении* сформулированы основные результаты и выводы по работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа представляет собой научно-квалификационную работу, в которой *средствами разработанной автором в основах теории потенциала СТС решена научная проблема*, имеющая важное хозяйственное значение, то есть *устранено* существовавшее несоответствие — между имевшимися теоретическими средствами улучшения качества СТС в изменяющихся условиях среды, что может быть достигнуто благодаря улучшению такого свойства СТС, которое названо «потенциал СТС» — и теми теоретическими средствами, что требовались для корректной постановки и решения задач оценивания, анализа потенциала СТС и обоснования характеристик СТС, обладающих требуемым потенциалом, в приложении к принятию проектных решений.

В процессе решения сформулированной проблемы получены *следующие новые научные результаты, составляющие итоги исследования*:

1. Разработана 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 целенаправленных изменений 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. Предложен и апробирован 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 схем понятий; графы экспликации теоретико-множественных форм понятий.

3. Разработан и исследован 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. Разработаны 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. Предложены и обоснованы 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.

Полученные результаты соответствуют паспорту специальности «Системный анализ, управление и обработка информации».

Значение результатов, полученных в диссертации, 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 диссертации, для техно- и инфо- сферы 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 диссертации, 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 существенно 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 функционирования 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня Министерства образования и науки РФ:

1. Гейда А.С. Алгоритм оценивания качества обслуживания технической системы. / Гейда А.С., Лысенко И. В. // Известия вузов: «Приборостроение». 1992. № 3–4. с.3-8.
2. Гейда А.С. Модель изменения готовности технической системы в процессе её обслуживания / Гейда А.С., Лысенко И. В. // *Электронное моделирование*. 1993.Т.15. №2. с.70-73.

3. *Гейда А.С.* Модели, методы и информационные технологии оценивания эффективности проектов // *Информационные технологии и вычислительные системы.* – 2008, №3.– с.12-16.
4. *Гейда А.С.* Моделирование и оценивание эффективности комплекса мероприятий на основе алгебры нечётких чисел / Гейда А.С., Лысенко И. В. // *Известия вузов – Приборостроение, СПб.*– 2008, т.51, № 1. – с. 21–24.
5. *Гейда А.С.* Задачи исследования потенциала социально-экономических систем / Гейда А.С., Лысенко И. В. // *Труды СПИИРАН.* Вып. 10. СПб.: Наука, 2009. – с. 63–84.
6. *Гейда А.С.* Оценивание эффектов функционирования организационно-технических систем: концепция автоматизации/ Гейда А.С., Лысенко И. В. // *Труды СПИИРАН.* 2009.– Вып. 11. СПб.: Наука, 2009. – с. 63–80.
7. *Гейда А.С.* Оценивание эффективности комплекса мероприятий в условиях неопределённости/ 3.З. Багаутдинов, А.С. Гейда, И. В. Лысенко, О. В. Лысенко//*Системы управления и информационные технологии.* – Воронеж, 2009.–№ 34 (4). – с.36-41.
8. *Гейда А.С.* Исследование эффективности и риска проектов в сложных организационно-технических системах/ Багаутдинов 3.З., Гейда А.С., Лысенко И. В.//*Проблемы управления рисками в техносфере.* – СПб., 2009.–№ 4.–с.46-50.
9. *Гейда А.С.* Метод оценивания эффективности и риска проектов / 3.З. Багаутдинов, А.С. Гейда, И. В. Лысенко // *Управление риском.* – М., 2009.–№ 3.– с.73-79.
10. *Гейда А.С.* Оценивание социально-экономических потенциалов для аудита отраслевых и региональных стратегий развития / Гейда А. С. Лысенко И. В., Нехорошкин Н.И., Тремасов А.Д. // *Гос. аудит. Право. Экономика.* М.: Гос. НИИ СП РФ. – № 5, 2010.– с. 47–55.
11. *Гейда А.С.* Задачи исследования качества и потенциала СТС / Гейда А.С., Лысенко И. В., Силла Е.П. // *Информационно-управляющие системы,* С.-Петербург. – №4, 2011. – с. 77–83.
12. *Гейда А.С.* Моделирование при исследовании технических систем: использование некоторых расширений теории графов // *Труды СПИИРАН.* 2011. Вып. 17. с. 234–245.
13. *Гейда А.С.* Комплексное исследование качества, потенциала СТС, эффективности и риска при их реализации: концептуальные аспекты/Лысенко И.В.//*Информация и космос.* –Vol.7.– 2011 г.
14. *Гейда А.С.* Методика планирования инновационной деятельности с учётом приоритетности создаваемых изделий техники / Гейда А. С. Лысенко И. В., Седлов Е. В. // *Информационные технологии моделирования и управления.* М.: Изд-во "Научная книга». – № 7 (72). – с. 747–754.
15. *Гейда А.С.* Планирование инновационной деятельности с учётом приоритетности изделий / Гейда А.С., Лысенко И. В., Седлов Е. В. // *Системы управления и информационные технологии.* М.: Изд-во "Научная книга». – 2011.– № 3.2 (45) – с. 220–224.
16. *Гейда А.С.* Метод планирования инновационной деятельности / Гейда А.С., Лысенко И. В., А.И. Птушкин, Седлов Е.В.// *Программные продукты и системы.* Тверь, 2011.–№4(96). –с. 134–136.
17. *Гейда А.С. Лысенко И. В.* Автоматизация решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования//*Труды СПИИРАН.* –2012. Вып. 22.– с. 260–281.
18. *Гейда, А.С.* Методика оценивания конкурентоспособности продукции военного назначения и выпускающих её предприятий на основе исследования операционных свойств систем / А.С. Гейда, И. В. Лысенко, Карачев А.А. // *Оборонная техника.* – 2012. – №8. – С.2–39.
19. *Гейда А.С.* Оценивание показателей операционных свойств систем и процессов их функционирования / Гейда А.С., Лысенко И. В.//*Труды СПИИРАН.* 2013. Вып. 25. С. 317–337.
20. *Гейда А.С.* Отношения эффективности функционирования, потенциала систем и смежных операционных свойств / Гейда А.С., Исмаилова З. Ф., Клитный И.В., Лысенко И. В. // *Труды СПИИРАН,* Вып.4(41). 2015.– С.218–246.
21. *Гейда А.С.* Основные концепты и принципы исследования операционных свойств использования информационных технологий / Гейда А.С., Лысенко И. В., Юсупов Р. М. // *Труды СПИИРАН.* – Вып.5(42). 2015.– С. 5–36.
22. *Гейда А.С.* Задачи исследования операционных свойств совершенствуемых систем и процессов их функционирования: концептуальные аспекты / Гейда А.С., Лысенко И. В. // *Прикладная информатика.* – М., «Синергия», Том 12, №5(71). – с. 93–106.
23. *Гейда А.С.* Методологические основы аналитического оценивания результативности цифровизации экономических систем // *Фундаментальные исследования.* М., №11–2018. С. 211–215.

24. Гейда А.С. Концепция немонетарного оценивания инвестиционных проектов на основе прагматических свойств систем // *Фундаментальные исследования*. 2020. – № 12 – С. 40–45.
- Основные статьи в отечественных и зарубежных изданиях, индексируемых WoS и Scopus.**
25. Geyda A.S. Information technologies usage models during agile systems functioning / Geyda A.S., Lysenko I.V. // *Journal of Physics: Conference Series (IOP): Mechanical Science and Technology Update*. 1050. 012027, 2017.
26. Гейда А.С. Эффективность функционирования и другие операционные свойства систем: задачи и метод оценивания / Ашимов А.А., Гейда А.С., Лысенко И. В., Юсупов Р. М. // *Труды СПИИРАН*. 2018. Вып. 60. С. 241–270.
27. Geyda A.S. Schemas for the analytical estimation of the operational properties of agile systems / Geyda A.S., Lysenko I.V. // *SHS Web Conf. Volume 35*, 2017.— 01058.
28. Geyda A.S., Lysenko, I. Modeling of information operations effects: Technological systems example // *Future Internet*, 2019, 11(3), — 62.
29. Geyda, A.S. Dynamic capabilities indicators estimation of information technology usage in technological systems // *Studies in Systems, Decision and Control*, 2019, 199, p.p.379–395.
30. Geyda, A.S. Digitalization Effects and Indicators Estimation // *Conference of Open Innovation Association, FRUCT*, 2019, 8981503, p.p. 95–101.
31. Geida, A.S. Predictive models of digitalization effects and indicators: Technological system example // *IDIMT 2019: Innovation and Transformation in a Digital World - 27th Interdisciplinary Information Management Talks*, 2019, p.p.377–384.
32. Geyda A.S., Lysenko I.V. System Potential Estimation with Regard to Digitalization: Main Ideas and Estimation Example / A. Geyda, I. Lysenko // *Information*. – 2020. – Vol.11, №3. – p.164.
33. Geyda A.S., Lysenko I.V. The Complex of Models for System Capability Estimation with Regard to Information Technology Use / A.S. Geyda, I.V. Lysenko // *AMCIS 2020 PROCEEDINGS. Strategic and competitive use of IT. Association for Information Systems, USA.*, 2020.– Ch.6
- Монографии и главы в коллективных монографиях:**
34. Гейда А.С. Метод сквозного использования универсальных языков моделирования в задачах стратегического аудита проектов//Новое в гос. управлении. Вып. 2. Методы и модели информационно-аналитического обеспечения системного аудита использования национальных ресурсов и управления по результатам, ред. А.А.Пискунов, ЮРИФКА, Ростов-на-Дону, 2010, с. 98–116.
35. Гейда А.С. 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.
36. Гейда А.С. Базовые модели оценки системных рисков на примере показателей финансово-кредитной сферы//Роль ключевых национальных показателей в оценке стратегий развития: коллективная монография /Е. И. Иванова. Гос. НИИ СП РФ. –М.: Воентехиниздат,2010.– 216 с. 89–108.
- Участие в конференциях в 2020–2021 г.**
37. Geyda A.S. Operational Properties Estimation: Mathematical Models and Statements of Problems // *Recent Research in Control Engineering and Decision Making / O. Dolinina et al.(Eds.) (ICIT 2020)*, SSDC 337, Springer., Berlin, pp. 1–13.
38. Geyda A.S. Probabilistic graph-theoretic models for dynamic and information capability problems research // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 971 (ICMTMTE 2020)*. Sebastopol, Russia. 7–11.09 2020 г., 042001 p.p.1–6.
39. Geyda A.S. Sustainable development problem-solving as mathematical problems of innovation, digitalization, and organization // A.S. Geyda, July 13-24, *ACM EC-2020 conference*, Association for Computer Machinery, USA. 2020. (А, *Высокорейтинговая, стендовый доклад*).
40. Geyda A.S., Lysenko I.V. The Complex of Models for System Capability Estimation with Regard to Information Technology Use / A.S. Geyda, I.V. Lysenko // *AMCIS 2020 PROCEEDINGS. Strategic and competitive use of IT. Association for Information Systems, USA.* – Ch.6. (А, *Высокорейтинговая*)
41. Geyda A.S. 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.p. 1–9.

42. Geyda A.S. Systems Development Problem-Solving as Mathematical Problems of Innovation, Digitalization, and Organization: 27th Conference of Open Innovations Association (*FRUCT*). Trento, Italy, Sep. 7–9, 2020. p.p. 314–321.

43. 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*, Cutna Gora, Czech Republic. 2020.– p.p 67-74.

44. Geyda A.S. Families of Alternative Stochastic Action Networks: Use for Process Science. 28th Conference of Open Innovations Association (*FRUCT*). IEEE, Moscow. 27.01–29.01, 2021.–20426584.

Автореферат диссертации

Гейда Александр Сергеевич

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЕЁ ПРИЛОЖЕНИЯ
К ПРИНЯТИЮ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Текст автореферата размещен на сайтах:

Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки
Российской Федерации
vak.minobrnauki.gov.ru

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
«Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук»
<http://www.spiiras.nw.ru/dissovet/>

Подписано в печать 22.09.2021 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 2,0. Тираж 100 экз.

Заказ №