На правах рукописи

ГЕЙДА АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА**

**СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка   
информации (информационные и технические системы)

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: доктор технических наук, профессор

**Лысенко Игорь Васильевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

**Мещеряков Роман Валерьевич**,

ФГБОУ ВПО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», заведующий кафедрой «Безопасность информационных систем»;

доктор технических наук, профессор

**Царегородцев Анатолий Валерьевич,**

ФГБОУ ВО «Московский государственный лингвистический университет», заведующий кафедрой «Информационная безопасность»;

доктор технических наук, старший научный   
сотрудник

**Фархадов Маис Паша Оглы**

ФГБУН «Институт проблем управления   
им. В.А. Трапезникова Российской академии   
наук», заведующий лабораторией «Автоматизированные системы массового обслуживания»

Ведущая организация: Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН).

Защита состоится « » октября 2021 г. в 13-00 на заседании диссертационного   
совета Д.002.199.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» по адресу: 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия В. О., дом 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 « » \_\_\_\_\_\_\_\_ 2021 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д.002.199.01

кандидат технических наук Зайцева Александра Алексеевна

#### общая характеристика РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Многие актуальные практические задачи в области совершенствования предприятий, организаций, стратегического планирования, развития оборонно-промышленного комплекса (ОПК), реализации критических технологий, информатизации общества, цифровизации экономики, а также другие задачи государственного, социально-экономического развития страны и обеспечения безопасности государства формализуются, как задачи совершенствования сложных объектов, систем разного вида. Так, под техническими системами понимаются целостные комплексы взаимосвязанных частей, которые включают в свой состав технические устройства. В рамках исследования рассматриваются сложные технические системы (СТС), как такие технические системы, в состав которых, кроме технических устройств могут входить части других видов, в частности – коллективы людей, предписания по выполнению действий, связанные различными видами отношений друг с другом и с техническими устройствами, в том числе с устройствами оперирования информацией. Такие СТС могут классифицироваться, в зависимости от задач исследований, как технологические системы, организационно-технические системы.

Анализ практики функционирования современных предприятий, выполненный в работе на примере предприятий ОПК, показал, что их функционирование характеризуется значительным числом проявляющихся недостатков, несоответствий наблюдаемых результатов требованиям к результатам функционирования ОПК. Исследование причин и последствий проявления указанных несоответствий, их классификация позволили сделать вывод о том, что недостатки функционирования многих современных предприятий и организаций ОПК следует исследовать и устранять, как недостатки, которые *вызываются несоответствием характеристик СТС ОПК регулярно меняющимся требованиям со стороны среды и другими воздействиями среды на СТС.* А именно, регулярно меняющиеся требования и другие изменяющиеся воздействия среды СТС *(«изменяющиеся условия»)* ведут, после проявления недостатков в результате, например, выполненных информационных действий по проверке соответствия, сначала к необходимости разработки персоналом предприятий ОПК переходных действий к достижению новой цели или устранению несоответствий, а затем, к реализации этих переходных процессов и к новому усовершенствованному функционированию СТС ОПК по достижению, возможно, новой цели. При этом действия по проверке соответствий и разработке переходных действий – действия информационные, а их результат – предписания по реализации последующих переходных и других действий – информационный результат, описывается информационным состоянием в результате действия. Переходные и другие действия могут носить разнообразный вид, от исследований и инноваций до переналадок, но они направлены на совершенствование функционирования СТС для того, чтобы получить лучшие результаты функционирования СТС в изменяющихся условиях. Изучать их следует, как извлечение пользы, т. е. как прагматические действия в изменяющихся условиях. Поэтому СТС ОПК следует изучать, как СТС, совершенствуемые в результате в изменяющихся условий. Такое совершенствование СТС ОПК в изменяющихся условиях следует изучать по его прагматическим свойствам (свойствам, описывающим результаты использования). Это совершенствование требует использования информационных действий разных видов, реализуемых в соответствии с той или иной информационной технологией. Недостатки, проявляющиеся в результате изменения требований со стороны среды, могут устраняться разными способами, а применяемые способы устранения недостатков зависят от способов информационных действий. В работе выполнено исследование различных способов устранения недостатков СТС ОПК, их последствий, выполнена их классификация. При совершенствовании СТС ОПК способы информационных действий и устранения недостатков следует выбирать научно обоснованно, на основе моделей, описывающих зависимости характеристик операционных (прагматических) свойств СТС, совершенствуемых в изменяющихся условиях, от возможных способов действий разных видов и их характеристик, формирующих множества выбора в разных условиях. Такие способы могут формироваться путем возможных изменений имеющихся способов действий. К возможным изменениям имеющихся способов действий относят изменения: состава, характеристик элементов, затем ­ состава связей и характеристик связей, последовательностей связей и характеристик этих последовательностей, т. е. планов функционирования. Из практики известно, что в связи с регулярностью воздействий среды регулярно же возникает необходимость выполнения проверочных, а затем, возможно – переходных действий различных видов. Такая необходимость ведет далее к регулярной реализации сначала – *информационных действий*, связанных с проверкой, оцениванием состояний системы и среды и затем, в случае необходимости, с разработкой способов *переходных действий*, направленных на описанные выше виды изменений. Затем, после информационных действий, выполняются разработанные переходные действия и затем, действия для получения требуемых результатов (целевые). Переходные действия должны вести, с одной стороны, к усовершенствованным, *лучшим в условиях происходящих изменений среды, целевым эффектам функционирования*, но с другой стороны, они ведут и к дополнительным затратам *обеспечивающих эффектов на выполнение переходных действий.*

Предложенное в работе *новое свойство потенциала СТС,* *как прагматическое (операционное) свойство, характеризующее приспособленность СТС к достижению изменяющейся (то есть действительной и возможных) целей при функционировании*, зависит от характеристик «целевого» и «переходного» функционирований СТС, в том числе и от выполняемых информационных действий по проверке состояний СТС и среды, выработке предписаний о выполнении технологических операций и доведения предписаний исполнителям. Показатель этого свойства должен оцениваться в зависимости от состава и характеристик возможных действий разных видов и от характеристик системы. Необходимость решения задач исследования таких прагматических свойств в том числе свойства потенциала научно обоснованно, аналитически, в том числе – для стратегического аудита счетной палаты РФ была обоснована аудитором счетной палаты РФ А. А. Пискуновым и начальником инспекции Н.И. Нехорошкиным и поставлена автору в качестве перспективной задачи возможных исследований.

Введенное новое свойство потенциала СТС – комплексное прагматическое свойство системы, то есть свойство, описывающее результаты извлечения пользы и соответствие результатов извлечения пользы – эффектов – требованиям в изменяющихся условиях. Комплексность свойства вызвана комплексностью описания изменяющейся цели функционирования СТС, комплексностью описания отношений на границе системы и среды в комплексе различных условий, комплексным учетом возможных последовательностей действий, с учетом результатов информационных действий, т. е. – комплексностью описания деятельности совершенствуемой системы в комплексе изменяющихся условий. Полученные при исследовании потенциала систем результаты используются и при исследовании других прагматических свойств.

Для решения практических задач совершенствования предприятий ОПК с использованием введенного свойства потенциала СТС необходимо разработать основы концепции решения задач исследования потенциала, затем, на основе концепции исследования потенциала должны быть предложены основы методологии исследования потенциала. Такие основы концепции и методологии были *разработаны впервые* и составляют в своей совокупности основы *новой теории потенциала СТС.*

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

К таким научным коллективам можно, в первую очередь, отнести научные школы члена-корреспондента РАН Юсупова Р.М. (эффективность использования информационных технологий), профессоров Петухова Г.Б. (теория эффективности целенаправленных процессов и функционирования целеустремленных систем), Лысенко И.В. (анализ и синтез систем обеспечения готовности, алгебра нечетких чисел), 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), Курдюмова С.П., Малинецкого Г.Г., Кульбы В.В. (синергетика, когнитивное моделирование), Ильина Н.И. (информационные системы поддержки принятия управленческих решений), Соколова Б.В., Охтилева М.Ю., Павлова А.Н. (проактивное управление структурной динамикой сложных объектов), и др.

Однако, концепции и методологии, позволяющей исследовать в комплексе: Прагматические свойства СТС в изменяющихся условиях; Последующие в результате изменений среды целенаправленные изменения СТС и ее функционирования и соответствующие эффекты функционирования; Реализуемые в результате изменений информационные действия и их эффекты, а затем и эффекты зависящих от них переходных действий; Реализацию переходных процессов к новому функционированию и их эффекты – предложено не было. Такие концепция и методология должны позволить ввести, описать и затем использовать для решения практических задач, сформулированных, как задачи оценивания, анализа по показателям потенциала СТС, а затем и синтеза СТС и ее функционирования по показателям потенциала СТС введенное для учета комплекса указанных особенностей функционирования СТС *новое комплексное прагматическое свойство потенциала СТС.*

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

Разработанная для преодоления этого противоречия в основах теория потенциала СТС опирается на достижения ряда отечественных и зарубежных ученых в: Исследовании альтернативных стохастических сетей для управлении проектами (Голенко-Гинзбург Д.И., Любкин С.М., Воропаев В.И.); Управлении программами (Мазур И.И., Шапиро В.Д.); Алгебре нечетких чисел (Лысенко И.В.); Теории суперграфов и гиперсетевых моделей (Овчинников В.А., Петрошенко А.В.); Теории метаграфов (Басу А., Блемминг Р.); Теории ступеней множеств (Никаноров С.П.); Системном анализе, системном моделировании (Емельянов С.В.); Сценарном исследовании сложных систем (Кульба В. В. , Кононов Д. А.); Информационном управлении (Шульц В.Л.); Информационных технологиях испытаний СТС (Скурихин В.И.); Программно-целевом планировании и управлении (Поспелов Г.С., Ириков В.А.); Теории вероятностных и нечетких теоретико-графовых моделей (Дехтер Р., Кёллер Д., Мордесон Дж., Нэйр П.); Функциональном методе в системологии (Асслаксен Е., Патель Н.).

**Объект исследования** – сложные технические системы, функционирующие в условиях изменения требований и других воздействий среды (в условиях изменений).

**Предмет исследования** – концепция, модели, методы и технология исследования потенциала сложных технических систем.

**Цель исследования –** разработать основы теории потенциала сложных технических систем, что должно позволить решать актуальные практические задачи исследования потенциала.

**Научная проблема:** разработка основ теории потенциала сложных технических систем.

Сформулированная проблема предусматривает решение следующих **частных научных задач:**

1. Разработка концепции исследования потенциала СТС.

2. Разработка метода концептуализации и методологизации проблемы исследования потенциала СТС.

3. Разработка моделей, позволяющих исследование потенциала СТС.

4. Разработка методов, позволяющих исследование потенциала СТС.

5. Разработка методик и технологий решения прикладных задач исследования потенциала СТС.

**Научная новизна** работы обусловлена тем, что в ней:

1. Предложена новая концепция исследования прагматических свойств систем, отличающаяся: Развитием понятийного аппарата предметной области теории эффективности и теории систем, направленным на учет проявляющейся в результате изменяющихся воздействий среды необходимости совершенствования системы и ее функционирования; Комплексностью исследований прагматических свойств СТС с учетом возможных совершенствований СТС и ее функционирования; Учетом эффектов информационных действий, необходимых для реакций системы на изменения; Введением для описания учитываемых особенностей функционирования СТС в условиях изменений нового комплексного прагматического свойства систем – их потенциала; Описанием закономерностей формирования потенциала систем; Описанием связей введенного нового свойства потенциала систем с изученными прагматическими (операционными) свойствами эффективности функционирования систем, конверсивности систем, с эффектами функционирования, эффектами информационных и затем, переходных действий, с динамическими и организационными возможностями систем, с разными видами потенциала (инновационным, оборонным, экономическим), с результативностью использования информационных технологий.

2. Предложен новый метод концептуализации и методологизации проблемы исследования потенциала СТС, отличающийся развитием использования логико-лингвистической теории Г.Фреге на основе введения схем понятий и связываемых с их помощью в комплекс: Графов экспликации концептов понятий; Графов экспликации схем понятий; Графов экспликации теоретико-множественных форм понятий.

3. Предложены новые модели функционирования СТС в изменяющихся условиях, в частности - семейства альтернативных стохастических сетей операций. Модели являются частным случаем предложенных автором комплексных теоретико-графовых моделей.

4. Предложены новые методы определения показателей прагматических свойств систем в изменяющихся условиях, в том числе показателей потенциала систем, методы решения задач исследования потенциала СТС на основе использования особенностей новых теоретико-графовых моделей СТС.

5. Разработаны основы новых информационных технологий и методики решения ряда актуальных прикладных задач исследования потенциала СТС, отличающиеся, в частности, учетом особенностей функционирования СТС в изменяющихся условиях, учетом реализации информационных операций для изменений функционирования.

**Практическая ценность работы** определяется экспериментально проверенными результатами, полученными под руководством и с участием автора, при реализации более 30 НИР и ОКР в интересах предприятий и организаций различных отраслей, согласующиеся с теоретическими выводами и практикой функционирования предприятий.

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

Решение сформулированной проблемы и обобщение полученных научных результатов определило следующие **положения, выносимые на защиту**:

1. Концепция исследования потенциала СТС.

2. Методы концептуализации и методологизации проблемы исследования потенциала.

3. Модели решения задач исследования потенциала СТС.

4. Методы решения задач исследования потенциала СТС.

5. Основы информационных технологий и методик исследования потенциала СТС.

**Обоснованность и достоверность** научных положений, основных выводов и результатов диссертации обеспечивается за счет всестороннего анализа 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 работы докладывались и обсуждались в период с 1992 по 2020 годы на более чем 30 международных и Российских конференциях, в том числе на ведущих международных конференциях (класса A): «Americas Conference on Information Systems» (AMCIS) 2020, «The 21st ACM Conference on Economics and Computation» (EC’20); на регулярных международных конференциях «Finnish-Russian University Cooperation in Telecommunications» (FRUCT) 21-28», «Interdisciplinary Information Management Talks» (IDIMT) 2019-2020; на международных конференциях “Computers Science and Information Technology (CSIT)”, “International Conference on Industrial Engineering (ICIE)”; на регулярных Российских конференциях «Региональная информатика», «Информационная безопасность регионов России», «Форум от науки к бизнесу», «Актуальные проблемы защиты и безопасности», «Информационные технологии в управлении», «Современные проблемы прикладной информатики», «Государство и бизнес», «Доветовские чтения», «Система распределенных 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 100 работах, включая 47 публикаций, индексированных 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, Счетной Палаты РФ, ФГУП ЦНИИМаш, ФГУП «НПО Техномаш», ГШ РФ, ГУГИ РФ, ГК «Роскосмос», АО «Российские космические системы». Проект, в котором автор является научным консультантом, поддержан, как резидент фонда развития центра разработки и коммерциализации новых технологий «Сколково» в 2020 г.

**Работы по направлению исследований поддержаны** грантами РФФИ [20-08-00649](https://kias.rfbr.ru/index.php), [16-08-00953](https://kias.rfbr.ru/index.php) (научный руководитель); [19-08-00989](https://kias.rfbr.ru/index.php), [13-08-00573](https://kias.rfbr.ru/index.php) (участник).

**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 (прагматических) свойств СТС с учетом совершенствования СТС в изменяющихся условиях; В [6,19,28] описаны принципы расчета показателей операционных свойств СТС и ее функционирования, методы расчета этих показателей и примеры расчета этих показателей. В [10,11,13,26,27,28, 40,45,48] описаны модели и методы моделирования в задачах исследования потенциала СТС. Примеры использования теории потенциала СТС для решения ряда практических задач рассмотрены в [9,10,15,16,17,12]. В [38,39-50] описан ряд методов и моделей, позволяющих автоматизировать моделирование и решение задач исследования потенциала СТС. В [21,22,25,26,29,31,32,34,38, 39,41, 49] описаны концепция, модели и методы, позволяющие оценивать операционные свойства использования информационных технологий, другие операционные свойства: dynamic capabilities, organizational capabilities. Приведены примеры оценивания.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа изложена на 375 страницах машинописного текста, содержит 37 иллюстраций и 12 таблиц, состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы (293 наименований).

#### Содержание работы

**Во введении** дана общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, проведен анализ научной проблемы исследования потенциала СТС ОПК и обоснован подход к ее 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 первом разделе** выполнен анализ особенностей, недостатков функционирования современных сложных технических систем на примере СТС ОПК.

Фрагмент полученной классификационной схемы недостатков СТС ОПК и их функционирования показан на рис. 1.

Рис. 1. Фрагмент классификационной схемы недостатков СТС ОПК и их функционирования

Показано, что *недостатки функционирования ОПК* следует исследовать и устранять, как такие недостатки, которые вызываются несоответствием характеристик СТС ОПК регулярно меняющимся требованиям со стороны среды и другим воздействиями среды на СТС.

Выполнено *исследование различных способов устранения недостатков* СТС ОПК, их последствий, выполнена их классификация. Классификация способов устранения недостатков оборонно-промышленного комплекса, как действий различной направленности по совершенствованию систем представлена на рис.2. При совершенствовании СТС ОПК способы устранения недостатков следует выбирать научно обоснованно, на основе моделей, описывающих зависимости характеристик прагматических (операционных) свойств совершенствуемых СТС от возможных способов информационных и вызванных ими действий по совершенствованию функционирования и от их характеристик, формирующих множество выбора. Вскрыты *особенности совершенствования (устранения недостатков) СТС* с учетом 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 ведет далее к реализации сначала – информационных действий, связанных с регулярным оцениванием ***состояний системы и среды*** и затем, в случае необходимости, с ***разработкой*** способов переходных действий, направленных на представленные виды изменений.



Рис. 2. Классификация способов устранения недостатков ОПК

Затем, после информационных выполняются разработанные переходные действия. Такие переходные действия направлены на то, чтобы вести c 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 прагматическое свойство потенциала СТС* как свойство, характеризующее приспособленность СТС к достижению изменяющейся (то есть 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 видов действий. В работе *вскрыты особенности эффектов****,*** которые проявляются при функционировании. Выполнена классификация эффектов с учетом реализуемых *переходных действий****.*** Выполненная классификация была проиллюстрирована схемой эффектов функционирования СТС ОПК в изменяющихся условиях. Фрагмент схемы показан на рис. 3. Эффекты 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 процессы 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 введенное в работе комплексное операционное *свойство потенциала 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**.**



Рис. 3. Схема эффектов функционирования СТС ОПК в изменяющихся условиях

При реализации последовательностей действий сначала выполняются информационные *действия по определению состояний элементов и среды, затем – информационные действия по разработке необходимых переходных действий****,*** а затем – по необходимости, разработанные переходные неинформационные действия.

При реализации переходных действий, *в зависимости от состояний элементов системы и среды, происходят разные комплексы действий, в результате происходят разные события*и проявляются разные состояния системы, среды и их последовательности. Эти последовательности ведут к исходам функционирования разной успешности (к разным мерам соответствия требований в результате реализации того или иного функционирования). Цепочки информационных и последующих за ними действий ведут к проявляющимся в результате действий последовательностям случайных событий и состояний. Последовательности таких событий и состояний характеризуются разными возможностями своего проявления, в зависимости от состояний среды при функционировании и от реализуемых (в соответствии с той или иной ИТ) информационных действий***.*** В результате, в разных условиях среды проявляются элементы комплекса возможных, связанных причинно-следственными связями последовательностей (информационных и других) состояний системы и среды в результате различных комплексов информационных и неинформационных действий при функционировании. При этом каждому из возможных последовательностей состояний и событий, реализованных в результате действий в изменяющихся условиях, кроме разных мер возможности реализации соответствуют разные эффекты функционирования и разная мера соответствия эффектов требованиям (успешность) СТС. Введенное в работе комплексное прагматическое свойство потенциала систем и характеризует сторону качества систем, определяющую успешность деятельности с СТС в изменяющихся условиях. Это свойство следует оценивать на основе моделирования комплекса возможных действий в различных условиях, а затем – возможных последовательностей состояний, событий и наконец, мер соответствия эффектов функционирования требованиям в изменяющихся условиях.

Заметим, что в настоящее время прагматические свойства, позволяющие отразить изменения требований и других воздействий со стороны среды (изменяющиеся условия) при функционировании СТС и затем, переходные информационные, другие переходные действия и последующие усовершенствованные процессы, реализуемые СТС в результате, исследованы недостаточно. В то же время, как при исследовании СТС, так и при исследованиях других объектов, актуален переход от исследования прагматических свойств объектов в предписанных (например, усредненных или критических) условиях к исследованию прагматических свойств объектов с учетом возможностей изменения условий и последующих информационных и других переходных действий и их результатов. Это актуально при исследовании организаций, при государственном и военном планировании, при стратегическом планировании, при исследовании социально-экономического прогресса, при исследовании инноваций, при исследовании результативности использования информационных технологий, информационной защищенности, то есть для всех тех задач исследований, в которых необходимо вскрывать то, как, в результате каких закономерностей и с какими прогнозируемыми результатами, насколько успешно могут изменяться объекты исследования в изменяющихся условиях. Актуальность такого исследования повышается в связи с наблюдаемыми процессами *интеллектуализации* и *информатизации, цифровизации экономики и общества* – в связи с тем, что цифровые технологии используются для совершенствования функционирования объектов в изменяющихся условиях. Этот вывод подтверждается наличием несоответствия между требованиями практики по изучению прагматических свойств в условиях изменений и имеющимся теоретическим аппаратом аналитического исследования таких свойств, отмечаемого зарубежными исследователями. Так, широко используются новые виды прагматических свойств, таких, как динамические возможности (Dynamic Capabiity), организационные возможности (Organizational Capability), информационный потенциал (IT Capability). Развиваются научные подходы к исследованию функционирований с учетом изменений целей – Intentional Processes. К сожалению, в имеющейся литературе недостаточно хорошо раскрыты аналитические, предиктивные и прескриптивные методы и модели, позволяющие исследовать системы и их функционирование по показателям прагматических свойств систем, в том числе и по показателям, характеризующим использование информационных технологий, проявляющихся при функционировании систем в изменяющихся условиях.

*Необходимость* *исследовать операционные свойства* систем, функционирующих в изменяющихся условиях, *возникла при выполнении* ряда НИР и ОКР, выполненных лабораторией информационно-аналитических технологий в экономике, лабораторией прикладной информатики и проблем информатизации общества. Обзор таких НИР и ОКР, в которых исследовались операционные свойства СТС в изменяющихся условиях показан на Рис. 4***.*** Примеры задач представлены, как задачи, решаемые практиками и соответствующие этим, решаемым практиками, задач, возникающих у теоретиков. В таком качестве сформулированы задачи модернизации технологической базы ОПК; планирования функционирования СТС ОПК в условиях изменения ГПВ и ГОЗ, целевых программ; исследования прагматических свойств информационных технологий.



Рис. 4. Обзор НИР и ОКР, в которых исследовались операционные свойства СТС в изменяющихся условиях

Выполнен анализ этимологии понятия потенциала, понятия прагматических свойств. Показано, что введенное понятие потенциала системы должно позволить вскрыть связи с этими понятиями о родственных прагматических свойствах и по возможности обобщить их, подойти к их унифицированному оцениванию. Такое обобщение целесообразно сделать на основе прагматического подхода, связав другие смежные понятия (ресурсы, возможности) с результатами (эффектами) и далее – обобщить до соответствия эффектов (изменяющимся) требованиям среды (эффективности функционирования по достижению заданной цели в заданных условиях).

К сожалению, устоявшегося общеупотребительного понимания терминов потенциал, capability, dynamic capability, пригодных для решения задач с использованием прогнозных математических моделей этих свойств, как комплексных прагматических свойств пока не сложилось ни в РФ, ни за рубежом. В связи с этим автором введены новые понятия: о прагматических свойствах, как свойствах, характеризующих результаты деятельности с системой, их соответствие требованиям в изменяющихся условиях; о потенциале системы, как комплексном прагматическом свойстве системы, характеризующем приспособленность системы достигать изменяющуюся цель (действительную и возможные); о конверсивности, как комплексном свойстве, характеризующем приспособленность к переходам системы в состояния, которые позволяют успешно достигать действительную цель.

***Задачи исследования*** состоят в разработке основ концепции, моделей, методов и технологий, позволяющих решать комплекс практических задач исследования потенциала СТС, как математических задач оценивания, анализа и синтеза по показателям потенциала СТС.

С помощью концепции потенциала системы представляется возможным устранить описанные выше недостатки и связать в единый комплекс: изменяющиеся возможности актуализации целей функционирования системы из комплекса возможных целей, воздействия среды (изменяющиеся условия); комплекс процессов целевого функционирования (для достижения цели) и остальных процессов, обеспечивающих целевое функционирование; эффективность целевого функционирования системы для достижения каждой из возможных целей, при условии ее актуализации; комплекс состояний СТС при целевых и остальных (обеспечивающих) функционированиях для достижения той или иной цели; возможные (как благоприятные, так и неблагоприятные) результаты при функционировании системы; информационные и неинформационные действия и результаты, получаемые при функционировании СТС.

Для использования понятия о потенциале СТС при преодолении недостатков, с которыми сталкивается исследователь при решении задач оценивания, анализа потенциала СТС и синтеза СТС, обладающих требуемым потенциалом, необходимо ввести такой комплекс концептов и принципов исследования потенциала СТС, чтобы этот комплекс позволил бы реализовать *концептуальный этап* исследования потенциала СТС (концептуализацию проблемы). Затем, следует реализовать *методологический этап исследований (методологизацию проблемы)****.***

При реализации концептуального этапа исследований возникают источники проблемности, связанные с тем, что необходимо корректно ввести и увязать в комплекс концепты. При реализации *методологического этапа исследований* возникают источники проблемности, связанные с разработкой, на основе концептуальной модели проблемы, математических моделей решаемых задач, методов оперирования ими, технологий и методик решения задач. Проблемность разработки концептуальных и математических моделей связана с новизной концепции исследования потенциала СТС и требующимися для этого новыми моделями и методами, со значительным числом и сложностью оцениваемых альтернатив и строящихся моделей. Следует разработать комплекс методов решения задач, основанных на предложенных моделях. Проблемность разработки таких методов связана со сложностью и новизной решаемых задач. Следует разработать комплекс методик и инструментальных средств решения задач, основанных на моделях решаемых задач и методах построения моделей. Проблемность разработки таких методик и инструментальных средств связана с новизной моделей, методов и значительным объемом обрабатываемых данных.

**Во втором разделе** представлены основы разработанной концепции исследования потенциала сложных технических систем. Описан метод концептуализации проблемы исследования потенциала сложных технических систем. Он основывается на логико-семантической теории Г. Фреге.

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

***Общие постановки задач исследований.***

*Вербальная постановка задачи оценивания потенциала.*

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

Найти: Показатель потенциала СТС и определить, достаточно ли это значение.

При: неизменном заданном плане функционирования системы и заданных планах реализации операций при заданных возможных изменениях среды.

*Вербальная постановка задачи анализа потенциала.*

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

Найти: Показатель потенциала СТС, определить особенности функции, связывающей показатель потенциала с переменными.

При: заданном плане функционирования системы и заданных планах реализации операций при заданных возможных изменениях среды.

*Вербальная постановка задачи синтеза характеристик функционирования системы, обеспечивающих требуемый потенциал системы.*

Дано: Технология функционирования системы, в том числе информационная технология функционирования системы; возможные изменения среды; множество возможных значений переменных.

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 системы и ее функционирований, обеспечивающих требуемый потенциал системы* при изменениях системы, ее среды и технологии функционирования.

Дано: Возможные изменения системы, технологий функционирования системы, возможные изменения среды; множества возможных значений переменных.

Под переменными понимаются состав системы, характеристики технологии (проект системы и ее функционирования).

Найти: Решение в виде состава и характеристик системы, технологию ее функционирования и планы ее функционирования, обеспечивающие наилучшие значения показателя (показателей) потенциала совершенствуемой системы.

При: заданном возможном составе и характеристиках системы, и заданных возможных технологиях ее функционирования при заданных возможных изменениях среды.

***Теоретико-множественная формализация проблемы исследования потенциала сложных технических систем.*** Метод теоретико-множественной формализа­ции состоит в назначении основным концептам и отношениям теоретико-множественных форм (множеств, векторов, отношений, отображений, функций) и увязывании этих форм (математических объектов) таким образом, чтобы в результате теоретико-множественной формализации был бы получен комплекс экспликаций теоретико-множественных форм проблемы, позволяющий описать проблему так, чтобы от теоретико-множественных форм можно было бы перейти затем к параметрической и функциональной формализации на основе разработанных математических объектов. Для такого перехода предложено описывать теоретико-множественные формы так, чтобы они соответствовали связанным требуемыми отношениями элементам (вершинам, дугам, ребрам, гипердугам) теоретико-графовых моделей. Это дает возможность, затем, 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 денотатов понятий задачи исследования потенциала СТС. Вершины этого дерева ассоциированы с предикатами нулевого и первого порядка, а ребра ассоциированы с отношением экспликации, и обратно, импликации между вершинами. Дерево экспликации денотатов соответствует дереву экспликации схем порождения денотатов. Вершины дерева экспликации схем ассоциированы с теоретико-множественными моделями, являющимися схемами, предоставляющими концепты понятий, соответствующих вершинам дерева экспликации концептов понятий соответствующей задачи исследования потенциала СТС, а ребра дерева экспликации схем ассоциированы с отношением декомпозирования и, обратно, композирования (включения) схем. Таким образом, теоретико-множественная модель проблемы исследования потенциала – это множество трех 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. Отношения на схеме относятся к отношениям координации или субординации. На основе указанного представления выполнена графо-геометрическая схематизация проблемы исследования потенциала сложных технических систем. Представление на основе интеллект-карт позволяет обрабатывать полученные концептуальные модели с использованием ряда инструментальных средств оперирования знаниями и семантическими моделями.

С точки зрения исследователя (теоретика-прикладника), разработка дерева экспликации десигната понятия «проблема исследования потенциала СТС» и, в частности, понятия «задачи оценивания потенциала СТС» имеет важное значение по крайней мере по двум причинам: во-первых, это позволяет, в результате, разработать тезаурус понятий (и закрепить его в конечном множестве их имен – терминов), необходимых исследователю для решения сформированных им же научно-исследователь­ских задач (в этом проявляется гносеологический аспект разработки дерева экспликации десигнатов); во-вторых, это позволяет, в результате, получить хорошо структурированную модель изучаемого понятия, хоть и не формализованную вполне, но позволяющую перейти к разработке более формализованной модели изучаемого понятия: модели, формализованной в таком виде, который необходимо получить, завершая концептуальную часть разрабатываемой теории, чтобы с меньшим количеством ошибок и с меньшими трудностями перейти к методологической части теории.

Результат концептуализации (научной проблемы и, в частности, задачи, входящей в ее состав), т.е. модель концепции (проблемы и, в частности, задачи) должна содержать такую ее (модели) часть, которая была бы образом дерева экспликации десигнатов, и при этом была бы построена не из имен – терминов,, закрепленных при дефиниции за десигнатами понятий (в дереве их экспликации), а построена из терминов, раскрывающих денотаты (значения) соответствующих понятий и связанных с их десигнатами, которые ассоциировались бы с такими важнейшими (с точки зрения исследователя) признаками понятий, которые (признаки) являются числовыми величинами. Именно такие, числовые, величины, должны быть использованы, как количественные характеристики понятий при разработке теории в ее методологической части. В данном случае эти количественные характеристики (или, иначе, показатели) понятий, в частности – денотатов понятий, необходимы для разработки методологии, т.е. учения о моделях и методах, создаваемых и используемых для разработки формальной (математической) модели исследовательской задачи, как методов ее (или их, если задач несколько) решения с помощью современных вычислительных средств.

В результате использования предложенного метода теоретико-множественной формализации разработаны теоретико множественные модели системы и изменяющейся среды, задач исследования потенциала и затем, на их основе, предложены типовые постановки задач исследования потенциала в теоретико-множественной форме.

**Основные теоретико-множественные объекты, описывающие систему и ее среду:**

- множество элементов СТС (которое, возможно, имеет структуру с подмножествами).

- множество элементов среды СТС (которое, возможно, имеет структуру с подмножествами).

- множество элементов СТС и элементов среды.

множество отношений (реляционная структура, граф) между элементами среды (возможно, имеющая структуру с подмножествами).

множество отношений (реляционная структура, граф) между элементами системы (возможно, имеющая структуру с подмножествами).

множество характеристик элементов среды (возможно, имеющая структуру подмножеств) - пометка графа, описывающего состав элементов среды.

множество характеристик элементов системы (возможно, имеющая структуру подмножеств) - пометка графа, описывающего состав элементов системы.

множество характеристик элементов системы и среды.

множество возможных состояний элементов среды (возможно, имеющее структуру подмножеств).

множество возможных состояний элементов системы (возможно, имеющее структуру подмножеств).

множество возможных состояний как системы, так и среды системы.

универсальный многомерный под индекс (подпоследовательность целых чисел), принимающий различные многомерные переменные и константные значения для описываемых им элементов заданных им множеств;

множество возможных переходов между состояниями системы и среды (возможно, имеющее структуру подмножеств).

результат действия системы и среды, совокупность возможных переходов в результате действия.

множество возможных переходов в результате действий системы и среды.

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

альтернативные сведения, которые могут быть использованы для того, чтобы спланировать и затем выполнить действие . Альтернативные сведения могут описывать элементы, состояния, способы действий: , где сведения об элементах (частях рабочих мест), которые планируется использовать для реализации действия ,

сведения о возможных конечных состояниях в результате возможного планируемого действия , информация о начальных состояниях, которые предполагаются при реализации действия .

сведения о планируемых инструкциях, предписаниях, описаниях реализации действия .

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.

, где сведения о возможных альтернативных элементах (частях рабочих мест), которые могут быть использованы для реализации действия , сведения о возможных альтернативных начальных состояниях реализации действия , сведения о возможных альтернативных конечных состояниях действия (из заданного начального состяния), сведения об альтернативных предписаниях, инструкциях, описаниях о реализации действия . сведения о возможных альтернативных способах действия, т. е. о том, какие конечные состояния могут быть реализованы из каких начальных состояний (какие возможны переходы из начального состояния).

, где универсальный индекс, переменный многомерный массив целых чисел, подпоследовательности которого ("измерения") соответствуют универсальным многомерным под-индексам, задающим элементы моделей и их комплексы.

способ действия , совокупность переходов, возможных из заданнного начального состояния при реализации действия в соответствии с заданными инструкциями, предписаниями описаниями из возможных;

множество возможных переходов между состояниями системы (имеющее структуру подмножеств), ассоциировано с множествами действий системы.

множество возможных переходов между состояниями среды (имеющее структуру подмножеств), ассоциировано с множествами действий среды системы.

множество возможных переходов между состояниями среды и состояниями системы (имеющее структуру подмножеств), ассоциировано с множествами действий среды, направленных на систему.

множество возможных переходов между состояниями системы и состояниями среды (имеющее структуру подмножеств), ассоциировано с множествами действий системы, направленных на среду.

, множество возможных переходов между состояниями как системы, так и среды.

характеристики способа действия ;

множество характеристик способов действия (множество характеристик переходов между состояниями).

множество характеристик способов действия и используемых в этих действиях элементов рабочих мест. множество возможных действий (и соответствующих им способов действий);

сведения о действии в виде альтернатив , которые могут быть запланированы для реализации.

сведения о множестве альтернатив возможных действий, .

технология деятельности - информация о возможных альтернативах действий, способов действий и возможных альтернативах последовательностей действий, способов действий .

Теоретико-множественная модель действия определена, как возможные результаты реализации альтернативных описаний (отображение описаний "в действительность") .

сведения о действии, выбранном для реализации функционирования (для реализации отображения "в действительность").

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

множество способов действий, запланированных для реализации при конкретном функционировании.

сведения о возможных последовательностях действий при функционировании (тех, что возможно выбрать) в условиях, когда способы действий зафиксированы.

) сведения о последовательности действий, отобранных для функционирования (выбранных) в условиях, когда способы действий зафиксированы.

)- сведения о множестве возможных альтернативных последовательностях действий, которые могут быть выбраны (запланированы) для реализации при функционировании при условии, что способы действий (и их состав) уже запланированы.

сведения о множестве возможных альтернативных последовательностях действий, выбранных (запланированных) для реализации при функционировании при условии, что способы действий уже запланированы.

множество возможных альтернативных планов функционирования среды, включая сведения о планируемых результатах реализации таких планов (требуемые средой состояния на границе) , .

заданный календарный план действий среды, включая сведения, описывающие предполагаемые результаты реализации такого плана на границе системы и среды (требуемые средой состояния на границе), .

событие, состоящее в том, что план будет реализован и сведения о предполагаемых результатах реализации плана (состояния среды) будут получены в результате такой реализации.

возможные последовательности при условии, что событие произошло.

возможные альтернативы календарных планов функционирования системы, включая сведения, необходимые для получения планируемых результатов (инструкции, описания, предписания) , .

заданный (выбранный) календарный план функционирования системы, включая сведения, необходимые для получения планируемых результатов (инструкции, описания, предписания) ;

событие, состоящее в том, что календарный план функционирования системы будет реализован и сведения получены, при условии того, что произошло событие ;

календарный план функционирования системы для заданных неизменных условий среды, что привели к событию , ;

множество из моментов, в которые возможно альтернирование функционирования системы.

множество из альтернатив информационных операций на границе системы и среды в момент ; каждая ведет к одному из возможных альтернирований функционирования системы.

последовательность условных событий, состоящих в том что в момент событие произойдет (при условии того, что предыдущее случилось в момент ).

событие, состоящее в том, что будет реализован и сведения получены в результате, при условии, что событие произошло и что последовательность из событий была реализована в моменты соответственно,

, ; состояние системы в момент , как результат реализации функционирования .

реализация состояния системы в момент , как результат альтернативного функционирования (результат события );

реализация состояния среды в момент как результат альтернативного функционирования (результат события );

событие, состоящее в том, что в результате альтернативного функционирования состояние будет соответсвовать состоянию согласно описанию такого соответсвия с использованием требуемых отношений, заданное дважды неопределенным вероятностным предикатом, описывающим такое соответствие :

(1)

***Основные элементы теоретико-множественной модели функционирования системы.*** Теоретико-множественная модель функционирования системы согласно плану в заданных условиях функционирования среды в результате функционирования среды согласно календарному плану - кортеж:

Эта модель позволяет оценить (условную) эффективность функционирования системы в заданных условиях (т.е. при условии наступления и ), в предположении что события и зависят функционально (крайний случай условной зависимости):

(2)

где универсальный под индекс пробегает подпоследовательность переменных значений подиндекса - измерение, которое соответствует (комплексной, вложенной) ветви дерева последовательностей возможных состояний при функционировании. Дерево последовательностей состояний при функционировании строится на этапе построения теоретико-графовых моделей. Значение это вероятностная мера, которая может принимать значения из интервала . Она представляет собой условную вероятность эффективного функционирования при условии заданных событий (из конечного множества возможных событий), что такое функционирование актуализировано (функционирование с заданной изменяющейся целью, в заданных условиях воздействия среды, с заданными сведениями о реализации функционирования) и будет реализовано.

Теоретико-множественная модель функционирования системы согласно возможным планам в заданных условиях функционирования среды, сложившихся благодаря функционированию среды по календарному плану функционирования среды кортеж :

Эта модель позволяет оценить многомерную случайную величину вероятности сложного события :

(3)

которая описывает вероятность в различных альтернативных условиях (в условиях реализации событий , и с учетом вероятностей различных альтернатив. Это - (дискретная) случайная величина вероятностной меры в различных условиях (которых конечное число). Значения этой переменной соответствуют комплексу под индексов (говорят, пробегающих измерение) для различных альтернатив событий но для одного заданного события . Указанные значения подиндекса описываются далее теоретико-графовой моделью, в виде совокупности ветвей дерева состояний, соответствующих одному событию но, при этом, разным . Такие ветви образуют поддерево, номера веток которого и входят в используемый подиндекс , т. е. детали нумераций описываются теоретико-графовой моделью. Модель реализует отображение

.

Особенности расчета значений отображения описываются функциональной моделью системы.

### *Основные элементы теоретико-множественной модели среды*. Модель среды описывает различные альтернативные события в среде, проявляющиеся при ее функционировании на границе с системой согласно различным альтернативным планам в моменты :

Альтернативные события ведут к разным требуемым средой состояниям . Эти состояния - результат отображения календарного плана функционирования среды в возможные последовательности комплексных состояний , требуемых средой в различные моменты времени ее функционирования. Моменты : предполагаются неслучайными. Отображение календарного плана в состояния среды реализуется с использованием теоретико-графовой модели состояний при реализации календарного плана функционирования среды. Эта модель описывает отображение , как конечное множество точек графика дискретного случайного отображения. Каждая точка графика описывается мерой возможности и вектором характеристик, задающих требуемые состояния. Далее предполагается, что календарный план задан в виде упорядоченной последовательности действий в среде.

В результате теоретико-множественная модель функционирования системы в соответствии с множеством планов реализуемых в различных альтернативных условиях среды, описанных это кортеж :

Эта модель позволяет оценить многомерную вероятностную меру :

(4)

где под индексы пробегают (как переменные) элементы и возможные последовательности состояний, реализуемых при функционировании - подиндексы in . Тем самым, при оценивании потенциала подиндексы пробегают подмножество "измерений" , 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 согласно множеству планов используемых в различных условиях среды благодаря ее (среды) функционированию в соответствии с различными альтернативными календарными планами кортеж :

Эта модель позволяет рассчитать многомерную вероятностную меру :

(5)

в которой под индексы пробегают разные конечные множества (измерения), описывающие величины , и возможные в последовательностях событий , т.е. для возможных измерений комплексного индекса , который соответсвует (индексирует) возможные значения многомерной вероятностной меры по разным измерениям, описывающим разные возможные воздействий среды и изменения этих условий в разное время.

**Математические постановки задач исследования потенциала в теоретико-множественной форме.** *Постановка задачи оценивания потенциала в теоретико-множественной форме.* Постановка задачи в теоретико-множественной форме связывает значение показателя в общем виде с заданными сведениями за счет использования теоретико-множественных конструкций (множеств, предикатов, отображений) без указания конкретных значений зависимостей, в том числе - без указания конкретных значений чисел и индексов элементов множеств (в общей форме).

Дано: .

Найти: (6)

где многомерная вероятностная мера (многомерная случайная дискретная величина значений вероятностной меры в случайных условиях разного вида). Эта мера опеределена на измерениях (подиндексах) заданных для разных условий и и значений . Подиндексы - переменные целочисленные значения, описывающие возможные результаты функционирования в разных условиях. Эти значения заданы для последовательностей возможных состояний системы и ее среды в разных условиях. Они задаются отображением

, где

множество комплексных состояний системы, реализуемых ей на границе системы и среды при функционировании в моменты . Значения многомерной вероятностной меры задаются, как значения дважды неопределенных вероятностных предикатов согласно выражению 1 в коордианатах измерений, задаваемых под индексами . Эти предикаты формируют значения вероятностной меры 2,3,4 и 5.

значение одной из характеристик многомерной вероятностной меры , например момент или другие характеристики распределения . множество характеристик. Например, если это математическое ожидание , то:

(7)

представляет собой скалярный показатель показателя потенциала, вероятностную меру, заданную на интервале . Значение индикатора зависит от , как от параметров и от планов и затем, от значений .

Задача оценивания может быть представлена, как реализация композиций отображений .

*Постановка задачи анализа в теоретико-множественной форме.*

Дано: . Найти:

(8)

где многомерная вероятностная мера (многомерная случайная дискретная величина значений вероятностной меры в случайных условиях разного вида), заданная с использованием под индексов . Эти подиндексы порождены, как дополнительные "измерения" по координатам , полученные, как соответствующие (дополнительные к ) переменые подиндексы, описывающие переменные величины дважды неопределенных вероятностных предикатов согласно выражению 1 в координатах, изначально заданных для . Значения предикатов формируют значения в структуре многомерных вероятностных мер в соответствии с выражениями 2,3,4 and 5.

описывает конечные разности вероятностных мер по дополнительным координатам в сравнении с . Эти координаты соответствуют возможным значениям переменных .

функция аппроксимации.

Если операция нахождения функции аппроксимации, то задача анализа может быть представлена, как реализация композиций отображений .

### *Постановка задачи синтеза системы и технологий ее функционирования*

Дано:

Найти:

(9)

Где вектор оптимальных значений, взятых из множества альтернатив ; "измерения" , соответствующие возможным элементам ; многомерная вероятностная мера, определенная на измерениях для дополнительных измерений координат по как соответсвующих, дополнительных к ) переменных координат и координат (как переменных), имеющих вид значений дважды неопределенных предикатов согласно выражению 1 по координатам данным . Предикаты формируют структуру вероятностных мер соглачно выражениям 2,3,4 и 5. Если операция нахождения элемента (-ов) , удовлетворяющих критерию оптимизации , то задача анализа может быть представлена, как реализация композиций отображений .

### *Постановка задачи оценивания производительности использования информационных технологий.* Рассмотрим типичную задачу исследования производительности ис­­поль­зования информационных технологий или исследования эффектов диджитали­зации на основе исследования потенциала соответствующей системы, в которой ис­поль­зуются ИТ. В зависимости от используемой ИТ () при условии имеющихся данных о функционировании в изменяющихся ус­ловиях эффекты функционирования и потенциал системы будут отличаться, поскольку система будет реагировать на изменения и воздействия среды по-разному. В общем случае и постановка задачи исследования производитель­ности использования ИТ может быть сформулирована на основе постановки задачи исследования потенциала системы:

### Дано: . Найти:

(10)

где - моменты многомерной случайной величины вероятностной меры соответсвия в разных условиях и другие характеристики (квантили, параметры) распределения . Если, например, из используется математическое ожидание согласно уравнению 11, т. е. тогда

(11)

скалярный показатель , мера, принимающая значение in .

**В третьем разделе** предложены основы методологии исследования потенциала СТС. Описан метод методологизации проблемы исследования потенциала и на его основе разработаны основы методологии исследования потенциала СТС. Метод методологизации включает совокупность концептов и принципов методологизации, требования к моделям и методам моделирования в задачах исследования потенциала СТС, к методам и технологиям решения сформулированных в результате моделирования задач исследования. Основы методологии включают методы разработки функциональных моделей СТС и ее среды, функциональные модели СТС, функциональные модели среды СТС. Принцип схематизации моделирования состоит 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 был разработан комплекс математических моделей СТС и ее функционирования в изменяющейся среде.

***Классификация математических моделей задач исследования потенциала*** СТС приведена на рис. 6. Модели задач делятся по виду моделей задач в последовательности их порождения на модели: концептуальные, алгебраические теоретико-графовые, параметрические теоретико-графовые, функциональные теоретико-графовые, программные теоретико-графовые. Стрелкой показана последовательность порождения видов моделей.



Рис. 6. Виды моделей задач в последовательностях порождаемых моделей

|  |  |
| --- | --- |
|  | ;  ;  . |
| **Рис. 7 Теоретико-графовая модель функционирования среды СТС** | |

***Примеры теоретико-графовых алгебраических и параметрических моделей.***

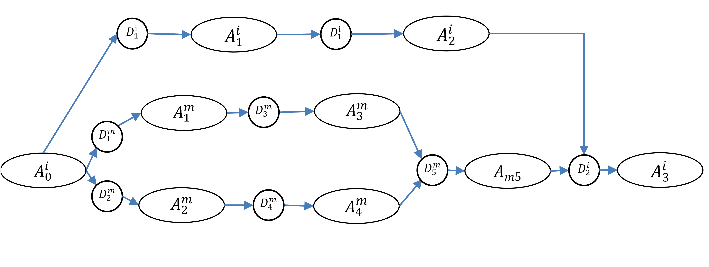
*Пример фрагмента теоретико-графовой модели среды****.*** Рассмотрим пример модели функционирования среды СТС при следующих исходных данных: Задана одна действительная и две возможных цели. Две возможных цели могут сменить действительную в любой последовательности и в разное время. Такая смена реализуется в результате действий в среде СТС. Эти действия неизвестны, но известны вероятностные характеристики сценариев смены действительной цели. Пример модели среды CTС показан на рис.7. Сценарии в верхней части рисунка – последовательности действий в окружающей среде, которые 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 перестает 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: , где индексы показывают возможные переходы между состояниями среды в результате действий в среде (в общем случае, действия неизвестны). Детерминированные моменты проверки состояния системы и ее среды следующие: Момент соответствует началу функционирования. Определим возможные последовательности требуемых состояний среды при и возможности реализации таких последовательностей: , где индексы представляют сценарий 0 и серийные номера 1,2,3 требуемых векторов состояний, соответствующие будущим (по отношению к моменту смены цели) моментам из . Например, этими требуемыми векторами состояний могут быть состояния, приведенные на Рис.7.

Здесь - требования к стоимости, - требования к количеству выпущенных изделий. Это базовая последовательность состояний, соответствующая ситуации, в которой исходная (действительная или реальная) цель не изменяется в моменты времени из *T*. Это (такие требования) также могут произойти (стать действительными) и из-за изменения цели между и (когда изменение целей уже не будет принято во внимание). Элементы этих последовательностей следующие: -состояние, требуемое при (всегда соответствует начальной цели);-состояние, требуемое при в случае, если изменение цели не произошло между и (таким образом, цель является начальной); -состояние, требуемое при , если изменение цели не произошло между и (так что цель является начальной); -состояние, требуемое при , если изменение цели не произошло между и (так что цель является начальной); -состояние, требуемое при , если изменение цели произошло между и и новая действительная цель – это ; и состояние, требуемое в в случае, если изменение цели произошло между и , и при этом новая действительная цель – . Последние два случая соответствуют ситуациям, в которых изменение цели не влияет на функционирование, поскольку функционирование должно заканчиваться в . Другими возможными рассматриваемыми последовательностями являются:

*,* : .

где индексы отображают сценарий 1 и серийные номера 1,2,3 требуемых векторов.

### *Примеры фрагментов функциональных моделей систем.* На рис. 8 а) и б) приведена схема технологических маршрутов между информационными и неинформационными рабочими местами (РМ) СТС и модель базового функционирования СТС.



1. б)

**Рис. 8. Схема технологических маршрутов a)**

**и функционирования СТС с учетом информационных операций б)**

### На схеме a): РМ, предназначенные для выполнения неинформационных (материальных) ТлОп; РМ, предназначенные для выполнения информационных операций. неинформационные ТлОп;

### Информационные ТлОп; система; среда системы.

### Эффекты ТлОп задаются, как случайные вектора ;

### ;; функция распределения с векторами параметров соответственно; Календарный план имеет векторную форму: . Здесь - календарный момент начала , . Технологический маршрут имеет вид одной информационной и двух неинформационных цепочек. Задан технологический маршрут в виде двух цепочек: для изготовления и сборки СЧ 1 и для изготовления и сборки СЧ 2 в изделие (на РМ 5).

### На схеме б) приведена модель функционирования СТС с учетом ожиданий () начала ТНИО. Модель возможных ТлОп (в том числе – ожиданий), выполняемых одновременно при функционировании СТС разработана в виде дерева возможных сечений модели функционирования СТС (записанной в виде ТлСе). Эта модель позволяет сформировать возможные состояния при прерывании функционирования СТС и переходе к новому функционированию. Она имеет комплексный вид, ее комплекс приведен на рис. 9 а), а симплекс (часть комплекса) на рис. 9 б).

Изображение выглядит как карта

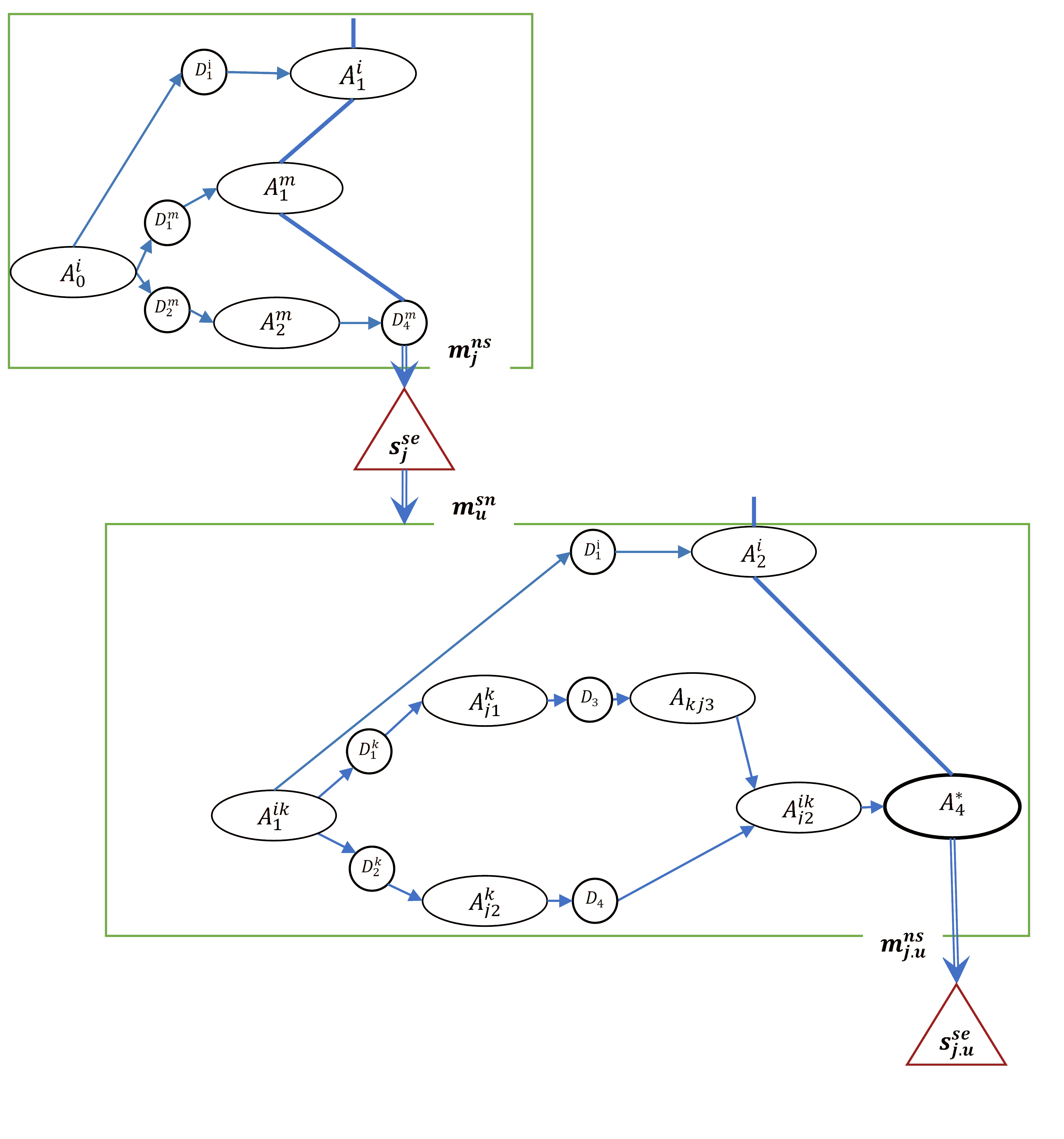
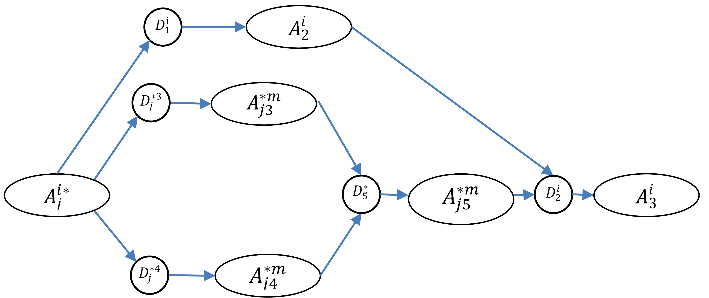
Автоматически созданное описаниеИзображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

а) б)

**Рис. 9. Комплексная модель прерываний функционирования СТС**

### - множество возможных состояний системы и среды при условии заданной последовательности требуемых состояний среды . возможное состояние системы и среды в заданный (средой СТС) момент времени . ; - случайное состояние СТС в заданный (средой СТС) момент времени Сеть, описывающая функционирование после прерывания представлена на рис. 10 а).



а) б)

**Рис.*10*. Модель продолжения функционирования а),**

**фрагмент цепи семейства альтернативных стохастических сетей операций б)**

### С использованием полученных фрагментов графовых моделей рассчитываются ассоциированные с моделями характеристики*:* - случайное состояние среды СТС в заданный (средой СТС) момент времени - множество возможных состояний СТС при ее функционировании; я ветвь на модели ТНИО , выполняемая на м РМ и соответствующая ветви . это состояние СТС, порождаемое выполняемыми ТНИО, соответствующими ветви . номер возможного состояния СТС; количество возможных состояний СТС; момент времени на интервале функционирования СТС.

### Для расчета скалярного показателя потенциала СТС с использованием ассоциированных значений следует рассчитать:

### ; >; ;

.

; (12)

; ;

; .

Предложено формализовать комплекс взаимосвязанных теоретико-графовых моделей с использованием семейств альтернативных стохастических сетей операций – вида введенного автором расширения графов (эшграф).

Совокупности построенных теоретико-графовых моделей позволяют рассчитать эффекты функционирования СТС в различных условиях, описываемых моделью среды СТС.

Вычисления выполняются на основе *функциональных моделей*. Рассмотрим *пример функциональной модели заданного функционирования СТС.* Значения вероятностной меры рассчитываются согласно алгебре вероятностей. В общем случае характеристики неинформационных состояний представляются, как характеристики случайных величин измеримых эффектов функционирования (неинформационных). Информационные эффекты функционирования заданы, как информация о возможных способах действий . Элементарные эффекты ассоциированы с начальными или конечными (финишными) состояниями для каждого способа действия. Пусть, для примера, эти эффекты - количество ресурсов и количество выпущенного продукта. Среди других характеристик состояний и - особый вид ресурса, время выполнения действия согласно способу действий . Время выполнения действия обусловливает моменты начала (активации) состояния действия и окончания действия. Обобщенная функциональная модель элементарного действия принимает вид :

(13)

Среди других возможных характеристик состояний начала и окончания - элементарные вероятности активации состояний и соответсвующих им переходов. Переход ассоциирован с конечным состоянием. Информация о реализации способа действия включает вектор характеристик , а также информацию для людей или устройств (актуаторов) о том, как реализовать (инструкции, описания) и другую информацию о (связи с другими и другими , правила выполнения ). Поясним возможную структуру указанных векторов на примере эффектов, допустив что двух параметров распределения вероятностей (а именно, левой и правой границ области распределения) достаточно для экспликации закона распределения и то, что число возможных конечных состояний при реализации конечно и равно :

(14)

Начальное состояние очередной равно конечному состоянию одной из предыдущих . Начальные и конечные состояния рассчитываются по функциям :

(15)

Обозначим матрица возможных характеристик ; граф возможных последовательностей , расчитывается с использованием обхода графа с применением функции примененной к каждому в последовательности , и как матрица характеристик графа . Тогда,

(16)

позволяет рассчитать значения элементов в корректной последовательности, заданной графом .

### Пример фрагмента *функциональной модели среды.* многомерный мас­сив требуемых значений затраченных ресурсов, произведенного продукта и требуемых моментов окончания действий среды на границе с системой (для которых система должна обеспечить требуемые состояния системы на границе) для разных способов действий среды согласно планам . Эти значения характеристик среды используются для расчета требуемых величин ресурсов , произведенных продуктов и моментов времени , в которые требуется завершить множества действий среды согласно способам этих действий в разные моменты функционирования системы. Моменты и предполагаются детерминирован­ными, но значения в общем случае, случайны, т. е. . Тем не менее, далее используем предположение, что все требуемые значения неслучайны, но события, состоящие в актуализации различных требований, случайны.

### многомерный массив вероятностей соответствующих случайных событий, состоящих в том, что требования актуализируются. Эти вероятности, рассчитанные как значения вероятностных предикатов, описывающих события, состоящие в том, что в момент множества требуемых действий среды будут готовы начаться (поскольку необходимые для их начала действия выполнены). Это событие состоит в том, что требования актуализированы, что влечет требования к функционированию системы, согласно введенного отношения на характеристиках эффектов:

(17)

Обозначим функция, которая позволяет рассчитывать требуемые значения характеристик состояний среды в зависимости от моментов , событий и планов функционирования среды с учетом предыдущих требуемых значений характеристик и предыдущих событий : . Функциональная модель среды позволяет рассчитать многомерный массив требуемых средой состояний на границе с системой:

(18)

Она позволяет рассчитать в их последовательности, заданной деревом состояний среды, начиная с нулевого состояния и согласно последовательностям переходов .

Примеры *функциональных моделей взаимодействия системы и среды.* На основе многомерных массивов and рассчитываются значения предикатов для всех элементов многомерных массивов, таким образом рассчитывается многомерный массив значений вероятностей предикатов:

(19)

Здесь, функция распределения вероятностей потребленного ресурса , прогнозируемого для расходования при реализации и построенная согласно отношениям () и G согласно последовательностям и множествам состояний, сформированных на основе этого графа) для аргумента , представляющего собой требуемое значение потребленного ресурса;

функция распределения вероятностей произведенного продукта , прогнозируемого в результате и построенная согласно отношениям:

( relation) и (согласно последовательностям и множествам состояний, сформированных на основе этого графа) для аргумента , представляющего собой требуемую величину произведенного продукта.

функция распределения вероятностей момента времени окончания , построенная согласно отношению и (согласно последовательностям и множествам состояний, сформированных на основе этого графа) для аргумента , представляющего собой требуемое значение момента окончания .

Пример математической постановки задач в функциональном виде. Задача расчета может быть представлена, как расчет многомерной вероятностной меры согласно выражениям 13 - 19, с последующим решением соответствующих задач синтеза (Выражения 9,12) в функциональном представлении. Пусть операции (в алгебре теории вероятностней), заданные в зависимости от структуры деревьев состояний и переходов системы и среды в виде результате обходов этих деревьев с расчетом пометок (заданные "на" деревьях). Согласно обходам деревьев в ширину или глубину, в случае функциональных зависимостей значения вероятностей перемножаются для каждой ветви дерева. Такое расчет, тем самым, реализуется для вероятностей состояний и переходов, вызванных одной цепочкой причинно-следственных связей состояний при функционировании системы и среды. Соответственно, индексы альтернативных , . Тогда, в качестве скалярного значения показателя потенциала используем математическое ожидание случайной величины Задача синтеза примет следующий вид.

Дано: Рассчитать:

(20)

***Примеры структур данных и вычислений, используемых для разработки программной модели исследования СТС (модель среды).***

1. Дерево сценариев актуализации целей. Предполагается, что цели могут меняться (или не меняться) только в последовательностях, соответствующих сценариям, ассоциированным с полными ветвям дерева. Комплексный номер вершины дерева – список, один из возможных частных списков целей, которые актуализируются в указанном веткой порядке при сценарии, проходящем через соответствующую вершину.
2. Соответствие между целью и списком требований вида , где номер цели в последовательности, момент времени проверки соответствия эффектов функционироввания требованиям. Задается таблицей, определенной в массиве исходных данных. Соответсвующий список ассоциирован с каждым узлом дерева .
3. Номер цели задается, как список целых чисел, длина которого соответствует числу целей, которые могут стать актуальными в последовательности, а элементы - целые числа, номера актуализированных в последовательностях возможных целей на каждом из возможных этапов смены цели. Этапы смены рассматриваемой цели - целое число возможных событий, которые могут привести к той или иной возможной цели (соответствуют ребрам дерева). Тем самым, сохранение действительной цели тоже рассматривается, как событие, состоящее в сохранении действительной цели в такой ситуации, что после действительной могла бы быть актуализирована одна из возможных целей.
4. Случайные моменты времени начала и окончания интервалов актуализации ; Распределения вероятностей на возможных списках целей, ассоциированных с вершинами дерева (частное, для каждого уровня дерева, т. е. для и полное, для висячих вершин).
5. Горизонт планирования , где я полная ветвь дерева ; Сетка интервалов времени («временная сетка») вектор интервалов времени для каждого . Рассчитывается, задаваясь, для каждого интервала максимально возможным целочисленным числом разбиений интервала на части так, чтобы еще выполнялось условие , где заданная допустимая ошибка определения момента времени внутри интервала.
6. Каждой полной ветви дерева сопоставляется список возможных последовательностей интервалов (ячеек) из , ведущих к актуализации заданной цели в момпент времени, заданный ячейкой, при условии актуализации предыдущих целей в моменты, соответсвующие предыдущим ячейкам для вершин на дереве , предшествующим заданным вершинам. Числа ячеек на одну вершину могут отличаться для разных . Для расчетов необходимы совокупности возможных последовательностей ячеек для полных ветвей дерева .
7. Для первой ветви дерева (безальтернативное достижение действительной цели) указанных представителей из в будет один и в точности число для . Все они будут соответствовать событию, состоящему в том, что действительная цель могла, но не была сменена на возможную на соответствующем интервале времени и цель не была альтернирована. Для каждой полной ветви списки формируют двумерный список (массив) возможных полных последовательностей целей, заданных в моменты, заданные интервалами времени (ячейками) . Каждый такой массив ассоциируется с каждой полной ветвью дерева.
8. Длина и равна числу этапов, связанных с возможным альтернированием цели в соответствующей ветке, плюс первый этап, соответствующий действительной цели (нулевому событию смены цели). Соответственно, структура может различаться для разных полных ветвей дерева. Тем самым, последовательности формируются, как комплекс всех возможных представителей для каждого из , разделенного на рассчитанное число . Совокупность полученных и для каждой полной ветви образуют многомерный список (матрицу) .
9. В кроме структурной модели альтернирования требований во времени добавляют характеристики альтернирования в каждый из заданных структурой моментов времени и характеристики актуализации ветвей . Особенности ассоциирования характеристик с теоретико-графовыми моделями и расчета характеристик описаны ниже. Совокупность для разных ветвей образуют многомерный список (массив) . Полученная структурная модель и возможной последовательности изменения состояний комплексируется с соответствующей ей моделью состояний системы с использованием модели реализации информационных операций. Полученная структурная модель среды позволяет рассчитать структуру событий по смене целей, их вероятности и комбинации моментов времени смен целей и используется для того, чтобы сопоставить модель среды с моделью функционирования системы в модели реализации информационных операций. С использованием элементов , модели системы и модели информационных операций рассчитываются значения показателя потенциала.
10. Списки служат основой для порождения структур требований к функционированию в моменты для каждой и соответсвенно, актуализации изменений этих требований. Для описания требований при условии актуализации (новой) цели в заданный интервал (для заданной ячейки) каждому элементу сопоставляют ячейки , меньшие по времени (находящиеся до) соответствующей ячейки , в которой рассматривается возможность альтернирования и которая выбирается при формировании каждого элемента . Тем самым, выбираются ячейки, в которых могут быть проверены требования до актуализации новых требований в результате альтернирования. Эти ячейки формируют еще одно измерение массива - со значениями требований, задавая, тем самым, массив . Подробно его формирование описано ниже. Заметим, что в случае, если цель не альтернируется (остается действительной), требования не меняются и совокупности фрагментов для подпоследовательностей , для которых цель не меняется, остаются одинаковыми.
11. Число возможных последовательностей ячеек , на каждом этапе рассчитано с учетом количества и может отличаться для разных вершин дерева. Число последовательностей для полной ветви равно . Сформированную структуру заполняют значениями требований по заданным . При этом моменты сопоставляют и в том случае, если момент попадает на интервал вектор требований заносят в соответсвующие ячейки , а в остальных ячейках оставляют . Тем самым получают заполненный многомерный список (массив) .
12. Каждый многомерный список требований, соответствующий в этом массиве одной последовательности с заполненными требованиями в интервалы времени, является промежуточным данным для расчета вероятностей актуализации требований, последовательностей альтернируемых сетей и состояний переходов между сетями, а затем вероятностей соответствия эффектов требованиям в разных условиях. Каждый список порождает отдельную совокупность расчетов вероятностей актуализации требований и сетей, их возможных сечений и вероятностей этих сечений. Формируются возможные последовательности сетей для одной последовательности требований и затем, рассчитываются вероятности успешности функционирования в различных условиях (для разных последовательностей сечений, одной последовательности требований ).
13. Полученные значения записываются в дополнительные измерения списка , формируя многомерный список , задающий комплекс связанных законов распределения вероятностей, описывающих потенциал системы.

**В четвертом разделе описаны** методики решения практических задач исследования потенциала СТС. Типовая методика решения практических задач включает:

1. Комплекс частных концептуальных и математических моделей.
2. Комплекс частных методов использования моделей.
3. Постановку решаемой частной практической задачи.
4. Описание подготовки исходных данных решаемой практической задачи.
5. Описание процедур интерпретации результатов решения математической задачи для практики.
6. Пример решения задачи.

Примеры методик решения прикладных задач исследования потенциала приведены в [7-10,13] (методики комплексного исследования риска и потенциала систем), [14-18] (методики исследования потенциала при реализации модернизации), [19] (исследование потенциала и конкурентоспособности) а также в более чем 10 НИР и ОКР, выполненных с участием автора.

Для решения задач исследования потенциала систем разработан прототип программного комплекса решения задач исследования потенциала систем. Прототип создан с использованием JavaScript и HTML и представляет собой комплекс интерактивных web-приложений. Приложения описаны в [47-51].

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы по работе.

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ**

Диссертационная работа связана с решением крупной научно-технической проблемы и развитием нового научного направления – теории потенциала сложных технических систем, с исследованием прагматических свойств систем, функционирующих в условиях изменений среды, подвергающимся цифровой трансформации.

Полученные результаты соответствуют пунктам «2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», «3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», «4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», «5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», «7. Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем» и «8. Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем» паспорта специальности 05.13.01– Системный анализ, управление и обработка информации.

Значение диссертации для экономического развития страны определяется тем, что в ее рамках исследованы возможности совершенствования систем в условиях изменяющихся условий, цифровизации экономики и общества, которые не исследовались ранее в должной мере аналитически, с использованием математических моделей функционирования систем с использованием информационных технологий.

Перспективные направления использования теории потенциала СТС включают исследования цифровизации экономики, развития информационного общества, стратегического планирования, в том числе государственных целевых программ развития, совершенствования обороноспособности и безопасности государства.

Результаты исследований поддержаны грантами РФФИ [16-08-00953](https://kias.rfbr.ru/index.php), 20-08-00649 (руководитель), 19-08-00989, [15-08-01825](https://kias.rfbr.ru/index.php), [13-08-00573](https://kias.rfbr.ru/index.php) (участник научного коллектива).

**ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ 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 ее 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 нечетких 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 неопределенности/ З.З. Багаутдинов, А.С. Гейда, И.В.Лысенко, О.В.Лысенко//Системы управления и информационные технологии. –Воронеж, 2009.–№ 34 (4).– C.36-41.
8. *Гейда А.С.* Исследование эффективности и риска проектов в сложных организационно-технических системах/ Гейда А.С., Багаутдинов З.З., Лысенко И.В.//Проблемы управления рисками в техносфере. – СПб., 2009.–№ 4.–C.46-50.
9. *Гейда А.С.* Метод оценивания эффективности и риска проектов / З.З. Багаутдинов, А.С. Гейда, И.В.Лысенко//Управление риском. – М., 2009.–№ 3.– C.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.– C. 47-55.
11. *Гейда А.С.* Задачи исследования качества и потенциала СТС / Гейда А.С., Лысенко И.В., Силла Е.П. //Информационно-управляющие системы, C.-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 / Гейда А.С., Лысенко И.В. // Информация и космос. – Vol. 7.– 2011 г.
14. *Гейда А.С.* Планирование инновационной деятельности в интересах создания приоритетных образцов изделий// Современные проблемы науки и образования. Издательский Дом «Академия Естествознания» М., 2011.– № 5. С. 1-7.
15. *Гейда А.С.* Методика планирования инновационной деятельности с учетом приоритетности создаваемых изделий техники / Гейда А.С. Лысенко И. В., Седлов Е.В. // Информационные технологии моделирования и управления. М.: Издательство "Научная книга".–№ 7 (72).– С. 747-754.
16. *Гейда А.С.* Планирование инновационной деятельности с учетом приоритетности изделий / Гейда А.С., Лысенко И. В., Седлов Е.В. // Системы управления и информационные технологии. М.: Издательство "Научная книга». – 2011.– № 3.2 (45) С. 220-224.
17. *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.
18. *Гейда А.С. Лысенко И. В.* Автоматизация решения задач исследования потенциала систем и эффективности их функционирования/Гейда А.С., Лысенко И.В.//Труды СПИИРАН. – 2012. Вып. 22.– С. 260–281.
19. *Гейда, A.C.* Методика оценивания конкурентоспособности продукции военного назначения и выпускающих ее предприятий на основе исследования операционных свойств систем / A.C. Гейда, И.В. Лысенко, Карачев А.А. // Оборонная техника. – 2012. – №8. – C.2–39.
20. *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.
21. *Гейда А.С.* Отношения эффективности функционирования, потенциала систем и смежных операционных свойств / Гейда А.С., Исмагилова З. Ф., Клитный И.В., Лысенко И. В. // Труды СПИИРАН, Вып.4(41). 2015.– С.218–246.
22. *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.
23. *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.
24. *Гейда А.С.* Модели и методы аналитического оценивания потенциала совершенствуемых систем // Современные наукоемкие технологии. М., №12 (Вып.1), 2018. DOI 10.17513/fr.42325
25. *Гейда А.С.* Методологические основы аналитического оценивания результативности цифровизации экономических систем // Фундаментальные исследования. М., №11 (Часть 2), 2018. С. 211-215. DOI 10.17513/fr.42325
26. *Гейда А.С.* Концепция немонетарного оценивания инвестиционных проектов на основе прагматических свойств систем // Фундаментальные исследования. (в печати).

***Основные статьи в отечественных и зарубежных изданиях, индексируемых Web of Science и Scopus.***

1. *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.
2. *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. C. 241-270.
3. *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.

1. *[Geyda, A.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57203339469" \o ")S.,* [Lysenko, I.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57203338399) Modeling of information operations effects: Technological systems example // *Future Internet,* 2019, 11(3), 62.
2. *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.
3. *Geyda, A.S.* Digitalization Effects and Indicators Estimation // Conference of Open Innovation Association, FRUCT, 2019, p.p. 95-101, 8981503
4. *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.
5. *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.
6. *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, p.p 67-74, 2020.
7. *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): 2020 26th Conference of Open Innovations Association (FRUCT): IEEE, 20.04.2020 - 24.04.2020. – p.p.1–9.
8. *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.,2020.
9. *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.

***Монографии и главы в коллективных монографиях:***

1. *Гейда А.С.* Метод сквозного использования универсальных языков моделирования в задачах стратегического аудита проектов// В книге: Новое в государственном управлении. Вып. 2.
2. *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.
3. *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 и др.]; [отв. ред. Е.И. Иванова] Гос. НИИ СП РФ.– М.: Воентехиниздат, 2010.– 216 с. С.89-108.
4. *Geyda A.S.* Dynamic Capabilities Indicators Estimation of Information Technology Usage in Technological Systems // Recent Research in Control Engineering and Decision Making. Springer Nature Switzerland AG 2019. O. Dolinina et al. (Eds.): Studies in Systems, Decision and Control volume 199, pp. 379–395, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12072-6\_31

***Участие в конференциях в 2020-2021 г.***

1. *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. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65283-8_34>.
2. *Geyda A.S.* Probabilistic graph-theoretic models for dynamic and information capability problems research // Международная научно-техническая конференция «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении 2020» (*ICMTMTE* 2020). Sebastopol, Russia. 7-11.09 2020 г.
3. *Гейда А.С.* Графо-вероятностные модели исследования потенциала систем // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий. *ПНРОИТ - 2020*. Межрегиональная научно-практическая конференция. 22 - 26 Сентября 2020. г. Севастополь. 2020.
4. *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 Mashinery, USA. 2020. (*A++, Высокорейтинговая*)
5. *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. (*A, Высокорейтинговая*)
6. *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.
7. *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. ( в печати)
8. *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. p.p 67-74, 2020.
9. *Geyda A.S.* Families of Alternative Stochastic Action Networks: Use for Process Science. 28th Conference of Open Innovations Association (*FRUCT*): 2021 28th Conference of Open Innovations Association (FRUCT): IEEE, Moscow. 25.01 - 29.01 (в печати).

*Автореферат диссертации*

Гейда Александр Сергеевич

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА

СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Текст автореферата размещен на сайтах:

Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки

Российской Федерации

<http://vak.ed.gov.ru/dis-details?xPARAM=195423>

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации

Российской академии наук (СПИИРАН)

<http://www.spiiras.nw.ru/dissovet/geida/>

Подписано в печать .07.2021 г.

Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз.

Заказ №

Отпечатано в ООО «Издательство “ЛЕМА”»

199004, Россия, Санкт-Петербург, В.О., 1-я линия, д. 28

тел.: 323-30-50, тел./факс: 323-67-74

e-mail: [izd\_lema@mail.ru](mailto:izd_lema@mail.ru)

<http://www.lemaprint.ru>