

На правах рукописи

Спасский Ярослав Борисович

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПОРТОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ НА ОСНОВЕ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

05.13.12 – системы автоматизации проектирования
(машиностроение)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2012

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор

Юревич Евгений Иванович

Официальные оппоненты: **Золотов Александр Максимович**

доктор технических наук, старший научный сотрудник; ФГБОУ ВПО «СПб ГПУ», профессор

Крылов Борис Алексеевич кандидат технических наук; НИУ ИТМО, доцент

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Государственная морская академия имени адмирала С.О. Макарова»

Защита состоится 18 декабря 2012 г. в 16:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.21 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» по адресу: 192251, Санкт-Петербург, Политехническая улица, 29, Главное здание, ауд. 130.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургского государственного политехнического университета».

Автореферат разослан «__» ноября 2012 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.229.21

доктор технических наук, профессор

Редько Сергей Георгиевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время остро стоит задача повышения качества и сокращения сроков проектирования распределенных человеко-машинных систем, типа портовых терминалов и подобных объектов транспортной инфраструктуры. Современные требования к проектированию портов не соответствуют практике проектирования и существующей нормативной базе, регламентирующей работу в сфере создания и эксплуатации объектов морской транспортной инфраструктуры. Существующая нормативно-техническая документация значительно ограничивает возможности проектирования и понижает конкурентоспособность современных отечественных проектно-конструкторских организаций, в том числе по сравнению с зарубежными конкурентами, проектные работы которых носят интегрированный характер и в высокой степени автоматизированы. Такое положение не является исключительным в отношении портов, и эта проблема актуальна для многих типов распределённых человеко-машинных систем.

Решить поставленную задачу возможно только путём создания высокоэффективных систем автоматизированного проектирования, основанных на использовании современных методов моделирования и инженерного анализа.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является повышение эффективности технологического проектирования распределённых человеко-машинных систем типа портов и увеличение точности расчётов путём использования имитационного моделирования.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решаются следующие основные задачи:

- Разработка методологии моделирования и доказательства адекватности соответствующих моделей.
- Разработка математической модели учёта внешних воздействий.
- Разработка на этой основе методики проектирования сложных распределённых человеко-машинных систем.

Методы исследований. Проведение исследований базируется на теоретических и экспериментальных методах имитационного моделирования сложных распределенных человеко-машинных систем.

Научная новизна работы состоит в разработке методов и моделей для решения актуальной задачи автоматизации проектирования сложных распределённых человеко-машинных систем. Основные научные результаты, определяющие новизну исследования, заключаются в следующем:

- разработана методика синтеза мультиагентных имитационных моделей распределённых человеко-машинных систем;
- предложен принцип их адаптивности, лежащий в основе методики синтеза моделей;
- разработана методика учета гидрометеорологических помех на основе их новой классификации;
- разработана основанная на предложенной модели методика технологического проектирования сложных человеко-машинных систем на примере портовых терминалов.

Практическая значимость проведённого исследования состоит в повышении эффективности проектирования распределённых человеко-машинных систем типа

портовых терминалов, а также управления такими объектами. Это подтверждено экспериментально применением разработанной методики на ряде реальных объектов.

В частности, пропускная способность угольного терминала в порту Ванино, рассчитанная по предложенной методике, отличается от статистической на 8%, тогда как результаты аналитического расчёта отличаются от статистических данных на 17%.

Коэффициент использования ресурса причальной стенки $K_{исп}$, рассчитанный в результате экспериментов с разработанной имитационной моделью, отличается от статистических данных на 9%, тогда как нормативный аналитический расчёт вообще предполагает использование $K_{исп}$ как исходного при проектировании.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Методика построения мультиагентных имитационных моделей распределённых человеко-машинных систем типа портовых терминалов, позволяющая моделировать наиболее сложные подобные системы, в том числе, в реальном времени.

2. Разработанная на основе предложенного метода моделирования методика компьютеризированного технологического проектирования подобных человеко-машинных систем и применения таких моделей при оперативном их управлении.

3. Качественно более эффективный учёт гидрометеорологической обстановки применительно к объектам морской транспортной инфраструктуры.

4. Рекомендации по применению разработанной методики, основанные на типизации подобных объектов, предлагаются, помимо портовых объектов, для исследования более широкого класса человеко-машинных систем, включая транспортно-логистические.

Реализация результатов исследования. Результаты исследования диссертационной работы внедрены в инжиниринговой компании ООО «Морстройтехнология», специализирующейся на проектировании универсальных и специализированных, в том числе контейнерных, портовых и внепортовых терминалов. Материалы исследований конкретных портов включены в курсы лекций «Транспортно-технологические системы доставки грузов» и «Основы логистики» в Государственной морской академии им. адм. С.О. Макарова, а также в курс специализированных лекций по тематике работы для профильных организаций.

Апробация результатов. Результаты теоретических и экспериментальных исследований с применением разработанной имитационной модели докладывались автором на конференциях «Неделя Науки СПб ГПУ» в 2008, 2009 и 2010 годах, на научно-практической конференции с международным участием «Системный анализ и логистика на транспорте» 21-22 апреля 2011 года.

Адекватность разработанных методик подтверждена экспериментальными исследованиями ряда контейнерных терминалов («Первый Контейнерный Терминал», «Петролеспорт» и «Моби Дик» Большого Порты Санкт-Петербург, терминал порта Ванино, терминал НУТЭП и специализированный терминал Новороссийского Морского Торгового порта), угольных терминалов («РосТерминалУголь», порта Усть-Луга; порта Раджин, Северная Корея, терминалов в портах Ванино и Восточный, специализированный комплекс в бухте Мучке). Среди исследованных навалочных терминалов – терминал минеральных удобрений «Еврохим» и «Балтийский Металлургический Терминал» для железорудного концентрата в порту Усть-Луга. Терминалы генеральных грузов были исследованы на примере терминала металлогрузов «БМТ»; ро-ро терминалы – на примере автопаромного комплекса в Вистино (Ленинградская область).

Публикации по теме работы. Всего автор имеет 11 публикаций. По теме диссертации опубликовано 9 печатных трудов, из них 4 работы в изданиях, рекомендованных ВАК, в которых полностью отражены полученные результаты.

Структура и объём диссертации. Структура диссертационной работы определена логикой и целью исследования. Она состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы, который включает 204 наименования. Материал изложен на 200 страницах основного текста, содержит 108 рисунков, 24 таблицы и два приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи исследований. Отражены научная новизна и практическая значимость работы, перечислены основные результаты и положения, выносимые на защиту, а также дан краткий обзор диссертации по главам.

В первой главе «Аналитические методы проектирования сложных человеко-машинных систем» диссертационной работы даётся анализ общего состояния отечественных и зарубежных исследований по теме диссертации. Проведён подробный критический анализ отечественной нормативно-технической документации и современного состояния правового поля в рамках проектирования портов. Выявлены проблемы её применения в контексте автоматизации технологического проектирования.

Рассмотрены альтернативные нормативному и применяемые в современной практике методы проектирования портов и терминалов, выявлены их недостатки и предложены возможности совершенствования.

Также, внимание уделено вопросу автоматизации процессов проектирования. Под автоматизацией проектирования понимают систематическое использование ЭВМ в процессе проектирования при обоснованном распределении функций между человеком и ЭВМ и выборе методов автоматизированного решения технологических задач.

В проектировании портов успешно применяются такие автоматизированные системы как «САПР-Гидротехника» для расчёта гидротехнических сооружений, «Смета-ПИР» и «Смета-ИЗ» для проведения сметных расчётов. Сведения об автоматизированных системах создания технологической составляющей проекта порта в отечественной литературе отсутствуют.

В заключении главы показано, что современная нормативная база, регламентирующая процесс создания портов значительно устарела, а состояние автоматизации процесса их проектирования находится на начальном уровне. Соответствующие средства автоматизации предлагается создавать на основе имитационного моделирования.

Во второй главе «Имитационная модель портового терминала» всесторонне рассматривается основной метод, применяемый в данном исследовании. Здесь приведены и проанализированы основные принципы построения имитационных моделей сложных человеко-машинных систем. Проведен анализ зарубежной и отечественной литературы, рассмотрено современное состояние моделирования в области автоматизации технологического проектирования и вопрос моделирования метеоусловий в частности.

Использование агентного имитационного моделирования позволяет учесть при проектировании многочисленные неформализованные факторы, определяющие эффективность эксплуатации создаваемого терминала.

При имитационном моделировании воспроизводится сам процесс функционирования системы. Это достигается за счет имитации элементарных событий, составляющих этот процесс и влияющих на него. Воспроизведение логической структуры и последовательности протекания событий во времени позволяет по исходным данным определять состояние процесса в любой момент времени, что даёт возможность оценить требуемые характеристики системы.

Имитация, как метод решения нетривиальных задач, получила начальное развитие в связи с созданием ЭВМ в 1950х-1960х годах. Тогда были созданы три наиболее известные «классические» парадигмы имитационного моделирования: системная динамика (Дж. Форрестер), дискретно-событийное моделирование (Дж. Гордон) и динамические системы. Как раз на этой основе советские учёные Е.Н. Воевудский и М.Я. Постан и создали одни из первых моделей для проектирования и управления деятельностью портов. После имитационное моделирование нашло широкое применение в портовом хозяйстве благодаря трудам В.А. Погодина и А.Л. Кузнецова.

Огромный вклад в развитие представлений об имитационном моделировании и в науку внесли видные отечественные учёные Р.М. Юсупов, Ю.Г. Карпов и В.Д. Боев.

На основе исследований в области распределенных компьютерных систем, развития сетевых технологий и параллельных вычислений, совершенствования вычислительных средств относительно недавно, в начале XXI века, сформировалось новое направление имитационного моделирования – мультиагентное, которое в настоящее время является одним из наиболее перспективных направлений развития моделирования.

На основании анализа различных парадигм имитационного моделирования и принимая во внимание «парадокс универсальности» (кратко, его можно сформулировать так: «чем точнее модель описывает реальную систему, тем менее она универсальна и наоборот») был сделан вывод о необходимости и синтезирована **методика построения мультиагентных имитационных моделей распределённых человеко-машинных систем типа портовых терминалов, позволяющая моделировать наиболее сложные подобные системы**. Такие модели обладают всеми преимуществами имитационных моделей, но при этом не «привязаны» к одному конкретному объекту, а предоставляют возможность моделировать любой конкретный экземпляр из класса объектов. Такая модель – максимально параметризуемая, с минимальным необходимым числом параметров.

Детально рассматривается обоснование выбора платформы моделирования. Проводится сравнение имеющихся платформ, их положительные и отрицательные стороны. В главе подробно представлена и описана структура и архитектура созданной модели, которая в общем виде представлена диаграммой на Рис. 1.

В отличие от традиционных имитационных моделей, разработанная модель системы «грузопоток-фронт-склад» является *адаптивной* моделью для расчёта *любого* терминала. Свойство адаптивности достигается за счёт специфического описания бизнес-процессов на этапе разработки агентной модели и благодаря увеличению параметризуемости модели что, разумеется, усложняет процесс работы с ней. На Рис. 2 представлен рабочий интерфейс программной среды AnyLogic, демонстрирующий связи этих элементов имитационной модели на примере терминала для перегрузки контейнеров.

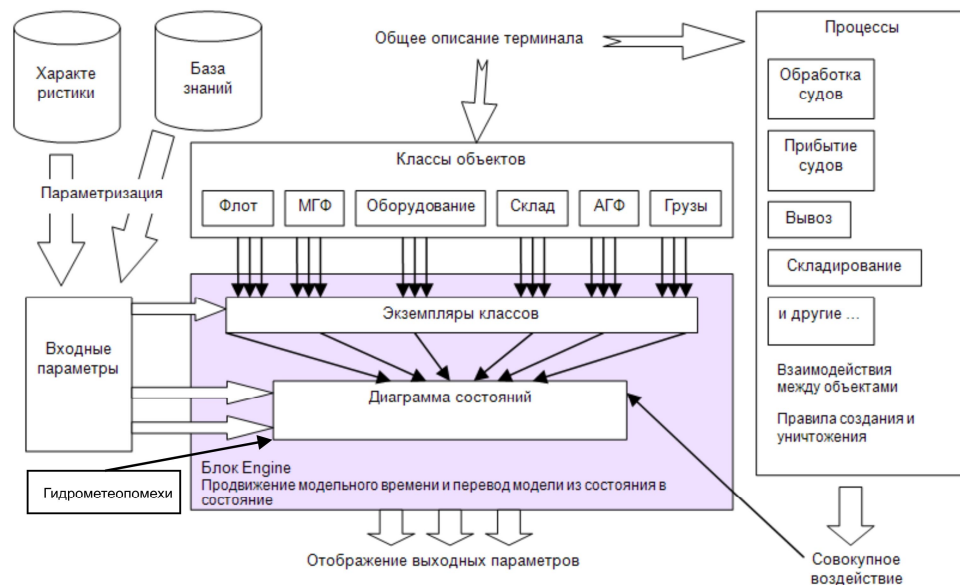


Рис. 1 – Обобщённая схема функционирования имитационной модели

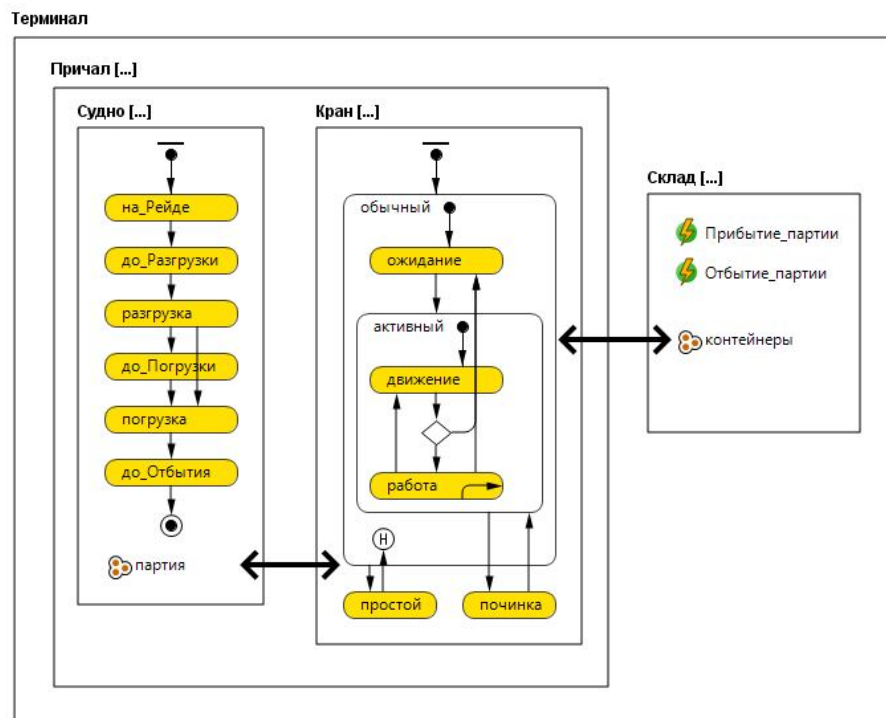


Рис. 2 – Диаграмма состояний модели в AnyLogic

Отдельный раздел главы посвящён разработанной на основе предложенного выше метода моделирования методике компьютеризированного технологического проектирования подобных человеко-машинных систем и применению моделей при оперативном их управлении. Описаны имитационный эксперимент, исходные и выходные данные, сбор, анализ и предоставление результатов моделирования.

Особое место в главе уделено вопросам адекватности моделей и способам доказательства их адекватности. В частности, рассмотрена «методика рекапитуляции», разработанная специально для этих целей с непосредственным участием автора.

Предлагаемая процедура установления адекватности агентной имитационной модели предполагает последовательное краткое повторение этапов развития методов расчета, в связи с чем может быть названа рекапитуляцией (от лат. *Recapitulatio* – повторение), что в биологии означает повторение признаков далёких предков в онтогенезе современных организмов.

В третьей главе «Внешние воздействия на систему флот-порт» рассматриваются основные воздействия на рассматриваемую систему со стороны среды её функционирования. Описан анализ природы и характеристик действия метеоусловий. Показано, что они могут иметь различную природу от экономической и социальной до техногенной и природной. С точки зрения технологического проектирования морских и речных портов основным таким воздействием является гидрометеорологическая обстановка в регионе. Поэтому математическая модель внешних воздействий на описанную в Главе 2 систему «порт-флот» отражает влияние неблагоприятных гидрометеорологических факторов на функционирование перегрузочного оборудования и транспортных судов.

В главе приведён подробный анализ нормативной документации по вопросу учёта воздействия климатической обстановки на порты и транспортные суда. Выявлено *противоречие* между современными требованиями рынка и методами, показанными к применению в обязательной нормативно-технической документации. Методической причиной указанного противоречия является отставание развития нормативно-правовых документов от бурно эволюционирующего рынка транспортных услуг.

Например, это противоречие выливается в проблему учёта метеопомех в общем и различных их составляющих в частности. Показано, что информация о разделении метеорологических факторов на отдельные составляющие с целью более детального учёта влияния гидрометеопомех на функционирование портов не встречается ни в отечественных, ни в зарубежных публикациях. Таким образом, *состояние разработки темы* на данный момент можно оценить как недостаточное.

Из практики эксплуатации портов следует, что метеопомехи не уменьшают бюджет работы всего терминала в целом, а лишь на время останавливают функционирование его отдельных компонентов и связанной с ним морской транспортной системы. Можно констатировать, что в реальных условиях при воздействии негативных погодных условий имеет место увеличение времени стоянки судна у причала или на рейде, а не сокращение общего бюджета времени, возможного для производства портовых операций, хотя в теории, это, несомненно, так.

Отдельно в работе проводится исследование пропускной способности порта в зависимости от неучтённых Нормами ледовых условий. Проводится анализ влияния ледовой обстановки на величину коэффициента $K_{мет}$.

В рамках данной главы приведена предложенная автором классификация помех и оценка их взаимного влияния. Вариативность гидрометеоусловий в технологическом проектировании вносит серьёзные коррективы в эксплуатационные показатели работы таких технически сложных и капиталоемких составляющих морских портов и терминалов, какими являются причалы и перегрузочное оборудование. Также нельзя не учитывать влияние факторов, связанных с гидрометеоусловиями, на выбор оптимального состава и количества данных ресурсов.

Гидрометеоусловия, понимаемые в общем смысле, – осадки, ледовая, ветровая и волновая обстановки – влияют на эксплуатационные показатели терминала по-разному (Рис. 3):

- ледовая обстановка затрудняет подход судов, и, тем самым, приводит к появлению неравномерностей в виде временных сгущений и разрежений (формированию «пачек» судозаходов);
- ветровая обстановка приводит к необходимости прекращения грузовых операций.
- волновая обстановка вызывает невозможность швартовки судна (простой на рейде) или необходимость отшвартовки и ухода на рейд (прерывание грузовых операций и простой на рейде).

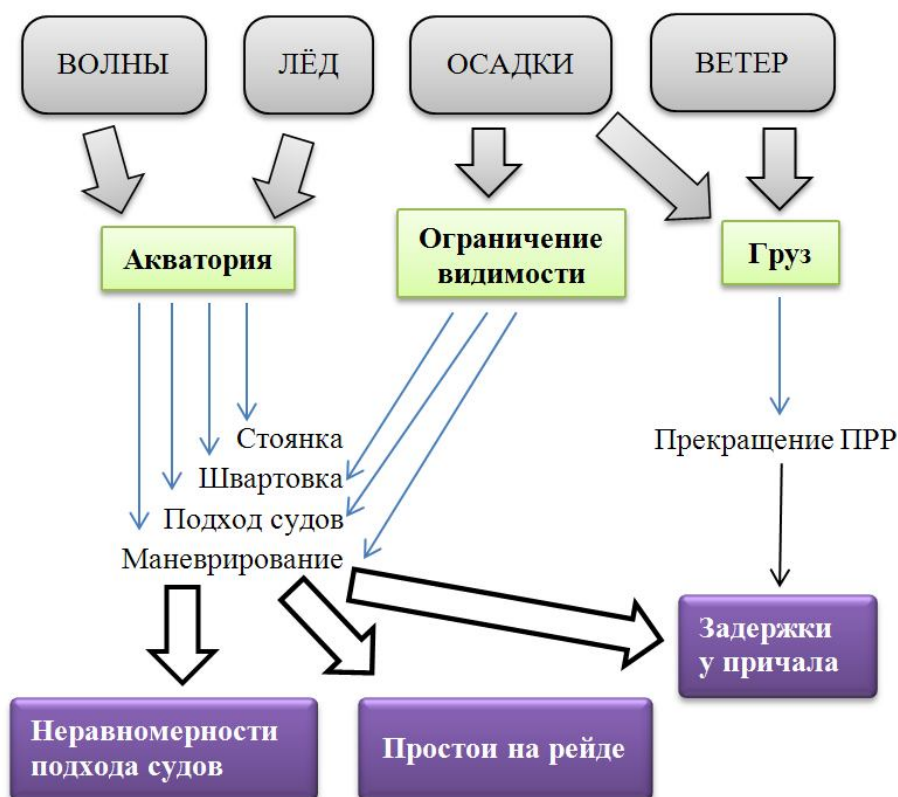


Рис. 3 – Влияние дифференцированных гидрометеопомех

На основании этого анализа в диссертационной работе сделан вывод о необходимости создания специальной методики, обеспечивающей **качественно более эффективный учёт гидрометеорологической обстановки применительно к объектам морской транспортной инфраструктуры**. Эта методика должна более подробно учитывать влияние гидрометеопомех на работу порта и транспортного флота и, тем самым, повышать качество проектов и эффективность процедуры проектирования.

Методология исследования гидрометеорологических воздействий на функционирование порта. Абстрагируясь от конкретных объектов исследования, в работе предлагается методология учёта всех возможных воздействий различных компонентов гидрометеоусловий на флот, порт, груз и пр. Здесь под методологией понимается лишь общий подход к решению задач того или иного класса, т.е. набор приёмов, методов,

средств, способов, принципов достижения цели. Её краткий алгоритм представлен на Рис. 4.

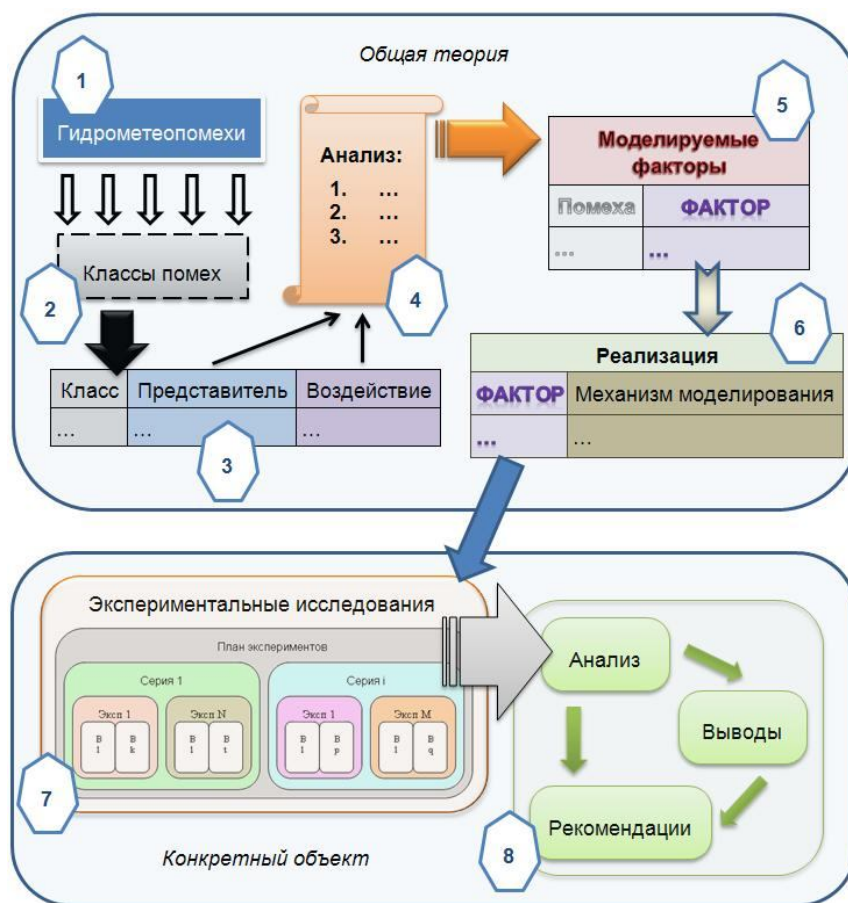


Рис. 4 – Обобщённая концепция предлагаемой методологии

В работе отдельно указано, что исходные статистические данные для анализа природы и характеристик действия метеоусловий, с учётом указанных обстоятельств (т.е. для уточнения воздействия помех на технологические параметры проектируемого терминала), нуждаются в предварительной статистической обработке.

На основании проведенной в работе классификации и детального анализа механизмов воздействия отдельных компонентов гидрометеопомех на различные объекты системы «порт-флот» сделаны выводы о необходимости построения моделей, учитывающих выявленные причинно-следственные и статистические связи между различными составляющими гидрометеоусловий. Другим выводом по этой части является необходимость выбора адекватного методического инструментария для точного учёта рассмотренных факторов. Сравнительный анализ имеющихся методов исследований проводится в первой главе. В работе предложено использовать для этих целей агентное имитационное моделирование.

Выбор механизмов реализации эффекта воздействия помех. Модель AnyPortLogic® имеет в своём арсенале настраиваемые инструменты для реализации различных типов неравномерностей с задаваемыми параметрами. Свойства модели предоставляют возможность моделирования гидрометеоусловий различной природы с учётом особенностей влияния каждого их типа на процесс работы терминала. В настройках рассматриваемой имитационной модели имеется возможность устанавливать количество возникновения событий метеоусловий, их длительность, интервал между

событиями. Интервал возникновения событий может носить детерминированный характер, или же подчиняться выбранному закону распределения (нормальному, Эрланга различных порядков, Пуассона и т.д.).

Кратко *математическую модель эффекта воздействия помех* можно описать следующим образом. По сути, метеопомехи останавливают работу либо порта в целом, либо отдельных его компонентов – причальные операции, погрузочно-разгрузочные работы. В некоторых случаях даже требуется отшвартовка судна и уход его на стоянку на рейд. Поэтому алгоритм, заложенный в модели, останавливает работу либо порта целиком, либо только судов или перегрузочного оборудования – в зависимости от типа возникшей помехи. Остановка работы происходит в момент алгоритмического возникновения метеопомехи и длится в течение периода её воздействия. Многообразие законов распределения, описывающих интервалы между возникновениями помех и их продолжительности, позволяет смоделировать любые погодные условия.

В конце главы приведены примеры технологического расчёта пропускной способности терминала и анализ воздействия на результаты введения помех по метеоусловиям. Также приведён анализ характеристик работы порта в различных сезонных навигационных условиях.

В четвёртой главе «Экспериментальные исследования» формулируется задача экспериментальных исследований и рассматривается имитационный эксперимент, как основная сущность исследований с моделью. В главе приведено построение плана экспериментов, принципы разбиения их на серии, состав отдельного эксперимента, его входные и выходные параметры. Для каждого эксперимента или целой серии указаны фиксированные и изменяемые параметры. Отдельно рассматриваются прямая и обратная задачи технологического проектирования.

В главе приводится общая математическая постановка задачи выбора параметров с помощью моделирования. Все приведённые в главе примеры экспериментальных исследований с моделью соответствуют исследованию конкретного порта – Ванино, а точнее – строящегося угольного терминала в бухте Мучке. Кратко описаны основные исходные данные для моделирования, варианты компоновки, так как одна из целей экспериментальных исследований – сравнение проектируемых вариантов компоновки. Описан план экспериментов с имитационной моделью, подробно освещены все серии экспериментов.

На простом примере в главе демонстрируется применение разработанной методики учёта метеопомех. Для строящегося угольного терминала определено количество и возможности перегрузочного оборудования, проводятся исследования влияния размеров судов в судопотоке на операционные характеристики терминала. Экспериментально установлен размер максимального возможного грузопотока через терминал, проведено сравнение различных вариантов компоновки терминала к контексте влияния метеопомех.

Эффектом от внедрения разработанной имитационной модели как средства автоматизации проектирования является приближение рассчитанных моделью параметров к реальным статистическим значениям. Например, значение пропускной способности угольного терминала в порту Ванино, рассчитанное по предложенной методике, отличается от статистических данных всего на 8%. В то время как результаты аналитического расчёта отличаются от статистических на 17%.

Также, например, коэффициент занятости ресурса причальной стенки терминала НМТП, рассчитанный в результате экспериментов с разработанной имитационной моделью, отличается от статистических данных на 9%.

Подобные исследования представляют собой реальную основу для создания платёжных матриц и вычисления экономических рисков первого и второго рода. Появляется возможность более обоснованного принятия проектных и, более того, коммерческих решений.

После проведения экспериментов можно сделать следующие выводы:

- применение имитационной модели в большинстве случаев дает результаты, недостижимые иными методами, при приближении параметров системы к критическим значениям пропускных способностей элементов;
- в условиях эксплуатации, характеризующихся слабой степенью использования ресурсов, имитационное моделирование лишь повторяет аналитические расчёты, что, в свою очередь, является методом доказательства адекватности модели;
- применение имитационного моделирования позволяет получить результаты, уточняющие аналитические расчёты в отношении распределения случайных величин;
- имитационное моделирование позволяет более точно оценить влияние метеоусловий на работу терминала с учетом вариантов его компоновки и использования оборудования.

В конце главы приведены **рекомендации по применению разработанной методики, основанные на типизации подобных объектов**. Помимо портовых объектов для исследования предлагается более широкий класс сложных человеко-машинных систем, включая транспортно-логистические.

В Приложении 1 приведена серия экспериментов, посвящённая доказательству адекватности модели. Для начала в модели «отключаются» все неравномерности и нелинейности, а выходные параметры сравниваются с результатами, полученными по аналитическим формулам и выражениям. После этого в модель последовательно вводятся неравномерности и условия, усложняющие работу терминала и приближающие модель к реальности. На каждом этапе анализируются выходные параметры модели, происходит сравнение с теорией и статистикой. Когда адекватность модели установлена, можно переходить к основным экспериментам из области технологического проектирования.

В Приложении 2 приведены статистически обработанные данные гидрометеостанции «Красный партизан» для уточнения влияния ледовой обстановки на систему «флот-порт».

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Диссертационная работа является законченным исследованием на актуальную тему, содержащим ряд новых научных результатов в области автоматизации технологического проектирования сложных человеко-машинных систем, в частности – портовых терминалов. Основные задачи, сформулированные и решённые в работе, имеют большое значение для обеспечения конкурентоспособности проектных организаций в сфере морской транспортной инфраструктуры.

В соответствии с поставленными задачами в рамках проведённых исследований и разработок получены следующие основные результаты:

1. выполнен анализ перспективных направлений применения имитационного моделирования в области проектирования сложных распределённых человеко-машинных систем;
2. обоснована необходимость использования имитационного моделирования и определены место и границы его применения в рамках технологического проектирования человеко-машинных систем типа портового терминала;
3. впервые поставлена и решена задача классификации метеопомех по типу влияния на портовые операции;
4. проведено исследование влияния разделённых компонент метеопомех на работу порта;
5. предложена адаптивная имитационная модель системы «грузопоток-фронт-склад», включающая в себя модель учёта воздействия внешней среды;
6. разработана ступенчатая аддитивная методика доказательства адекватности предложенной модели;
7. предложена методика использования моделирования при проектировании сложных человеко-машинных систем на примере портовых терминалов;
8. анализ полученных результатов экспериментов позволяет сделать вывод, что поставленная в начале исследования цель (повышение эффективности технологического проектирования и точности расчётов путём использования имитационного моделирования в процессе проектирования распределённых человеко-машинных систем) достигнута. Также необходимо отметить, что сам процесс проектирования стал более автоматизированным, упростился и расширил спектр своих возможностей;
9. результаты экспериментов позволяют говорить о том, что после введения разработанной автором концепции в процесс проектирования, точность результатов приблизилась к реальным значениям. Таким образом, созданная на этой основе экспертная система поддержки принятия решений позволит принимать более обоснованные коммерческие решения касательно таких дорогостоящих элементов порта как причальные сооружения, транспортировочное и перегрузочное оборудование;
10. методологический комплекс внедрён в ООО «Морстройтехнология» – на ведущем предприятии в отрасли;
11. решение поставленных задач стало возможным благодаря недавним достижениям дискретной математики и кибернетики, наук, математический аппарат которых лёг в основу парадигмы мультиагентного моделирования.

Публикации по теме работы. Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях. Издания, входящие в список реферируемых ВАК Минобрнауки России:

1. Спасский Я.Б. Расчёт вместимости портового склада с учётом неравномерности работы смежного транспорта / Я.Б. Спасский, А.Л. Кузнецов [и др.] // Эксплуатация морского транспорта: ежеквартальный сборник научных статей. – 2010. – №4 (62). – С. 3-9.
2. Спасский Я.Б. Имитационное моделирование работы порта с учётом дифференцированных метеоусловий / Я.Б. Спасский, А.Л. Кузнецов, В.А. Погодин // Эксплуатация морского транспорта: ежеквартальный сборник научных статей. – 2011. – №1 (63). – С. 3-8.
3. Спасский Я.Б. Дискретно-событийное моделирование в задачах проектирования и эксплуатации автомобильных терминалов / Я.Б. Спасский, А.Л. Кузнецов, С.В. Бобрышев // Эксплуатация морского транспорта: ежеквартальный сборник научных статей. – 2011. – №2 (64). – С. 8-13.
4. Спасский Я.Б. Актуальные задачи автоматизации проектирования распределённых человеко-машинных систем на примере портовых терминалов / Я.Б. Спасский // Научно-технические ведомости СПб ГПУ. – 2012. – №5 (157). – С. 85-88.

Статьи и тезисы докладов:

5. Спасский Я.Б. Уточнение формулы числа перемещений контейнеров в штабеле на основе имитационного моделирования: материалы конференции XXXVII неделя науки СПбГПУ / Я.Б. Спасский, Е.И. Игнатова. – С-Пб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 33 с.
6. Спасский Я.Б. Изучение универсальности применения имитационной модели морского грузового фронта контейнерного терминала: материалы конференции XXXVIII неделя науки СПбГПУ / Я.Б. Спасский, Е.И. Игнатова. – С-Пб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 31 с.
7. Y. Spassky Simulation as an integrated platform for container terminal development life-cycle in: The 7th International Mediterranean and Latin American Modeling Multiconference / A. Kuznetsov, V. Pogodin, Y. Spassky, V. Gleim. – Morocco, Fes, October 13-15 2010, pp. 159-162.
8. Использование имитационной модели для определения операционных показателей работы портов с учётом гидрометеоусловий: материалы конференции XXXIX неделя науки СПбГПУ / Я.Б. Спасский, А.Л. Кузнецов, Е.И. Юревич. – С-Пб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 39 с.
9. Спасский Я.Б. Имитационное моделирование работы порта в условиях помех: материалы научно-практической конференции с международным участием «Системный анализ и логистика на транспорте» – Санкт-Петербург, 21-22 апреля 2011.- Режим доступа к журналу: <http://www.salogistics.ru>.

Спасский Ярослав Борисович

Автоматизация технологического проектирования портовых терминалов на основе имитационного моделирования

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Подписано в печать 13.11.2012. Формат 60x84/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного автором,
в типографии Издательства Политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Тел.: (812) 550-40-14

Тел./факс: (812) 297-57-76