

Государственное казенное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКАЯ ТАМОЖЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Н.Г. Липатова

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

Монография

Москва
2015

УДК 339.543
ББК 87.256.63
Л61

Рецензенты:

Е.Г. АНИСИМОВ, директор научно-исследовательского института Российской таможенной академии, д-р воен. наук, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ;

Е.Г. БОРМОТОВА, начальник отдела информационных технологий Главного управления информационных технологий ФТС России, канд. экон. наук

Липатова Н.Г. Имитационное моделирование процессов таможенного контроля: монография / Н.Г. Липатова. М.: Изд-во Российской таможенной академии, 2015. 164 с.

ISBN 978-5-9590-0846-8

В монографии изложены теоретические и методологические положения исследования и моделирования процессов таможенного контроля. Рассмотрены общие принципы и методология имитационного моделирования. Определены цели, задачи и особенности имитационного моделирования процессов таможенного контроля. Особое внимание уделяется вопросам создания и применения инструментальных средств имитационного моделирования – специализированной системе имитационного моделирования процессов таможенного контроля.

Настоящая монография может быть полезна для научных сотрудников и преподавателей, специалистов таможенных органов, занимающихся проблемами создания и использования программного обеспечения и специализированной информационной технологии для исследования процессов таможенного контроля, а также для аспирантов и докторантов, студентов и магистрантов.

© Липатова Н.Г., 2015

© Российская таможенная академия, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Таможенный контроль как объект моделирования является сложной, распределенной, многоуровневой, многофункциональной, многопараметрической, многокритериальной системой.

Система таможенного контроля представляется совокупностью организованных элементов (процессов, операций), логически и алгоритмически связанных между собой и с внешней средой.

Такая система отличается функциональной целостностью, сложной структурой товарных, транспортных, финансовых и информационных потоков и услуг, сложными механизмами и правовыми нормами применения таможенных пошлин, таможенных сборов, торговых ограничений, таможенных процедур и других средств достижения определенных экономических, социальных, финансовых, торгово-политических целей государства.

Для таможенного контроля характерны большие объемы обрабатываемой информации, широкий спектр контролируемых и регулируемых параметров и, как следствие, сложная система управления таможенным контролем.

Основными методами исследования подобных объектов и решения задач, связанных с количественным анализом, определением и прогнозированием параметров и результатов таможенного контроля, являются методы математического (аналитического и имитационного) моделирования.

При аналитическом моделировании процессы функционирования исследуемой системы записываются в виде функциональных зависимостей, алгебраических, интегральных и дифференциальных уравнений, логических соотношений. Решение осуществляется, как правило, с помощью аналитических преобразований. Исследование сложных объектов, к которым относятся процессы таможенного контроля, методами аналитического моделирования ограничивается сложностью математического описания процессов реализации технологий, множеством ограничений и допущений, в значительной степени влияющим на точность получаемых результатов, трудностью практической интерпретации получаемых результатов.

При имитационном моделировании структура моделируемой системы (ее элементы и связи) непосредственно представляется структурой модели, а процесс ее функционирования (функционирование элементов, выраженное в виде некоторых правил (алгоритмов) и (или) аналитических уравнений, связывающих переменные) имитируется на компьютере. Таким образом, имитационная модель является упрощенным отображением реальной системы (оригинала), либо существующей, либо той, которую предполагается создать в перспективе.

Имитационная модель, как правило, представляется компьютерной программой, выполнение которой является имитацией поведения реальной системы во времени. Реализация модели при различных значениях ее параметров (исходных данных) и наблюдение ее поведения путем фиксации и анализа результатов моделирования являются компьютерным экспериментом, который очень близок к натурному эксперименту с реальной системой.

Имитационное моделирование позволяет решать довольно широкий круг задач, обеспечивает практически без ограничений и допущений исследование любого сложного процесса таможенного контроля. Построение имитационной модели, отображающей структуру процесса, постановка на имитационной модели направленных (целевых) экспериментов позволяют решать: задачи анализа, оценки и прогнозирования параметров и показателей качества таможенного контроля; задачи определения «узких мест» и оценки проблемных ситуаций; задачи оценки и выбора форм, средств и методов таможенного контроля (задачи управления таможенным контролем и планирования ресурсов).

Метод позволяет осуществлять анализ чувствительности модели, оценку рисков различных вариантов управляющих решений, определять и оптимизировать загрузку средств и степень использования ресурсов (кадрового обеспечения, инфраструктуры, информационно-технических средств таможенного контроля), исследовать надежность и устойчивость системы таможенного контроля по отношению к внешним условиям и многие другие характеристики, определяющие эффективность таможенного контроля.

Метод имитационного моделирования успешно применяется в случаях:

- если идет процесс изучения поведения объекта, при этом еще может не существовать законченной постановки задачи исследования. Имитационная модель служит средством познания объекта или явления;
- если существуют аналитические методы решения задачи, но математические процедуры довольно сложны и трудоемки, а имитационное моделирование обеспечивает более простой способ решения задачи;
- если кроме оценки влияния параметров объекта на результат его деятельности имеется необходимость наблюдения за поведением объекта или его элементов в течение определенного периода времени;
- если имитационное моделирование является единственным способом исследования сложной системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальных условиях. При этом имитационный эксперимент очень близок к натурному эксперименту;
- если изучаются новые ситуации в сложной системе, о которых мало что известно или неизвестно ничего. В этом случае имитация служит для предварительной проверки новых стратегий и правил принятия решений перед проведением экспериментов на реальной системе;
- если необходимо определить и исследовать «узкие места» или другие трудности в функционировании системы или в ее динамических процессах;
- при подготовке специалистов и освоении новых программных средств, применяемых в системе таможенного контроля. На имитационной модели обеспечи-

вается возможность приобретения необходимых знаний и навыков в применении новой техники и проведении таможенного контроля.

Это свидетельствует об актуальности и целесообразности использования имитационного моделирования в научно-исследовательской практике научно-исследовательского института Российской таможенной академии (Академии).

Однако построение имитационной модели и ее исследование является довольно трудоемкой и сложной задачей. Трудоемким, прежде всего, представляется процесс построения имитационной модели как компьютерной программной среды исследования. Сложной задачей является формализация исследуемых процессов таможенного контроля. Не менее сложна проблема организации в модели квазипараллельных процессов и процессов приоритетного обслуживания, т. е. проблема создания механизмов имитации процессов (моделирующего алгоритма) и управления процессом моделирования. Сложность задачи усиливается еще и тем, что наиболее трудоемкие и сложные работы по моделированию, как правило, приходится выполнять в условиях ограниченных временных и финансовых ресурсов, выделяемых на исследовательские работы.

Следует отметить, что имитационное моделирование реально используется только узким кругом специалистов (профессионалов), которые, как правило, имеют глубокие знания не только в той прикладной области, для которой создается модель, но также глубокие знания в области программирования, теории вероятностей, статистики и в других науках.

Для облегчения использования методов имитационного моделирования создаются инструментальные средства – системы имитационного моделирования (СИМ). Как правило, это сложные и дорогостоящие проблемно-ориентированные программные продукты общего назначения. Использование таких систем для построения и исследования моделей сложных специализированных объектов, к которым следует отнести и сферу государственного таможенного контроля, представляется недостаточно эффективным. Это объясняется тем, что множество функций СИМ общего назначения, приемов математической формализации процессов и их свойств практически оказываются недоиспользованными, невостребованными, избыточными, а для моделирования специфических операций (функций) таможенного контроля могут оказаться и недостаточными.

В связи с этим представляется *актуальной задачей* создания и использования в научно-исследовательской практике специализированных инструментов имитационного моделирования процессов таможенного контроля в виде *программного комплекса* и специализированной *информационной технологии моделирования*, обеспечивающих автоматизацию наиболее сложных этапов моделирования – этапов построения имитационной модели и проведения экспериментов с моделью, ориентированных на непрофессиональных пользователей в области программирования.

Для создания указанных выше инструментальных средств имитационного моделирования необходимо выработать концептуальную идею построения специализированной системы имитационного моделирования, ее структуру и алгоритмы функционирования основных модулей (блоков).

На решение этих вопросов и на разработку предложений по использованию инструментальных средств имитационного моделирования для исследования процессов таможенного контроля направлена настоящая монография. Монография состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников.

В первой главе рассматриваются общие положения исследования и моделирования процессов таможенного контроля, методы моделирования и возможности их применения в науке и практике таможенного контроля.

Во второй главе раскрывается идея имитационного моделирования как метода исследования сложных систем, процессов и явлений. С общих позиций (без привязки к конкретному объекту исследования) изложены сущность и методология имитационного моделирования процессов функционирования сложных объектов, определены общие проблемы применения имитационного моделирования в науке и практике таможенного контроля.

В третьей главе излагаются теоретические (концептуальные) вопросы построения специализированной СИМ, ориентированной на исследование процессов таможенного контроля. Здесь определены принципы построения, цели и задачи СИМ, предложены инструменты формализации процессов таможенного контроля, механизм имитации процессов (моделирующий алгоритм) и схема управления процессом моделирования, а также определены структура специализированной системы имитационного моделирования и ее входные и выходные данные.

Четвертая глава посвящена разработке алгоритмов работы основных функциональных модулей специализированной системы имитационного моделирования, реализующих концептуальные идеи специализированной СИМ процессов таможенного контроля.

В пятой главе приведены рекомендации по использованию специализированной СИМ процессов таможенного контроля, а именно, предложена методология решения задач структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля методом имитационного моделирования, а также рекомендации по планированию имитационных экспериментов, по оценке адекватности и точности имитационных моделей.

В заключении обобщены полученные результаты и намечены направления дальнейшей работы. Предложенные структура, принципы и механизмы специализированной СИМ, подходы к реализации ее основных целей и задач, алгоритмы и рекомендации по их реализации позволят создать инструментальные средства имитационного моделирования, обеспечивающие решение проблем исследования процессов таможенного контроля.

Автор выражает признательность доктору военных наук, доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки РФ Е.Г. Анисимову и кандидату экономических наук Е.Г. Бормотовой, взявшим на себя труд по рецензированию монографии и оказавшим методическую помощь в представлении научно-практических результатов работы.

Глава 1

МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКЕ И ПРАКТИКЕ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

1.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

На таможенные органы возложена сложная задача контроля соблюдения порядка и правил перемещения товаров и транспортных средств через таможенную границу, установленных таможенным законодательством Таможенного союза, законодательством государств – членов Таможенного союза, а также международными договорами и соглашениями. Реализация этой задачи осуществляется в рамках таможенного контроля, который, учитывая внешние и внутренние условия внешнеэкономической и внешнеторговой деятельности России, характеризуется:

- масштабностью и сложностью решаемых задач анализа и контроля, оценки рисков (таможенных, экономических, социальных и т. п.) и угроз;
- повышенными требованиями к оперативности, качеству и эффективности таможенного контроля в условиях многокритериальности, многофакторности и неопределенности как внешнего окружения, так и системы таможенного контроля;
- необходимостью применения эффективных форм, методов и средств таможенного контроля в связи с возрастанием цены принятия ошибочных решений.

Следует отметить, что система таможенного контроля постоянно совершенствуется и развивается. Развитие системы таможенного контроля характеризуется как инновационный тип экономического развития. Оно основано на обновлениях, нововведениях в технологические процессы таможенного контроля; осуществлении вложения средств, обеспечивающих смену поколений информационно-технических средств и информационных технологий таможенного контроля. В настоящее время сфера таможенного контроля развивается и совершенствуется на едином пространстве государств – участников Таможенного союза в рамках Евразийского экономического союза.

Перечисленные особенности и условия деятельности таможенных органов РФ, а также тенденции усложнения информационно-организационной среды системы таможенного контроля в условиях функционирования Таможенного союза предопределяют роль и место исследования и моделирования в науке и практике таможенного контроля.

Исследование процессов таможенного контроля является видом научной деятельности, позволяющим вскрыть суть, содержание и сущность таможенного контроля, познать и оценить его, определить тенденции его развития, найти возможность использования полученных знаний в практической деятельности таможенных органов [1].

При этом *объектом исследования* могут выступать: система таможенного контроля в целом, процессы таможенного контроля на этапах совершения таможенных операций при ввозе (вывозе) товаров на (из) таможенную (ой) территорию (и) Таможенного союза, процессы таможенного контроля в пунктах пропуска (автомобильном, железнодорожном, водном (морском, речном), авиационном (воздушном)), специфических таможенных постах (энергетических, акцизных), в пунктах декларирования (таможнях) и др.

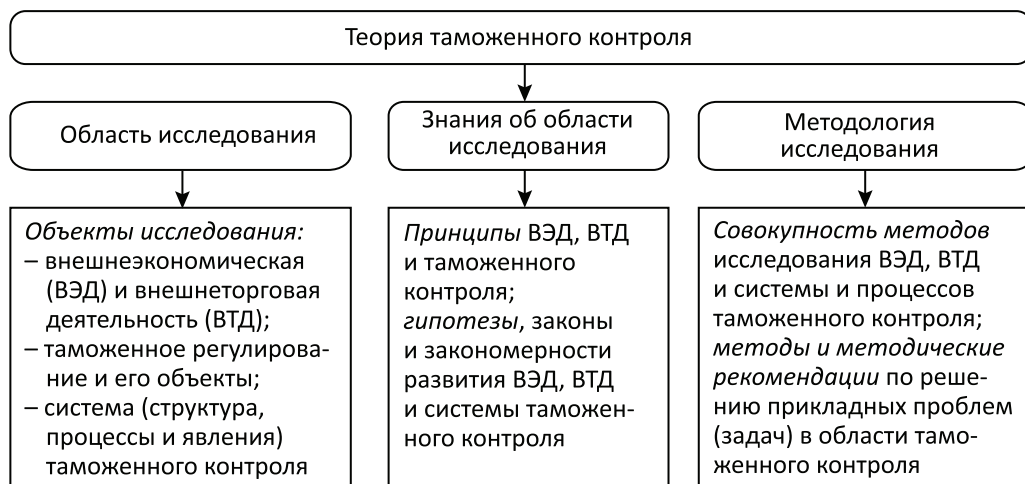
Предметом исследования выступают конкретные проблемные вопросы объекта (системы управления рисками, методы, формы, средства таможенного контроля, ресурсы, структурные, функциональные, информационные, параметрические характеристики объекта), изучение и разрешение которых требует проведения исследования и моделирования.

Результатом исследования будут рекомендации, модели типа «как есть» и «как должно быть», методы, способствующие успешному решению проблем системы таможенного контроля, пониманию их содержания, истоков и последствий.

Научными проблемами исследования являются, прежде всего, объяснения различных (в том числе противоречивых) позиций и сложных ситуаций в системе таможенного контроля. Такие объяснения требуют построения соответствующей *теории таможенного контроля*.

Как и любая наука, теория таможенного контроля включает в себя три компонента: 1) область исследования; 2) совокупность знаний об этой области; 3) методологию – совокупность методов приобретения новых знаний об области исследований и применения этих знаний для решения задач этой области (рис. 1.1).

Первая компонента теории таможенного контроля предполагает выбор объекта исследования. В качестве таких объектов могут быть: внешнеэкономическая и (или) внешнеторговая деятельность, таможенное регулирование и его объекты, а также процессы, связанные с реализацией таможенного регулирования – перемещение товаров и транспортных средств через таможенную границу, их таможенный контроль и иные виды государственного контроля, предусмотренные таможенным законодательством Таможенного союза, законодательством государств – членов Таможенного союза, а также международными договорами и соглашениями.



Р и с. 1.1. Структура теории таможенного контроля

Вторая компонента теории таможенного контроля представляет собой совокупность знаний об области исследований и характеризуется, прежде всего, перечнем принципов, гипотез, законов и закономерностей развития внешнеэкономической (ВЭД) и (или) внешнеторговой деятельности (ВТД), создания и развития системы таможенного контроля. В традиционном представлении теория систем насчитывает около полутора десятков таких принципов и законов. Поскольку технологии таможенного контроля являют собою сложные системы, при построении теории таможенного контроля необходимо исследовать применимость этих принципов и законов к данным технологиям.

Третья компонента теории таможенного контроля включает совокупность методов исследования ВЭД, ВТД и системы и процессов таможенного контроля, а также совокупность *методов и методических рекомендаций* по решению прикладных проблем (задач) совершенствования и повышения эффективности таможенного контроля.

Для развития теоретических вопросов таможенного контроля *научной проблемой* является создание и развитие методологии, методов и инструментальных средств моделирования, ориентированных на исследование системы таможенного контроля, включая проблемы таможенного контроля и иные сложные явления, возникающие при перемещении товаров и транспортных средств через таможенную границу Таможенного союза.

Моделирование процессов таможенного контроля применяется как самостоятельный метод (инструмент) исследований. В науке таможенного контроля как системе знаний о закономерностях развития таможенного контроля моделирование используется в качестве инструмента получения таких знаний и закономерностей [2].

В практике таможенного контроля моделирование получает широкое распространение. Это активный, а с учетом большого числа методов моделирования достаточно универсальный метод исследования системы таможенного контроля. В современных условиях моделирование рассматривается как методологическая платформа совершенствования и повышения эффективности таможенного контроля. Значение метода моделирования в практике таможенного контроля подтверждается необходимостью реализации функций таможенных органов, определенных в Федеральном законе от 27.11.2010 № 311-ФЗ «О таможенном регулировании в Российской Федерации», а именно, таможенные органы осуществляют «функции по проведению таможенного контроля, совершенствуют методы совершения таможенных операций и проведения таможенного контроля, создают условия, способствующие ускорению товарооборота при ввозе товаров в Российскую Федерацию и вывозе товаров из Российской Федерации» [3].

Современные средства информационно-аналитической поддержки и принятия решений на базе методологии моделирования проблемных и рискованных ситуаций, анализа, прогнозирования, оптимизации сил и средств (ресурсов) системы таможенного контроля могут обеспечить эффективное решение задач управления в кризисных ситуациях, обоснование долгосрочных, среднесрочных и краткосрочных прогнозов и программ развития системы таможенного контроля. Такие средства также позволят решать проблемы качества, оперативности и объективности таможенного контроля в сложных условиях внешнеэкономической деятельности России.

Следует отметить, что моделирование является универсальным методом исследования сложных систем, процессов и явлений, позволяющим конструировать модели изучаемого объекта и представлять его в виде аналитических зависимостей, таблиц, графиков, логических схем, алгоритмов.

Модель – это образ реального объекта (системы, процесса, явления), отражающий его существенные свойства и замещающий его в ходе исследования. Метод моделирования основывается на принципе аналогии, т. е. возможности изучения реального объекта не непосредственно, а через рассмотрение подобного ему и более доступного объекта – его модели.

Моделирование представляет собой весьма сложный метод познания, включающий множество разнообразных приемов, способов и методов научного исследования: обследование (наблюдение, измерение), эксперимент, анализ и синтез, абстрагирование (формализация), экстраполяция и др.

Для системных объектов существует система правил (принципов), позволяющих корректно осуществлять формализацию и исследование этих объектов. Среди основных принципов формализации и исследования системы таможенного контроля следует выделить следующие:

- целенаправленность (цель исследования определяет способы и форму описания исследуемой системы таможенного контроля);

- многоуровневость в целостно-эволюционном представлении системы таможенного контроля;
- структурированность (декомпозиция структуры системы таможенного контроля до уровня, достаточного для целей исследования);
- информационное единство в иерархическом представлении системы таможенного контроля;
- динамичность системы таможенного контроля.

На базе системных принципов формализации и исследования системы таможенного контроля формируются принципы (правила) системного моделирования процессов таможенного контроля. В принципы системного моделирования процессов таможенного контроля, как правило, закладываются общие положения: что и когда моделировать, при помощи кого/чего моделировать, на основе какой информации осуществляется моделирование, какой результат должен быть получен в результате моделирования.

В качестве основных принципов моделирования процессов таможенного контроля необходимо выделить следующие:

- принцип достаточности информации;
- принцип инвариантности информации;
- принцип преемственности моделей;
- принцип реализуемости моделей.

Рассмотрим более подробно каждый из них.

Принцип достаточности информации означает, что в каждой частной модели должна использоваться только та информация, которая известна с требуемой для результатов моделирования точностью. Под известной информацией понимаются нормативные, справочные и иные данные о системе таможенного контроля, имеющиеся к моменту моделирования, точность которых можно оценить.

Согласно *принципу инвариантности информации* используемая в модели системы таможенного контроля входная информация должна быть независима от параметров моделируемой системы, которые еще не известны на данной стадии исследования. Использование этого принципа позволяет избежать при построении математических моделей нередко встречающегося замкнутого круга, когда в модели используется информация, которая может быть известна лишь по результатам моделирования.

Суть *принципа преемственности* моделей сводится к тому, что каждая последующая модель не должна нарушать свойств процессов таможенного контроля, установленных или отраженных в предыдущих моделях системы таможенного контроля. Следовательно, выбор критериев и модели должен, в первую очередь, базироваться на принципе преемственности при условии, что обеспечивается выполнение принципов достаточности и инвариантности используемой информации. Если же последующая модель не является преемственной предыдущим (а это зачастую бывает из-за использования при ее построении новой, дополнительной информации), то ранее построенные модели процессов таможенного

контроля должны быть скорректированы для обеспечения принципа преемственности.

Весьма важным с точки зрения практического использования моделей в исследованиях процессов таможенного контроля является *принцип реализуемости*. Для его выполнения необходимо, чтобы каждая частная модель таможенных операций таможенного контроля могла быть реализована при помощи современных средств вычислительной техники и связи. С другой стороны, выполнение этого принципа требует обеспечения соответствия точности исходных данных, точности решения задачи и той точности результирующей информации, которая достаточна для практических целей таможенного контроля.

Как показывает опыт моделирования, вследствие неточности используемых данных, а также наличия определенной погрешности вычисляемых по моделям результатов (показателей) поиск точного оптимума оказывается бессмысленным и, более того, иллюзорным. Обычно, исходя из погрешности исходных данных, погрешности применяемых вычислительных методов и конкретных свойств оптимизируемых параметров таможенного контроля, можно найти погрешность целевой функции, в пределах которой все параметры системы таможенного контроля могут считаться оптимальными.

Кроме того, исходя из погрешности выходной информации (которая всегда может быть оценена) и погрешности исходных данных, может быть определена допустимая погрешность метода оптимизации. Такой подход позволяет значительно снизить число вариантов поиска, а следовательно, повысить эффективность практической реализации моделей процессов таможенного контроля.

Рассмотренные принципы позволяют строить любую модель системы таможенного контроля и гарантируют возможность ее полной увязки со всеми частными моделями процессов таможенного контроля.

Сформулированные принципы системного моделирования процессов таможенного контроля позволяют последовательно конструировать модели системы таможенного контроля любой сложности и уровня взаимодействия в процессе реализации операций таможенного контроля. При этом в соответствии с основными целевыми задачами на каждом уровне моделирования должны быть выделены только те основные существенные характеристики системы таможенного контроля, которые должны найти отражение в системе моделей в качестве переменных целевых функций или ограничений.

Однако степень существенности этих характеристик в общем случае для конкретного моделируемого процесса таможенного контроля не может определяться из модельных принципов. Только специалист (исследователь, аналитик, менеджер, будущий пользователь результатов моделирования) способен установить, какие параметры-факторы на каждом этапе необходимо учесть в модели процессов таможенного контроля и какие из них следует взять в качестве переменных. В свою очередь, сформулированные выше принципы моделирования

позволяют избежать методических ошибок и определяют некоторые правила, по которым осуществляется эта работа.

Таким образом, необходимость в исследованиях сложной системы таможенного контроля определяется достаточно большим кругом проблем, с которыми приходится сталкиваться таможенными органами в практической деятельности. От правильного их решения во многом зависит результативность деятельности.

В современных условиях *методы моделирования в науке таможенного контроля* предназначены для развития теории таможенного контроля, совершенствования инструментальных средств моделирования для исследования процессов таможенного контроля, *методы моделирования в практике таможенного контроля* – для совершенствования технологий таможенного контроля и повышения его эффективности.

1.2. МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В НАУКЕ И ПРАКТИКЕ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

Моделирование процессов таможенного контроля это специальная технология построения моделей таких процессов и их исследование для локализации «узких мест», определения или уточнения, оптимизации, прогнозирования и (или) планирования параметров и показателей деятельности таможенных органов по контролю соблюдения порядка и правил перемещения товаров и транспортных средств через таможенную границу, установленных таможенным законодательством Таможенного союза, законодательством государств – членов Таможенного союза, а также международными договорами и соглашениями. Здесь под «узким местом» понимается состояние, когда сохранение сложившегося порядка таможенных операций таможенного контроля в новых (изменившихся) условиях не приводит к достижению желаемых результатов или, другими словами, когда цель не может быть достигнута имеющимися в таможенных органах ресурсами, известными формами, методами и средствами таможенного контроля.

Модели – это аналоги реальных объектов (системы таможенного контроля), сходство которых с этими объектами существенно, а различие несущественно для решения конкретной исследовательской (фундаментальной или прикладной) задачи. Модель следует рассматривать как упрощенное отображение (представление) оригинала, используемое в качестве инструмента его исследования. Модели являются достаточно универсальным инструментом исследования проблем таможенного контроля. Модель конструируется таким образом, чтобы отобразить характеристики объекта (системы (процессов) таможенного контроля).

Главное назначение модели – замещать исследуемый объект, чтобы получить новую информацию и знания о нем.

Целью моделирования является определение реакций системы таможенного контроля на внешние и внутренние воздействия, границы функционирования системы, эффективности форм, методов, алгоритмов и механизмов таможенного контроля. На основе моделирования вырабатываются рекомендации: по характеру взаимодействия между системой таможенных органов и окружающей средой (участниками ВЭД, органами законодательной и исполнительной власти и др.); по функциональной структуре системы таможенного контроля; по видам организации, формам, методам и типам связей между участниками таможенных операций таможенного контроля.

Модели могут быть классифицированы по самым разнообразным признакам (рис. 1.2). В практике моделирования существуют различные взаимные переходы или объединения (сочетания) различных видов моделей. В этой связи приведенная на рис. 1.2 классификация моделей носит довольно условный характер.

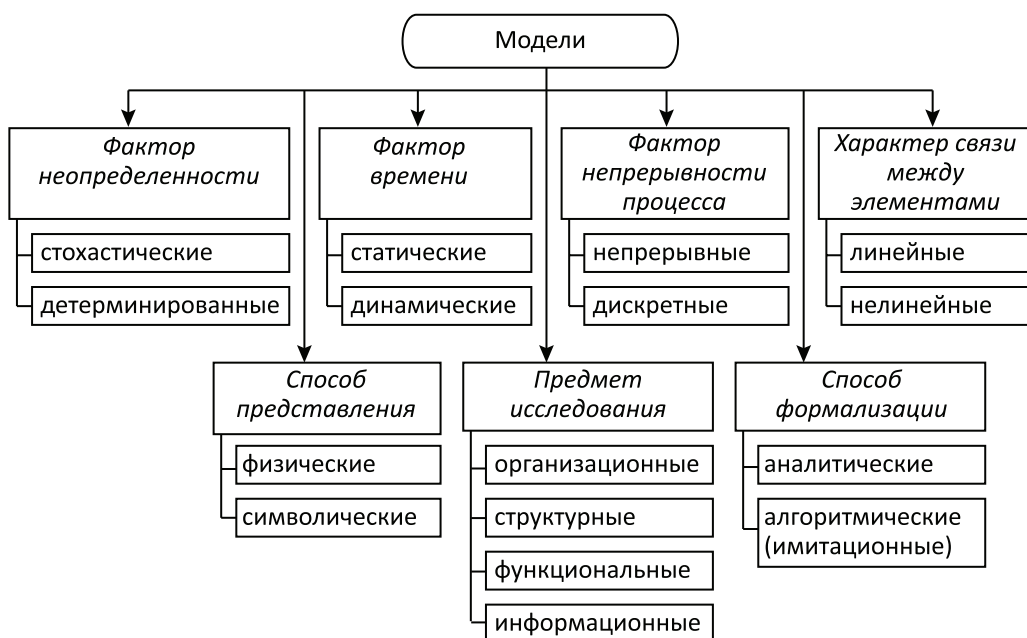


Рис. 1.2. Классификация моделей

В общем случае по способу представления модели подразделяются на две группы: физические и символические (языковые).

Физические модели – это материальные, вещественные, макетные модели, они построены точно в соответствии с оригиналом, но могут отличаться от него размерами, диапазоном изменения параметров и т. п.

Символические модели – это абстрактные модели, они отражают предварительные, приближенные представления о системе-оригинале (объекте моделирования).

Основными формами представления символических моделей являются:

- словесное описание – наиболее простой и неформальный способ типового представления данных о свойствах объекта. Этот способ легко доступен для понимания, однако может быть неоднозначным, а поэтому имеет применение лишь на самых ранних этапах моделирования, а именно, на этапе концептуального моделирования для представления содержательного описания объекта с целью его последующей математической формализации;

- графическое представление в виде кривых, номограмм, чертежей. Этот способ задания данных об объекте или процессе является вспомогательным и используется в совокупности с другими, как правило, дополняет словесное описание объекта;

- блок-схемы, матрицы, таблицы – это один из наиболее распространенных способов задания данных об объекте, особенно его структурной, логической и информационной части;

- математическое описание – это описание модели в виде формул, уравнений и математических операций над переменными. Сюда же следует отнести и алгоритмическое описание, которое используется для разработки имитационной модели и экспериментирования (постановка имитационного эксперимента на модели) объекта, не имеющего аналитического описания. Если при описании моделей используется математическое описание, то такие модели называются математическими. Математические модели можно классифицировать по различным признакам:

по фактору неопределенности:

- стохастические (случайные, вероятностные) – это модели, которые на выходе имеют неоднозначные значения параметров;

- детерминированные – это модели, в которых для определенной совокупности входных значений параметров на выходе модели может быть получен единственный результат;

по фактору времени:

- статические, в этих моделях все параметры и зависимости отнесены к одному моменту времени и не меняются во времени в период функционирования модели;

- динамические – это модели, параметры которых описывают систему в динамике (во времени);

по фактору непрерывности моделируемых процессов:

- непрерывные – модели, которые не содержат дискретных величин и выражаются дифференциальными и интегральными уравнениями;

- дискретные – модели, все переменные в которых выражаются дискретными величинами;

по типу связи между моделируемыми элементами:

- линейные – модели, в которых состояние или функционирование системы отображается таким образом, что все взаимозависимости в них принимаются

линейными, при этом модели формулируются в виде одного или системы линейных уравнений;

– нелинейные – модели, в которых все взаимозависимости выражаются нелинейными функциями.

Каждый тип моделей в разной степени использует соответствующую форму представления данных об объекте моделирования (системе, процессе или ситуации). Следует отметить, что удобные формы описания моделируемого объекта во многом облегчают сложный процесс оценки адекватности и (или) верификации моделей.

Основными методами решения задач, связанных с *количественным* анализом процессов таможенного контроля, анализом и прогнозированием развития ситуаций в сфере технологий таможенного контроля, являются методы *математического (аналитического и имитационного) моделирования*.

При применении *аналитического моделирования* каждый объект представляется функциональной зависимостью от входных и выходных данных. Использование данного метода обосновано лишь в том случае, когда поведение объекта хорошо известно или изучено, т. е. его можно описать с известным уровнем адекватности формальным математическим аппаратом. Аналитические модели математически верно отражают связь между входными и выходными переменными и параметрами, но их структура не отражает внутреннюю структуру объекта. Наиболее простым случаем использования аналитического моделирования являются детерминированные уравнения расчета взаимосвязанных показателей. Среди таких показателей можно назвать взаимосвязанные показатели объемов внешней торговли и индекса таможенной стоимости (при этом более сложная, но менее точная аналитическая зависимость может описывать, например, связь индекса таможенной стоимости с ценами на товар на внутреннем и внешнем рынках). Детерминированные зависимости, описываемые теорией систем массового обслуживания, могут быть сформированы для показателей – характеристик функционирования пунктов пропуска через таможенную границу Таможенного союза.

В настоящее время наиболее востребованы следующие методы аналитического моделирования:

- методы оптимизации;
- факторный анализ;
- методы прогнозирования.

Оптимизационные методы позволяют решать задачи, связанные с обеспечением достижения наилучшего возможного численно выраженного результата при наличии ограничений на управляющие переменные. В области задач, связанных с проблемами таможенного контроля, можно обнаружить множество подобных задач, от решения которых зависят решения по результатам таможенного контроля и последствия, оказываемые на социально-экономическую сферу государства.

В качестве оптимизируемых (для которых требуется нахождение максимально или минимально возможного значения) показателей могут выступать такие показатели таможенного контроля, как величина доходов Федерального бюджета, обеспечиваемая за счет сбора таможенных платежей, объем недостоверного декларирования товаров, пропускная способность пунктов пропуска через государственную границу, объемы импорта и экспорта товаров, производство товаров на российском рынке и др. При этом на показатели, которые являются управляющими при оптимизации, будут накладываться различные ограничения, связанные с естественными причинами, либо с целями деятельности таможенных органов. Например, увеличения величины сбора таможенных пошлин можно добиться повышением ставки таможенных пошлин. Однако следствием этого, возможно, будет увеличение доли недостоверно декларируемых товаров, что в большей или меньшей степени нивелирует эффект от повышения доходов вследствие повышения ставки пошлин. Другой пример: увеличение пропускной способности пунктов пропуска и связанная с этим модернизация требуют материальных затрат, величина которых ограничена размерами выделяемых из бюджета средств целевого финансирования и инвестиций частных компаний. Также следует учитывать различные сезонные и циклические колебания, из-за которых плохо продуманное увеличение пропускной способности может привести к увеличению времени простоя пункта пропуска.

Оптимизационные методы могут быть использованы при решении задачи поддержки принятия решений по изменениям в системе ставок таможенных пошлин и системе преференций, а также при оценке последствий данных изменений. Также методы оптимизации могут быть полезны при решении задач, связанных с установлением плановых и целевых значений показателей (например, при утверждении ведомственной целевой программы или плановых показателей деятельности таможенных органов), поскольку с их помощью можно оценить реалистичность достижения поставленных целей.

Факторный анализ – это статистический метод, применяемый для изучения взаимосвязей между значениями переменных. С помощью метода факторного анализа можно решать два основных класса задач: определять взаимосвязи между переменными и сокращать число переменных, объясняющих, с точки зрения исследователя, изменения в управляемой переменной. Методы факторного анализа могут быть использованы для фактического анализа влияния различных показателей на достижение, например, плановых показателей. При этом преимущество методов факторного анализа состоит в том, что с их помощью можно избежать мультиколлинеарного эффекта во влиянии факторов, выделив наиболее значимые факторы или их комбинации. Выявленные зависимости также могут быть перенесены на прогнозный или плановый период, обеспечивая вычисление необходимых для достижения целевого показателя прогнозных или плановых значений факторов.

Получение прогнозов обеспечивается широким перечнем *методов прогнозирования*: адаптивными методами (экспоненциальным, медианным и скользящим

сглаживанием, различными вариациями авторегрессионных функций и их систем), факторными методами прогнозирования, методами прогнозирования с использованием приемов технического анализа данных. Отметим некоторые возможности применения методов прогнозирования:

- при решении задачи подготовки аналитических материалов о тенденциях развития внешней торговли РФ предпочтительными видятся методы факторного анализа, обеспечивающие не только получение прогнозных значений, но и информацию для интерпретации и обоснования полученных результатов;

- при решении задачи подготовки предложений по наполняемости федерального бюджета за счет поступления таможенных платежей на следующий год и иные отчетные периоды могут быть использованы как факторные методы, так и специальные методы, основанные на сочетании адаптивных методов прогнозирования и методов технического анализа данных.

Процесс *имитационного моделирования* заключается в построении имитационной модели и проведении на ней компьютерных экспериментов в соответствии с поставленной целью.

Имитационную модель можно определить как вычислительную процедуру, формализованно описывающую изучаемый объект и имитирующую его поведение. При ее формировании нет необходимости упрощать описание объекта, процесса, явления, отбрасывая порой даже существенные детали, чтобы «втиснуть» их в рамки модели, удобной для применения тех или иных известных математических методов анализа. Для имитационного моделирования характерна имитация элементарных явлений, составляющих исследуемый процесс, с сохранением их логической структуры, последовательности протекания во времени, характера и состава информации о состояниях процесса.

Инструменты имитационного моделирования обладают определенным преимуществом при решении задач структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля в сравнении с вышерассмотренными математическими аналитическими методами. Их ключевое преимущество заключается в системном рассмотрении функционирования элементов системы таможенного контроля в их тесной взаимосвязи и взаимном влиянии. Кроме того, для методов имитационного моделирования характерен высокий уровень визуализации результатов (в виде блок-схем, динамических графиков и т. д.).

Имитационное моделирование позволяет решать довольно широкий круг задач в области таможенного дела и обеспечивает практически без ограничений и допущений исследование любого процесса сложной системы таможенного контроля (система может одновременно содержать разнородные элементы, быть подверженной влиянию многочисленных случайных факторов, элементы могут быть представлены весьма громоздкими соотношениями, в том числе аналитическими). Метод позволяет варьировать широким спектром входных характеристик, начальных условий и параметров исследуемого процесса таможенного контроля, а также достигать при этом высокой точности результатов.

Это все свидетельствует об актуальности и целесообразности использования методов имитационного моделирования при решении задач совершенствования и повышения эффективности таможенного контроля.

1.3. ТЕХНОЛОГИЯ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ КАК ОБЪЕКТ МОДЕЛИРОВАНИЯ

1.3.1. ПОНЯТИЯ, МЕТОДЫ И ФОРМЫ, ТАМОЖЕННЫЕ ОПЕРАЦИИ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

Технология (от др.-греч. τέχνη – искусство, мастерство, умение; λόγος – мысль, причина) – методика, способ производства [4]. Технология в широком смысле – объем знаний, которые можно использовать для производства товаров и услуг из экономических ресурсов. Технология в узком смысле – способ преобразования вещества, энергии, информации в процессе изготовления продукции, обработки и переработки материалов, сборки готовых изделий, контроля качества, управления. Технология включает в себя методы, приемы, режим работы, последовательность операций и процедур, она тесно связана с применяемыми средствами, оборудованием, инструментами, используемыми материалами [5].

В общем случае под *контролем* понимается система наблюдения и проверки процесса функционирования и фактического состояния управляемого объекта. Контроль необходим везде, где существует система, предназначенная для выполнения определенных задач и достижения конкретных целей [6].

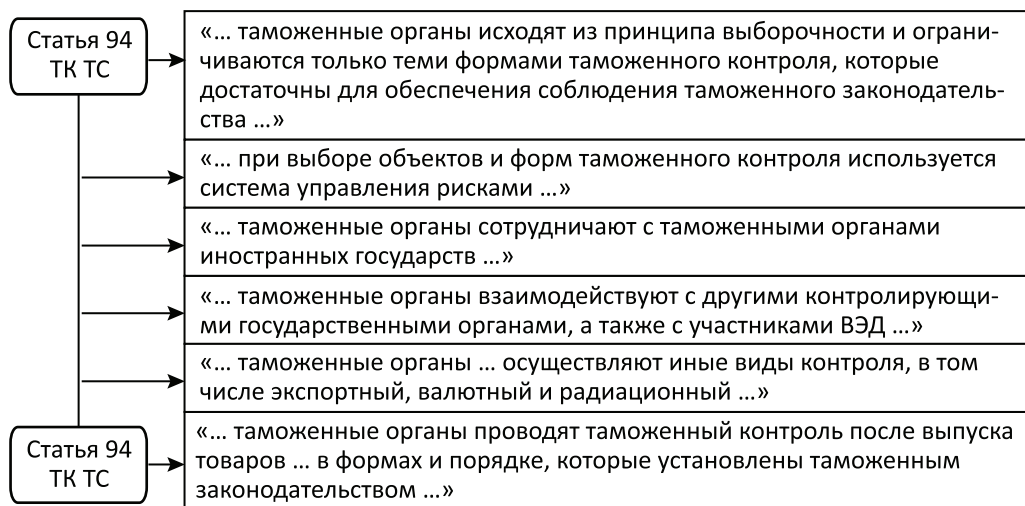
Таможенный контроль определяется как совокупность мер, осуществляемых таможенными органами, в том числе с использованием системы управления рисками, в целях обеспечения соблюдения таможенного законодательства Таможенного союза (ТС) и законодательства государств – членов Таможенного союза [7].

Основные принципы таможенного контроля (в соответствии со ст. 94, 99 Таможенного кодекса Таможенного союза – ТК ТС) представлены на рис. 1.3.

Учитывая идеологию таможенного контроля и исходя из приведенных выше понятий, *технология таможенного контроля* можно определить как *способ* проведения таможенного контроля товаров и транспортных средств при их перемещении через таможенную границу ТС.

Технология (процесс) таможенного контроля включает *методы, формы и последовательность таможенных операций*, в том числе связанные с применением информационно-технических средств, обеспечивающих соблюдение таможенного законодательства ТС и законодательства государств – членов ТС при перемещении товаров и транспортных средств через таможенную границу ТС.

Под *методом таможенного контроля* понимается совокупность приемов и способов его осуществления [9]. Анализ существующей практики таможенного контроля показал существование множества методов его реализации (рис. 1.4).



Р и с . 1.3. Основные принципы таможенного контроля в Таможенном союзе

Под *формой таможенного контроля* понимается направление деятельности должностного лица таможенного органа, включающее применение определенных методов, средств и способов в целях проверки соблюдения субъектами внешнеторговой деятельности положений таможенного законодательства ТС.

Существующие формы и порядок таможенного контроля взаимосвязаны и осуществляются в рамках положений таможенного законодательства Таможенного союза (ст. 110 ТК ТС). В настоящее время установлено 12 форм таможенного контроля (рис. 1.5):

- 1) проверка документов и сведений;
- 2) устный опрос;
- 3) получение объяснений;
- 4) таможенное наблюдение;
- 5) таможенный осмотр;
- 6) таможенный досмотр;
- 7) личный таможенный досмотр;
- 8) проверка маркировки товаров специальными марками, наличия на них идентификационных знаков;
- 9) таможенный осмотр помещений и территорий;
- 10) учет товаров, находящихся под таможенным контролем;
- 11) проверка системы учета товаров и отчетности;
- 12) таможенная проверка.

Следует отметить, что применяемые методы и формы существенно различаются по своему содержанию и характеру. Большинство из них базируется на организационных принципах и информационно-технических методах принятия решений при определенных формах проведения проверки соблюдения субъектами внешнеторговой деятельности положений таможенного законодательства ТС.

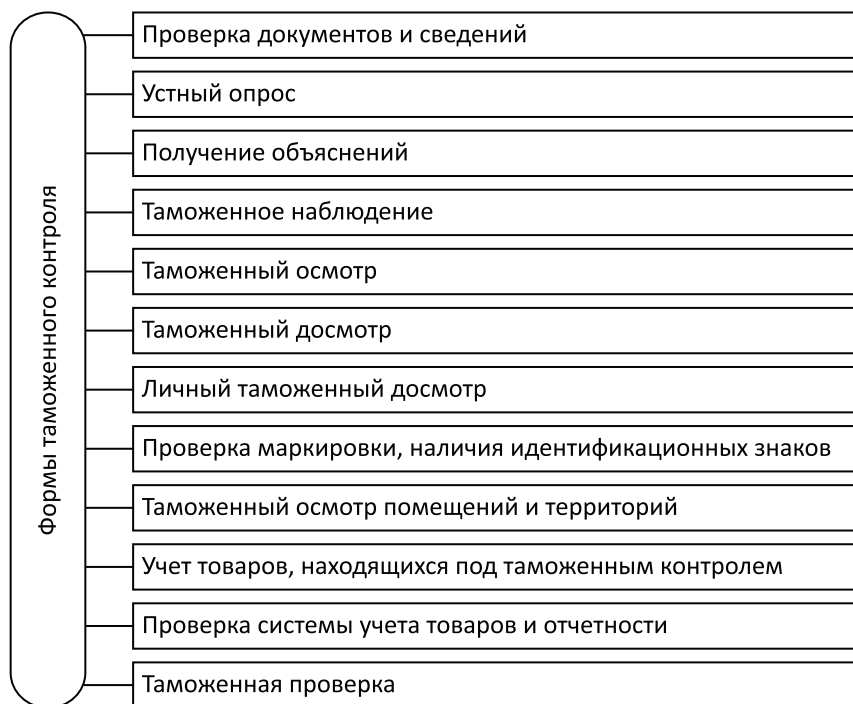


Р и с . 1.4. Методы таможенного контроля в Таможенном союзе

Методы и формы таможенного контроля постоянно совершенствуются. Однако в целях повышения эффективности большое количество форм таможенного контроля требует существенной доработки методики их применения как для каждой отдельной формы, так и для их комплексного использования.

Перечень и последовательность таможенных операций таможенного контроля можно получить путем декомпозиции определения термина «таможенное регулирование», приведенного в ст. 1 ТК ТС: «Таможенное регулирование в Таможенном союзе в рамках Евразийского экономического сообщества (далее – Таможенный союз) – правовое регулирование отношений, связанных с перемещением товаров через таможенную границу Таможенного союза, их перевозкой по единой таможенной территории Таможенного союза под таможенным контролем, временным хранением, таможенным декларированием, выпуском и использованием в соответствии с таможенными процедурами, проведением таможенного

контроля, уплатой таможенных платежей, а также властных отношений между таможенными органами и лицами, реализующими права владения, пользования и распоряжения указанными товарами».



Р и с. 1.5. *Формы таможенного контроля в Таможенном союзе*

Для лучшего восприятия результат декомпозиции термина «таможенное регулирование» представим в виде, приведенном в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результат декомпозиции определения термина «таможенное регулирование» на составные части

№ п/п	Элементы определения термина «таможенное регулирование»
Таможенное регулирование в ТС в рамках Евразийского экономического сообщества – правовое регулирование отношений, связанных с:	
1	– перемещением товаров через таможенную границу ТС
2	– их перевозкой по единой таможенной территории ТС под таможенным контролем
3	– временным хранением
4	– таможенным декларированием

№ п/п	Элементы определения термина «таможенное регулирование»
5	– выпуском и использованием в соответствии с таможенными процедурами
6	– проведением таможенного контроля
7	– уплатой таможенных платежей
8	– властными отношениями между таможенными органами и лицами, реализующими права владения, пользования и распоряжения указанными товарами

Аналогичный результат декомпозиции этого термина можно получить, анализируя п. 2 ст. 2 Федерального закона от 27.11.2010 № 311-ФЗ «О таможенном регулировании в Российской Федерации».

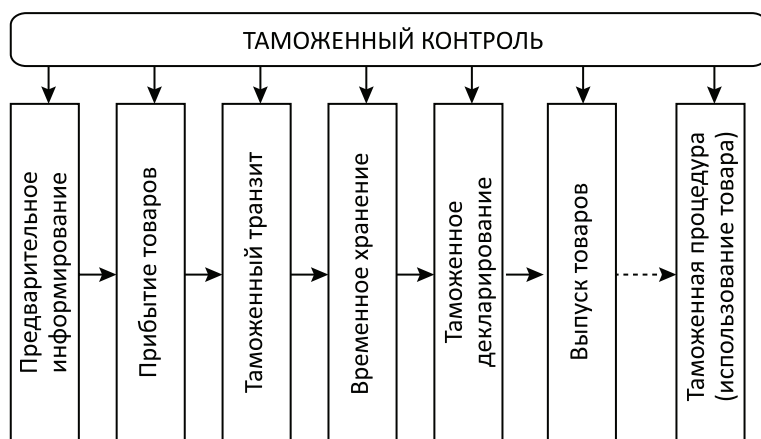
В *перемещении товаров* и транспортных средств через таможенную границу ТС выделяют два направления: ввоз товаров на таможенную территорию ТС и вывоз товаров с таможенной территории ТС [7].

Ввоз товаров на таможенную территорию ТС – совершение действий, связанных с пересечением таможенной границы, в результате которых товары прибыли на таможенную территорию ТС, до их выпуска таможенными органами. *При ввозе* на территорию ТС товары находятся под таможенным контролем *с момента пересечения границы и до помещения под процедуры выпуска* для внутреннего потребления, за исключением случаев условно выпущенных товаров, или реимпорта, а также до приобретения условно выпущенными товарами статуса товаров ТС, помещения товаров под процедуру отказа в пользу государства или уничтожения, обращения в собственность государства, фактического вывоза с территории ТС и др.

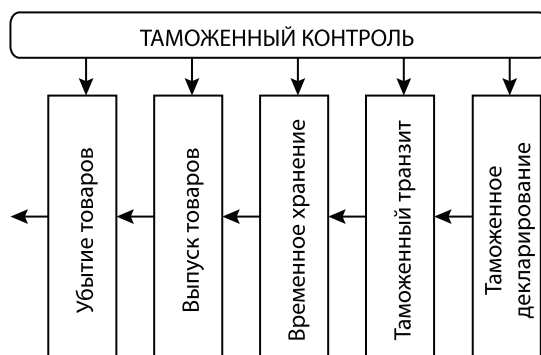
Вывоз товаров с таможенной территории ТС – совершение действий, направленных на вывоз товаров с таможенной территории ТС любым способом, до фактического пересечения таможенной границы. *При вывозе* с территории ТС товары находятся под таможенным контролем *с момента регистрации таможенной декларации* или иных документов, используемых в качестве таможенной декларации, и до пересечения таможенной границы.

Для данных направлений перемещения товаров и транспортных средств через таможенную границу ТС определим *порядок совершения таможенных операций* в соответствии с основными этапами таможенного регулирования.

Совершаемые таможенными органами таможенные операции в процессе таможенного контроля на протяжении всей торговой поставки представим в виде единой шкалы таможенных операций и назовем ее функциональной архитектурой системы таможенного контроля. Основные этапы этой шкалы таможенных операций в зависимости от направления перемещения товаров и транспортных средств через таможенную границу (ввоз или вывоз) приведены соответственно на рис. 1.6, 1.7.



Р и с . 1.6. Основные этапы совершения таможенных операций, осуществляемых при ввозе товаров на таможенную территорию Таможенного союза



Р и с . 1.7. Основные этапы совершения таможенных операций, осуществляемых при вывозе товаров из таможенной территории Таможенного союза

Стоит отметить, что в зависимости от условий поставки товаров, пунктов ввоза, особенностей, заявленных участниками ВЭД в таможенных процедурах, представленные на рис. 1.6, 1.7 таможенные операции могут совершаться последовательно и (или) в ином порядке, и, следовательно, формы и методы таможенного контроля применяются исходя из конкретных условий поставки товаров и необходимых для этого требований соблюдения таможенного законодательства ТС.

Нормами ТК ТС устанавливаются на таможенной территории ТС *единые правила таможенного контроля*, а также единые правила декларирования, применения таможенных процедур к товарам, определения таможенной стоимости, ее проверки и корректировки (при необходимости). Это означает, что таможенный контроль как один из видов государственного контроля устанавливает обязательность совершения определенных действий и со стороны таможенных органов, и со стороны лиц, перемещающих товары и транспортные средства. Здесь

«таможенная процедура – это совокупность норм, определяющих для таможенных целей требования и условия пользования и (или) распоряжения товарами на таможенной территории Таможенного союза или за ее пределами» [7].

Определения таможенных операций в соответствии с Таможенным кодексом ТС приведены в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.2

Определения таможенных операций

Таможенная операция	Определение (дефиниция)	Источник
Прибытие товаров на таможенную территорию ТС	Таможенная операция, при которой ввозимые на таможенную территорию Таможенного союза товары и транспортные средства предъявляются таможенному органу в пунктах пропуска через таможенную границу с сопровождающими их документами и сведениями, необходимыми для таможенного контроля и иных видов государственного контроля	Глава 23 ТК ТС
Убытие товаров с таможенной территории ТС	Таможенная операция, при которой вывозимые с таможенной территории Таможенного союза товары и транспортные средства предъявляются таможенному органу в пунктах пропуска через таможенную границу с сопровождающими их документами и сведениями, необходимыми для таможенного контроля и иных видов государственного контроля	Глава 24 ТК ТС
Временное хранение товаров	Таможенная операция по хранению иностранных товаров под таможенным контролем в местах временного хранения до их выпуска таможенным органом в соответствии с заявленной таможенной процедурой, без уплаты таможенных пошлин, налогов; помещение товаров на временное хранение осуществляется с разрешения таможенного органа по результатам таможенного контроля представленных в таможенный орган перевозчиком, иными лицами, обладающими полномочиями в отношении товаров, или их представителями транспортных (перевозочных), коммерческих и (или) таможенных документов, содержащих сведения о товарах, отправителе (получателе) товаров, стране их отправления (назначения), в том числе в виде электронных документов	Глава 25 ТК ТС

Таможенная операция	Определение (дефиниция)	Источник
Таможенное декларирование товаров	Таможенная операция, применяемая в отношении товаров и транспортных средств, которые подлежат таможенному декларированию при помещении под таможенную процедуру, производится декларантом в письменной и (или) электронной формах с использованием таможенной декларации, на основании которой осуществляется таможенный контроль. <i>Декларация на товары</i> – вид таможенной декларации для таможенного декларирования товаров, выступающих в качестве объектов внешнеэкономической торговой сделки, используется при помещении под таможенные процедуры. <i>Транзитная декларация</i> – вид таможенной декларации для таможенного декларирования товаров и транспортных и перевозочных средств при осуществлении международной перевозки, используется при помещении под таможенную процедуру транзита	Глава 27 ТК ТС
Выпуск товаров	Таможенная операция, осуществляемая таможенными органами по результатам таможенного контроля при соблюдении следующих условий: 1) таможенному органу представлены лицензии, сертификаты, разрешения и (или) иные документы, необходимые для выпуска товаров за исключением случаев, когда указанные документы могут быть представлены после выпуска товаров; 2) лицами соблюдены необходимые требования и условия для помещения товаров под избранную таможенную процедуру; 3) в отношении товаров уплачены таможенные пошлины, налоги либо предоставлено обеспечение их уплаты	Глава 28 ТК ТС
Таможенный транзит	Таможенная операция (процедура), в соответствии с которой товары перевозятся под таможенным контролем по таможенной территории ТС, в том числе через территорию государства, не являющегося членом ТС, от таможенного органа отправления до таможенного органа назначения без уплаты таможенных пошлин, налогов с применением запретов и ограничений, за исключением мер нетарифного и технического регулирования. К процедуре таможенного транзита применяются общие положения, касающиеся декларирования товаров в соответствии с выбранной таможенной процедурой (гл. 27 ТК ТС). Целью процедуры транзита является упорядочение транспортировки товаров по таможенной территории ТС, и в особенности упрощение формальностей, необходимых для пересечения таможенной границы	Ст. 215 ТК ТС

Анализ определений термина «таможенный контроль», идеологии таможенного контроля, методов и форм, перечня и последовательности таможенных операций таможенного контроля позволяет заключить, что таможенный контроль – это сложный системный объект, обладающий всеми свойствами сложных систем: множеством составляющих единство разнородных элементов, их связей и взаимодействий как между собой, так и с внешней средой.

Таможенный контроль – это целостная, целенаправленная, имеющая, в основном, качественную определенность система. Количественная ее неопределенность вносит известные трудности формализации процессов таможенного контроля и их связей (т. е. не поддающиеся их точному описанию). Подчеркнем, что свойство взаимодействия с внешней средой позволяет отнести таможенный контроль к системам открытого типа (открытым системам), а неопределенность характеристик (параметров) процессов, связей и используемой информации характеризует систему таможенного контроля как сложную систему, функционирующую в условиях риска. Это необходимо учитывать в дальнейшем при обосновании подходов к формализации процессов таможенного контроля, а также при выборе методов и создании средств моделирования для исследования процессов таможенного контроля.

Свойство системности таможенного контроля подтверждается еще и тем, что таможенный контроль выполняет одну из функций управления, а именно, осуществляет таможенное регулирование при ввозе, вывозе, транзите (перемещении), хранении и использовании товаров, при внешнеторговых поставках товаров. Исходя из принципов кибернетики, управление (регулирование) присуще только системным объектам.

Данные заключения имеют значение для выбора и развития базовой теории таможенного контроля.

1.3.2. ТАМОЖЕННЫЙ КОНТРОЛЬ КАК СИСТЕМНЫЙ ОБЪЕКТ И КАК ФУНКЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ

Общая теория систем, в том числе теория таможенного контроля, как научная и методологическая платформа исследования сложных системных объектов тесно связана с системным подходом и конкретизирует его системные понятия и определения, принципы и методы. Такая конкретизация необходима для формального представления (формализации) исследуемых процессов системных объектов.

К технологии (процессу) таможенного контроля как *системному объекту* вполне адекватным является применение таких категорий, как: *система* и ее состояние, *элемент* и его состояние, *взаимодействие*, *структура* системы, *внешняя среда*, *входы* и *выходы* системы, *обратная связь*, *входной*, *выходной* и *переходной процессы* и др.

К технологии (процессу) таможенного контроля как *функции управления* необходимо дать определение таких категорий, как: *субъект*, *объект* и *предмет*

таможенного контроля, *субъект* принятия решения по результатам таможенного контроля.

Понимание сущности указанных категорий применительно к технологии (процессу) таможенного контроля как объекту моделирования необходимо для построения базовой теории таможенного контроля, а именно, определения принципов, законов и закономерностей развития технологий таможенного контроля, создания методологии, методов и инструментальных средств для исследования и моделирования процессов таможенного контроля, а также для применения полученных научных результатов в практической деятельности таможенных органов.

Рассмотрим основные категории технологии таможенного контроля как системного объекта и как функции управления.

1. Таможенный контроль как системный объект

Система таможенного контроля – это множество составляющих единство элементов (функций, процессов, операций), их связей и взаимодействий между собой и между ними и внешней средой (таможенное регулирование, внешнеэкономическая и внешнеторговая деятельность), образующих присущую данной системе целостность, качественную определенность и целенаправленность.

Элемент (функция, процесс, операция) – неделимая часть системы таможенного контроля, обладающая самостоятельностью по отношению к данной системе. Неделимость элемента рассматривается как нецелесообразность учета в пределах данной системы его внутреннего строения. Сам элемент (процесс, операция) характеризуется только его внешними проявлениями в виде связей и взаимосвязей с остальными элементами.

Множество элементов системы A описывается в виде:

$$A = \{a_i\}, i = 1, 2, \dots, n,$$

где a_i – i -й элемент системы;

n – число элементов в системе.

Каждый i -й элемент (функция, процесс, операция) характеризуется m конкретными свойствами $Z_{i1}, \dots, Z_{im}$ («занят – свободен», длина очереди, приоритет, среднее время обслуживания, число рабочих мест (каналов обслуживания) и др.).

Состоянием i -го элемента называется совокупность значений всех m его свойств:

$$Z_i = (Z_{i1}, \dots, Z_{im}).$$

Состояние элемента может изменяться в зависимости от различных факторов (времени, положения в пространстве, воздействий внешней среды и т. д.). Последовательные изменения состояний элемента называются *движением* (*эволюцией*, *развитием*) *элемента* (*функции*, *процесса*, *операции*).

Связь – совокупность зависимостей свойств одного элемента от свойств других элементов системы. Установить связь между двумя элементами – это значит

выявить наличие зависимостей их свойств. Множество Q связей между элементами a_i и a_j можно представить в виде:

$$Q = \{q_{ij}\}, i, j = 1, 2, \dots, n.$$

Зависимость свойств элементов может иметь односторонний и двусторонний характер. Двусторонняя зависимость свойств одного элемента от свойств других элементов системы называется *взаимосвязью*.

Взаимодействие – совокупность взаимосвязей и взаимоотношений между свойствами элементов, когда они приобретают характер взаимодействия друг с другом.

Структура системы таможенного контроля – совокупность элементов (функций, процессов, операций) и связей между ними в виде множества:

$$S = \{A, Q\}.$$

Структура системы таможенного контроля является статической характеристикой системы. Она определяет только строение системы, не учитывая множества свойств (состояний) ее элементов.

Внешняя среда – набор существующих во времени и пространстве объектов (ВЭД, ВТД, таможенное регулирование), которые воздействуют на систему, но в состав системы не входят.

Состояние системы таможенного контроля – совокупность состояний ее n элементов и связей между ними:

$$Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_k, \dots, Z_n).$$

Множество допустимых состояний системы $Z_{\text{доп}}$ – некоторая подобласть возможных состояний Z .

Входы системы таможенного контроля $X(t)$ – это различные точки приложения воздействия (влияния) внешней среды на систему (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Иллюстрация основных понятий системы таможенного контроля

$$X(t) = \{c(t), r(t), v(t)\},$$

где $c(t)$ – входные потоки документов, объектов таможенного контроля (товары, транспортные средства, лица), сообщения и т. д.;

$r(t)$ – обеспечивающие воздействия (информационные, кадровые, финансовые и др. ресурсы);

$v(t)$ – помехи (отказы и др.).

Под влиянием этих воздействий система таможенного контроля совершает движение $Z(t)$ к намеченной цели и формирует вектор выходных результатов – выходы системы $Y(t)$.

Выходы системы таможенного контроля $Y(t)$ – это различные точки приложения воздействия (влияния) системы таможенного контроля на внешнюю среду (документы, товары, транспортные средства, лица).

Обратная связь – то, что соединяет выход системы с ее входом. Это множество ответных реакций $\{c^*(t), r^*(t), v^*(t)\}$, корректирующих цель, обеспечение и подавляющие помехи. В процессе таможенного контроля обратную связь обеспечивает система управления рисками (СУР), которая обеспечивает определение товаров, транспортных средств, документов и лиц, подлежащих таможенному контролю, форм таможенного контроля, а также степени (в том числе методов) его проведения.

Ограничения системы таможенного контроля – это то, что определяет условия ее функционирования. Ограничения системы бывают *внутренними* и *внешними*. В технологиях таможенного контроля к внутренним ограничениям можно отнести ограничения в штатной численности персонала или информационно-технических средств таможенного контроля, а к внешним – правовые основы проведения таможенного контроля, например, положения, касающиеся соблюдения прав участников ВЭД (например, ограничений по времени проведения таможенного контроля).

Функционирование системы таможенного контроля – это процесс последовательного изменения состояния системы для достижения поставленной цели. Различают входной, выходной и переходной процессы.

Входной процесс таможенного контроля – множество входных воздействий, которые изменяются с течением времени. Как правило, этот процесс задается функцией. *Функции входных процессов* – задание по определенному правилу и в определенные моменты времени входных воздействий (потоки товаров, транспортных средств, документов, лиц).

Выходной процесс таможенного контроля – множество выходных воздействий на внешнюю среду (результаты таможенного контроля), которые изменяются с течением времени. *Функции выходных процессов* – задание по определенному правилу и в определенные моменты времени выходных величин (реакций) системы.

Переходной процесс системы таможенного контроля (процесс движения системы) – множество преобразований начального состояния и входных воздействий в выходные величины, которые изменяются с течением времени по определенным правилам.

2. Таможенный контроль как функция управления

Как функция (стадия) управления таможенный контроль характеризуется следующими элементами: *субъект, объект и предмет* таможенного контроля, *субъект* принятия решения по результатам таможенного контроля. Для достижения целей управления необходимы также знания *целей, задач, принципов, методов, средств и форм* таможенного контроля.

Во-первых, *субъектом таможенного контроля* являются *таможенные органы* и *должностные лица* таможенных органов, уполномоченные на его проведение (выполнение функции таможенного контроля и реализации его форм и методов). Это подтверждается следующим положением таможенного законодательства. Таможенный контроль «...проводится таможенными органами в соответствии с таможенным законодательством Таможенного союза и законодательством государств – членов Таможенного союза. От имени таможенных органов таможенный контроль проводят должностные лица таможенных органов, уполномоченные на проведение таможенного контроля в соответствии со своими должностными (функциональными) обязанностями» (п. 1, ст. 95 ТК ТС).

Во-вторых, *субъектом таможенного контроля* также являются *специалисты и эксперты*, привлекаемые из других государственных органов для оказания содействия в проведении таможенного контроля (ст. 102 ТК ТС). Необходимость такого привлечения вызвана тем, что должностные лица таможенных органов не всегда обладают специфическими (уникальными) знаниями, которые необходимы в конкретных случаях для проведения таможенного контроля, и тогда привлекают специалистов из других государственных органов, т. е. обращаются к услугам профессионалов. При этом запрос таможенного органа о привлечении необходимого специалиста является обязательным для исполнения руководителем государственного органа, предприятия, учреждения или организации, где работает привлекаемый специалист. Это говорит о роли и важности таможенного контроля в общей задаче государственного контроля деятельности государства.

В третьих, *субъектами таможенного контроля* являются лица, перемещающие товары через таможенную границу ТС, оказывающие услуги в сфере таможенного дела и, как правило, подпадающие под такой контроль (участники ВЭД, перевозчики, декларанты, владельцы складов, лица, пользующиеся специальными упрощениями, физические лица, следующие через таможенную границу).

Объектом таможенного контроля являются (п. 2 ст. 95 ТК ТС):

- *товары*, в том числе транспортные средства, перемещаемые через таможенную границу ТС и (или) подлежащие декларированию;
- *таможенные декларации, документы и сведения о товарах*, представление которых предусмотрено таможенным законодательством ТС;
- *деятельность лиц*, осуществляющих внешнеэкономическую деятельность, связанную с перемещением товаров через таможенную границу ТС, либо предпринимательскую деятельность в отношении товаров, находящихся под

таможенным контролем, оказанием услуг в сфере таможенного дела, а также лиц, пользующихся специальными упрощениями в соответствии с таможенным законодательством и осуществляемых свою деятельность в рамках отдельных таможенных процедур;

– *физические лица*, пересекающие таможенную границу ТС.

Предметом таможенного контроля является перечень требований и (или) критериев, согласно которым организуется таможенный контроль. Предмет таможенного контроля определяется, прежде всего, характером и содержанием объекта таможенного контроля. Общими требованиями, в соответствии с которыми организуется таможенный контроль объектов контроля, являются требования таможенного законодательства ТС и законодательства государств – членов ТС.

Субъектом принятия решения по результатам таможенного контроля является должностное лицо таможенного органа, принявшего решение по результатам таможенного контроля. Одним из результатов таможенного контроля является *выпуск товаров*, который представляет собой действие таможенных органов, разрешающее заинтересованным лицам использовать товары в соответствии с условиями заявленной таможенной процедуры (выпуск для внутреннего потребления, экспорт, таможенный транзит, таможенный склад, переработка на (вне) таможенной территории и др. (ст. 202 ТК ТС). Выпуск товаров осуществляется при соблюдении следующих условий:

– таможенному органу представлены лицензии, сертификаты, разрешения и (или) иные документы, необходимые для выпуска товаров, за исключением случаев, когда указанные документы могут быть представлены после выпуска товаров;

– лицами соблюдены необходимые требования и условия для помещения товаров под избранную таможенную процедуру;

– в отношении товаров уплачены таможенные пошлины, налоги либо предоставлено обеспечение их уплаты.

При этом *выпуск товаров* осуществляется *таможенными органами* по результатам проведенного таможенного контроля, который должен быть завершен не позднее одного рабочего дня, следующего за днем регистрации декларации на товар. *Выпуск товаров производится должностным лицом таможенного органа* путем проставления соответствующих отметок в декларации на товар и (или) коммерческих, транспортных документах, а также путем передачи соответствующих сведений в информационную систему таможенных органов.

Для исследования и моделирования процессов таможенного контроля необходимо понимание *целей, задач, принципов, средств, методов и форм* таможенного контроля.

Целью таможенного контроля является обеспечение соблюдения таможенного законодательства ТС и законодательства государств – членов ТС при перемещении товаров и транспортных средств через таможенную границу ТС.

Незаконным перемещением товаров через таможенную границу ТС считается «перемещение товаров ... вне установленных мест или в неустановленное

время ..., либо с сокрытием от таможенного контроля, либо с недостоверным декларированием или не декларированием товаров, либо с использованием документов, содержащих недостоверные сведения о товарах, и (или) с использованием поддельных либо относящихся к другим товарам средств идентификации» [8].

Достижение поставленной цели таможенного контроля осуществляется путем решения следующих *основных задач*:

1) установление подлинности документов (срок действия, наличие и подлинность необходимых реквизитов – печати, подписи, штампы);

2) проверка правильности оформления документов (правильность заполнения соответствующих граф таможенной декларации, отсутствие исправлений);

3) проверка достоверности сведений, содержащихся в документах: данные об отправителе, получателе товара, декларанте, сведения о перемещаемых товарах (наименование, стоимость, количество, страна происхождения, легальность ввоза-вывоза, соблюдение запретов и ограничений и др.), сведения об уплате таможенных платежей и другие данные;

4) проверка деятельности лиц, осуществляющих внешнеэкономическую деятельность, связанную с перемещением товаров через таможенную границу ТС, либо предпринимательскую деятельность в отношении товаров, находящихся под таможенным контролем, с оказанием услуг в сфере таможенного дела, а также лиц, пользующихся специальными упрощениями в соответствии с таможенным законодательством и осуществляемой деятельностью в рамках отдельных таможенных процедур;

5) сбор информации: ведение учета товаров, находящихся под таможенным контролем, и совершаемых с ними таможенных операций (в том числе с использованием информационных систем и технологий).

Основными функциями таможенного контроля являются:

– аналитическая (выявление отклонений от требований таможенного законодательства, анализ причин и оценка последствий таких отклонений);

– информационная (сбор информации о нарушителях, характере нарушений, принимаемых мерах);

– регулирующая (разработка предложений по устранению выявленных нарушений);

– профилактическая (разработка мер по недопущению таких нарушений в дальнейшем);

– правоохранительная (привлечение к ответственности лиц, допустивших нарушения требований таможенного законодательства).

К *общим принципам проведения таможенного контроля* относятся [10]:

– *принцип законности* – все действия участников таможенного контроля не должны противоречить международным правовым нормам, а также таможенному законодательству ТС и иному законодательству государств – членов ТС, в частности законодательству РФ. Таможенные органы должны придерживаться конституционного постулата: «все, что не запрещено законом, – разрешено»;

– *принцип уважения прав и свобод субъектов ВЭД* – уважение должностными лицами таможенных органов законных интересов подконтрольных субъектов. В процессе таможенного контроля не допускаются действия, сопряженные с умалением человеческих прав и их достоинства. Кроме того, должностные лица таможенных органов не должны причинять неправомерный вред лицам, их товарам и транспортным средствам при проведении таможенного контроля. В противном случае они привлекаются к ответственности. Убытки, причиненные неправомерными решениями, действиями таможенных органов либо их должностными лицами при проведении таможенного контроля, подлежат возмещению в полном объеме, включая упущенную выгоду (неполученный доход). В случае совершения ими правомерных действий убытки возмещению не подлежат;

– *принцип выборочности* таможенного контроля – использование должностными лицами таможенных органов только тех форм таможенного контроля, которые являются достаточными для соблюдения законодательства. Иными словами, должностное лицо таможенного органа вправе выбирать, в каком направлении он будет производить таможенный контроль. Однако неприменение других форм контроля либо освобождение от них не означает, что субъекты внешнеторговой деятельности могут не исполнять требования, установленные законодательством;

– *принцип гуманности* – применение в процессе таможенного контроля только тех технических средств, которые безопасны для жизни и здоровья человека, животных и растений, а также не причиняют ущерба товарам, транспортным средствам и лицам;

– *принцип оперативности* – заключается в том, что Правительством РФ и подчиненными ему органами исполнительной власти (в том числе ФТС России) устанавливаются наиболее и сравнительно короткие сроки для установления и реализации необходимых (в конкретных случаях) форм таможенного контроля. При выборе форм таможенного контроля используется СУР;

– *принцип сотрудничества таможенных органов* с соответствующими органами иностранных государств – взаимодействие таможенных органов России с таможенными службами стран-партнеров посредством совместных мероприятий по выявлению и предупреждению неправомерных деяний субъектов внешнеторговой деятельности, заключения с ними соглашений о взаимной помощи, информирования и консультирования по отдельным проблемам;

– *принцип эффективности* – таможенные органы стремятся к взаимодействию с участниками ВЭД, брокерами, перевозчиками и иными организациями, деятельность которых связана с осуществлением внешней торговли товарами, и их профессиональными объединениями (ассоциациями).

К *специальным принципам проведения таможенного контроля* относятся следующие:

– таможенный контроль проводится исключительно таможенными органами;

– таможенный контроль проводится в минимальных объемах, необходимых для обеспечения соблюдения таможенного законодательства ТС и законодательства государств – членов ТС;

– таможенные органы в процессе таможенного контроля применяют методы анализа рисков (система управления рисками) для определения товаров, транспортных средств, документов и лиц, подлежащих проверке, а также степени таковой проверки;

– в целях повышения эффективности таможенного контроля таможенные органы сотрудничают: а) с иными контролирующими государственными органами; б) с участниками внешнеэкономической деятельности (в том числе с перевозчиками, экспортерами, таможенными брокерами и др.); в) с таможенными органами иностранных государств в соответствии с международными договорами.

– таможенные органы в пределах своей компетенции осуществляют иные виды контроля, в том числе экспортный, валютный и радиационный, в соответствии с законодательством государств – членов ТС;

– при проведении таможенного контроля каких-либо разрешений, предписаний либо постановлений на его проведение таможенными органами не требуется, за исключением случаев, предусмотренных ТК ТС;

– таможенный контроль проводится как в зоне таможенного контроля, так и в других местах, определяемых таможенными органами, где находятся товары, транспортные средства и документы, содержащие сведения о них, в том числе в электронной форме.

Средства таможенного контроля представлены в основном информационно-техническими средствами таможенных органов. К ним относятся: информационные и программно-технические комплексы, обеспечивающие автоматизацию решения задач таможенного контроля, технические средства таможенного контроля, средства связи и телекоммуникации.

Среди *методов таможенного контроля* (см. рис. 1.4) следует выделить:

– методы документального контроля – методы проверки документов и содержащейся в них информации о товарах, подлежащих таможенному контролю;

– методы фактического контроля – методы контроля физических характеристик задекларированных товаров, средств идентификации, наличия или отсутствия товаров и транспортных средств;

– методы таможенного контроля, осуществляемые в местах прибытия (убытия) товаров и транспортных средств на (из) таможенной территории ТС;

– методы таможенного контроля, осуществляемые в связи с перевозкой товаров;

– методы таможенного контроля, осуществляемые в связи с хранением товаров в зоне таможенного контроля;

– методы таможенного контроля, осуществляемые в связи с таможенным декларированием;

– методы таможенного контроля, осуществляемые в связи с применением таможенной процедуры;

– методы сплошного контроля, имеющие место, когда используются все формы контроля, установленные ТК ТС.

Как уже было показано (см. рис. 1.5), в таможенном контроле используется 12 форм: 1) проверка документов и сведений; 2) устный опрос; 3) получение объяснений; 4) таможенное наблюдение; 5) таможенный осмотр; 6) таможенный досмотр; 7) личный таможенный досмотр; 8) проверка маркировки товаров специальными марками, наличия на них идентификационных знаков; 9) таможенный осмотр помещений и территорий; 10) учет товаров, находящихся под таможенным контролем; 11) проверка системы учета товаров и отчетности; 12) таможенная проверка.

Следует отметить, что последовательность совершения процессов и операций таможенного контроля при перемещении товаров и транспортных средств через таможенную границу ТС, а также при их помещении под таможенную процедуру регулируется национальным законодательством государств – членов ТС. Базовые средства, методы и формы таможенного контроля регулируются таможенным законодательством ТС. Применение методов таможенного контроля на единой таможенной территории ТС должно быть единообразным, транспарентным (понятным, прозрачным), согласованным и, в целом, унифицированным (применение единообразных методик таможенного контроля).

1.3.3. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ КАК ОБЪЕКТА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Многоцелевой характер системы таможенного контроля, широкий спектр объектов и параметров таможенного контроля, множество и разнообразие применяемых методов и форм таможенного контроля, неопределенность характеристик входных и выходных потоков в системе таможенного контроля подтверждают тот факт, что технологии таможенного контроля как объект моделирования относятся к сложным системам, основными особенностями которых являются следующие.

1. *Эмерджентность* как проявление в наиболее яркой форме свойств целостности системы таможенного контроля. *Структурная целостность технологии таможенного контроля* проявляется в том, что она представляет собой систему таможенного контроля, деятельность которой осуществляется на базе единого организационного, технологического и информационного комплекса. *Функциональная целостность* проявляется в том, что таможенный контроль (как целевая функция таможенных органов) обеспечивает реализацию общегосударственной функции защиты экономических интересов России путем выполнения экономической (фискальной), правоохранительной, контрольной (контроль соблюдения таможенного законодательства) функций таможенных органов.

Эмерджентность есть результат возникновения синергетических связей, которые обеспечивают увеличение общего эффекта по направлениям (функциям)

деятельности таможенных органов. Отсюда следует, что проблемы таможенного контроля необходимо исследовать в целом и комплексно.

2. *Сложность структуры* товарных, транспортных и информационных потоков и услуг, сложность механизмов таможенного регулирования. Это требует проведения научных исследований по широкому спектру проблем в таможенном контроле, использования результатов анализа значительного количества наблюдений и экспериментальных данных, использования преимущественно таких научных теорий и методов, которые дают возможность осуществлять количественный анализ проблемных ситуаций в системе таможенного контроля.

3. *Неопределенность* в развитии технологий таможенного контроля, с одной стороны, и с другой – неопределенность и динамичность современной экономической обстановки в стране. Для обеспечения эффективного таможенного контроля условиях неопределенности, несомненно, требуется соответствующая информационно-аналитическая и технологическая поддержка процессов принятия решений (методы и средства исследования и моделирования).

4. *Случайность* в развитии проблемных и рискованных ситуаций таможенного контроля, исследование которых эффективно лишь с использованием методов имитационного (имитационно-статистического) моделирования.

5. *Динамический характер* развития системы таможенного контроля предполагает обоснованный выбор направлений ее развития во времени и с учетом внутренних и внешних факторов. Это предопределяет необходимость исследования системы таможенного контроля в динамике, основным методом которого является метод имитационного моделирования.

6. Практически, *невозможность исследования* процессов таможенного контроля аналитическими методами ввиду сложности самой области исследования и постоянно изменяющихся ее характеристик под воздействием внешних условий. Это диктует необходимость использования для целей системного анализа технологий (процессов) таможенного контроля алгоритмических (имитационных) моделей.

7. *Многоцелевой характер функционирования* системы таможенного контроля. При управлении такой системой, как правило, всегда возникает необходимость решения многокритериальной задачи и поиска так называемых оптимальных, компромиссных решений.

8. В процессе таможенного контроля *необходимость информационного взаимодействия* с внешними системами (с иными контролирующими органами федерального и регионального уровня, с организациями и участниками ВЭД и др.). Это требует разработки эффективных методов и моделей информационного обмена и обеспечения информационной безопасности таможенных органов.

Для исследования подобных объектов необходимо использовать адекватные методы и инструменты моделирования.

Рассмотренные особенности подтверждают сказанное выше: универсальным методом исследования технологий таможенного контроля является метод

моделирования, в частности, имитационного моделирования. Метод основывается на возможности изучения реального объекта не непосредственно, а через рассмотрение подобного и более доступного объекта, его имитационной модели.

1.4. ТИПОВЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

Проблема повышения эффективности таможенного контроля в настоящее время является важной и актуальной. На ее решение ориентированы обозначенные в Стратегии развития таможенной службы РФ до 2020 г. направления развития Федеральной таможенной службы. Показано, что повышение эффективности таможенного контроля будет способствовать «...повышению уровня экономической безопасности Российской Федерации, созданию благоприятных условий для привлечения инвестиций в российскую экономику, полному поступлению доходов в федеральный бюджет, защите отечественных производителей, охране объектов интеллектуальной собственности и максимальному содействию внешнеторговой деятельности» [11].

Научная проблема повышения эффективности таможенного контроля сводится к разработке на базе теоретических положений таможенного контроля научно-методического аппарата и специальных инструментов исследования и моделирования (систем, алгоритмов, методик), обеспечивающих решение широкого спектра прикладных (практических) задач совершенствования и повышения эффективности таможенного контроля, что позволит обеспечить определенный уровень гарантии результатов таможенного контроля.

Прикладные задачи исследования и моделирования процессов таможенного контроля по содержанию и характеру цели исследования можно свести в несколько типовых групп. Среди них:

1. *Задачи выявления связей и определения функциональных соотношений.* Эта группа задач выявления количественных зависимостей между входными потоками системы таможенного контроля и ее выходными показателями (результатами функционирования системы). Сюда же можно отнести задачу идентификации неявных свойств объекта, при которой множество исходных косвенных факторов выражают через более емкие внутренние характеристики объекта, зачастую не имеющие количественного выражения.

2. *Задачи прогноза.* Задачи этой группы предполагают изучение динамики изменения параметров и показателей функционирования системы таможенного контроля при изменении ее внешних и внутренних условий, например при изменении параметров ВЭД (импорт, экспорт, транзит), уровня автоматизации процессов таможенного контроля, изменении технологии таможенного контроля,

характеристик элементов системы, квалификации специалистов и др. К этой группе следует отнести задачи определения (прогноза) требований к внешним и внутренним параметрам системы таможенного контроля для достижения конкретных результатов деятельности таможенных органов.

3. *Расчетные задачи.* Это достаточно широкий спектр задач прямого расчета параметров и показателей функционирования системы таможенного контроля, включая расчеты интегральных показателей (критериев) качества таможенного контроля, оценки временных характеристик, технико-экономические оценки, расчета потребностей в соответствующих ресурсах (информационно-технических, кадровых, инфраструктурных и др.) для решения задач таможенного контроля и т. п.

4. *Задачи оптимизации параметров, показателей:*

а) *однокритериальные* – эту группу задач составляют строго поставленные параметрические задачи оптимизации, решение которых предполагает точное определение переменных параметров системы таможенного контроля, при которых обеспечивается максимальное или минимальное значение критерия эффективности таможенного контроля. К таким задачам относятся задачи оптимизации ресурсов системы, задачи структурной и параметрической оптимизации процессов таможенного контроля;

б) *многокритериальные* – это задачи нахождения такого состояния объекта, при котором значения рассматриваемых показателей (критериев) эффективности таможенного контроля были бы пусть и не оптимальными, но в определенном смысле наилучшими. Задачи этой группы предполагают анализ, сопоставление альтернативных вариантов технологий таможенного контроля и выбор оптимального (рационального) варианта с точки зрения поставленных целей. Сравнение и дальнейший выбор вариантов может осуществляться как по одному, так и по нескольким критериям.

Важно отметить, что четкой грани между указанными типовыми задачами нет. Более того, для решения задач с высшим порядковым номером группы, как правило, приходится решать нижестоящие задачи.

Таким образом, для решения типовых задач исследования процессов таможенного контроля необходимо иметь адекватные по сложности инструментальные средства исследования, обеспечивающие всесторонний анализ процессов и выбор наилучших вариантов структуры системы таможенного контроля. Современными инструментальными средствами для проведения подобных работ могут быть специализированные объектно-ориентированные системы имитационного моделирования.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СУЩНОСТЬ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Существует множество определений и понятий «имитационной модели». Имитационную модель можно определить как вычислительную процедуру, формализованно описывающую изучаемый объект и имитирующую его поведение. При ее формировании нет необходимости упрощать описание явления, отбрасывая порой даже существенные детали, чтобы втиснуть его в рамки модели, удобной для применения тех или иных известных математических методов анализа. Для имитационного моделирования характерна имитация элементарных явлений, составляющих исследуемый процесс, с сохранением их логической структуры, последовательности протекания во времени, характера и состава информации о состояниях процесса.

2.1.1. ИДЕЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Особенности метода заложены в самой идее имитационного моделирования. *Идея метода имитационного моделирования* состоит в том, что вместо аналитического описания взаимосвязей между входами, состояниями и выходами объекта строят алгоритм, отображающий последовательность развития процессов внутри исследуемого объекта, а затем «проигрывают» поведение объекта на компьютере. Разработка достаточно качественной имитационной модели часто обходится дороже создания аналитической модели и требует больших временных затрат. Следует отметить, что, поскольку для имитационного моделирования зачастую требуются «мощные» компьютеры, большие выборки статистических данных, издержки, связанные с имитацией, почти всегда высоки по сравнению с расходами, необходимыми для решения задачи на небольшой аналитической модели. Поэтому во всех случаях следует сопоставлять затраты средств и времени, необходимые для имитации, с ценностью информации, которую ожидают получить в результате исследования (решения) модели.

Решение имитационной модели всегда носит частный (точечный) характер. Оно соответствует фиксированным значениям параметров системы и начальных условий. Обычно для анализа сложной системы приходится многократно

моделировать ее процесс функционирования, варьируя исходные данные задачи. Тем не менее по результатам моделирования возможны любые качественные и количественные исследования.

В связи с этим имитационное моделирование является одним из наиболее широко используемых методов при решении задач анализа и синтеза сложных систем, процессов и явлений. Такие достоинства имитационного метода, как возможность описания поведения элементов сложной системы (процессов) на различных уровнях детализации, отсутствие ограничений на вид зависимостей между параметрами имитационной модели и характеристиками внешней среды, возможность исследования динамики взаимодействия элементов системы во времени и пространстве, обеспечивают методу имитационного моделирования широкое распространение.

Имитация представляет собой уникальный численный метод проведения компьютерных экспериментов с математическими (логико-алгоритмическими) моделями, описывающими поведение системы в течение определенного периода времени. Поэтому термин «имитационное моделирование» номинирует процесс построения модели, ее испытание и применение модели (экспериментальное исследование модели) для изучения некоторого явления, процесса или системы в целом.

Имитационные модели как подкласс математических моделей можно классифицировать на статические и динамические, детерминированные и стохастические, дискретные и непрерывные. Они имеют аналогичные математическим моделям определения объекта исследования, параметров и переменных модели, критериев, ограничений и целевой функции.

Новыми в имитационном моделировании являются понятия «времени» – модельного времени, реального времени, времени моделирования, а также понятия «формализованная схема», «моделирующий алгоритм». Место и роль этих понятий рассмотрим в процессе изучения механизма имитации и структурной схемы имитационных моделей.

2.1.2. СУЩНОСТЬ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрим механизм имитации функционирования системы таможенного контроля на следующих примерах.

Пример 1. Объектом имитации является процесс таможенного контроля, в результате которого осуществляется проверка документов и сведений, представленных при перемещении через таможенную границу товарной партии i -го типа.

Можно выделить четыре операции проверки. Пусть каждая операция характеризуется своим номером j .

При $j = 1$ осуществляется проверка подлинности товаросопроводительных документов. Для реализации этого события выполняется элементарная операция ЭО_{1i}.

Вторая операция ($j = 2$) обеспечивает проверку общих сведений о поставке (сведения о таможенной процедуре, о количестве товаров, количестве упаковочных мест и др.);

третья операция ($j = 3$) – проверку сведений о лицах и «географии» поставки (паспорта сделки; коды торгующей страны, страны отправления и происхождения товара, страны назначения товара и др.). Четвертая операция ($j = 4$) обеспечивает проверку сведений для исчисления и уплаты таможенных платежей.

Таким образом, элементарными операциями, обеспечивающими проверку документов и сведений в декларации на товарную партию i -го типа, являются $\mathcal{EO}_{i2}$, $\mathcal{EO}_{i3}$, $\mathcal{EO}_{i4}$. Процесс проверки документов и сведений о товарной партии i -го типа отображается компонентой K_i (конкретной функцией таможенного контроля) системы.

При имитации процесса проверки документов и сведений о товарной партии i -го типа (т. е. реализации конкретной функции таможенного контроля) элементарные операции $\mathcal{EO}_{i1}$, $\mathcal{EO}_{i2}$, $\mathcal{EO}_{i3}$, $\mathcal{EO}_{i4}$ представляются:

а) некоторыми упрощенными элементарными операциями $\mathcal{EO}_{i1*}$, $\mathcal{EO}_{i2*}$, $\mathcal{EO}_{i3*}$, $\mathcal{EO}_{i4*}$. Степень этого упрощения определяет уровень детализации имитационной модели. Отличие $\mathcal{EO}_{ij*}$ от $\mathcal{EO}_{ij}$ порождает ошибки имитации реальной системы;

б) временами τ_{i1} , τ_{i2} , τ_{i3} , τ_{i4} выполнения элементарных операций $\mathcal{EO}_{i1}$, $\mathcal{EO}_{i2}$, $\mathcal{EO}_{i3}$, $\mathcal{EO}_{i4}$. Причем последовательность временных интервалов τ_{ij} принадлежит «локальному времени» t_i компоненты K_i , т. е. времени реализации процесса проверки документов и сведений о товарной партии i -го типа.

На рис. 2.1 представлен пример развития компоненты K_i в координатах $[\mathcal{EO}_{ij*}, t_i]$. Следует отметить, что подобная система координат носит условный характер, поскольку по оси ординат нельзя отложить «значение» элементарной операции $\mathcal{EO}_{ij*}$. Такое представление используется только для изображения того факта, что с течением «локального времени» t_i компонента K_i выполняет несколько различных элементарных операций $\mathcal{EO}_{ij}$.

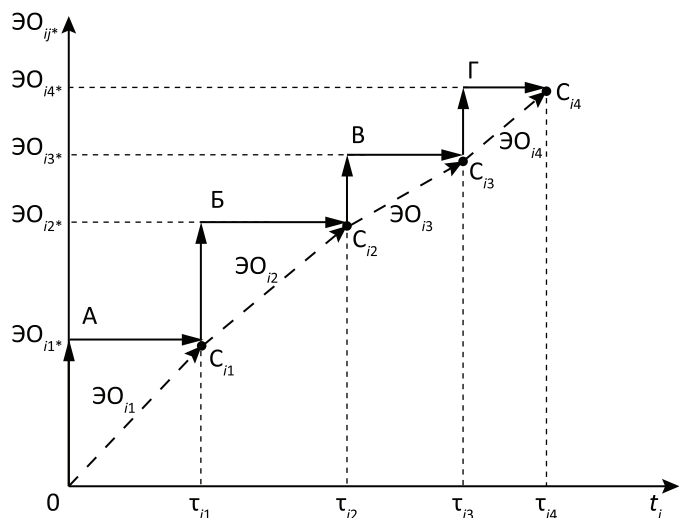


Рис. 2.1. Схема представления в имитационной модели элементарных операций $\mathcal{EO}_{i1}$, $\mathcal{EO}_{i2}$, $\mathcal{EO}_{i3}$, $\mathcal{EO}_{i4}$ компоненты K_i ($i = 1$)

Таким образом, в процессе последовательного выполнения элементарных операций $\text{ЭО}_{i1}, \text{ЭО}_{i2}, \text{ЭО}_{i3}, \text{ЭО}_{i4}$ в компоненте K_i отображаются события $C_{i1}, C_{i2}, C_{i3}, C_{i4}$. Для примера 1 это события следующего характера: C_{i1} – проверена подлинность документов; C_{i2} – проверены общие сведения о поставке; C_{i3} – проверена «география» поставки; C_{i4} – проверены сведения для исчисления и уплаты таможенных платежей. С появлением каждого нового события C_{ij} происходит выполнение новой операции ЭО_{ij} и увеличение ее временной координаты t_i соответственно на величину $\tau_{i1}, \tau_{i2}, \tau_{i3}, \tau_{i4}$.

Условно на рис. 2.1. появление событий C_{ij} в компоненте K_i при выполнении операций ЭО_{ij} показано штрихпунктирной линией. В имитационной модели появление событий реализуется ступенчатой линией: 0, А, C_{i1} , Б, C_{i2} , В, C_{i3} , Г, C_{i4} . Это означает, что вначале выполняется элементарная операция ЭО_{i1*} при неизменном t_i ($t_i = 0$), а затем уже отображается изменение t_i на величину τ_{i1} , инициируя появление события C_{i1} . Затем выполняется ЭО_{i2*} при неизменном времени t_i ($t_i = \tau_{i1}$) и отображается изменение t_i на величину τ_{i2} , инициируя совершение события C_{i2} . Далее аналогичным образом (реализация ЭО_{i3*} и последующее изменение t_i на величину τ_{i3} , реализация ЭО_{i4*} и последующее изменение t_i на величину τ_{i4}) инициируются события C_{i3} и C_{i4} .

Следует отметить, что порядок появления события может быть и обратным: сначала изменяется t_i , а затем уже выполняется элементарная операция ЭО_{ij*} .

В имитационной модели каждая операция ЭО_{ij*} описывается, в общем случае, некоторым алгоритмом A_{ij} . В ходе имитации происходит реализация операций ЭО_{ij*} по соответствующим алгоритмам A_{ij} и последующее изменение t_i на величину τ_{ij} .

Таким образом, можно сказать, что любая имитационная модель описывается набором некоторых «модулей» M_{ij} , каждый из которых содержит в себе алгоритм A_{ij} выполнения соответствующей операции ЭО_{ij*} и оператор $P(t_{ij})$, осуществляющий изменение временной координаты t_i на величину τ_{ij} , т. е. модуль $M_{ij} \Rightarrow [A_{ij}, P(t_{ij})]$.

Если бы имитировалось поведение только одной компоненты системы, то реализацию на компьютере модулей в имитационной модели можно было бы осуществлять строго последовательно и все свелось бы к пересчету временной координаты t_i после очередного выполнения алгоритма A_{ij} .

В действительности же сложные системы, и в частности система таможенного контроля, состоят из множества таких компонент (процессов, функций). Все компоненты, как правило, функционируют одновременно. Параллельность выполнения процессов, функций реальной системы должна отражать и ее имитационная модель. Как это имитируется в модели? Рассмотрим следующий пример 2.

Пример 2. Объектом имитации является процесс таможенного контроля, включающий реализацию, например, трех функций: 1) проверку документов и сведений; 2) контроль таможенной стоимости; 3) сбор и обработку данных (результатов проверки и контроля). Каждый из указанных процессов (функций) имеет конкретную технологию, т. е.

свою последовательность элементарных операций. Каждый процесс (функция) характеризуется своим номером j . Процессы отображаются компонентами K_i ($i = 1, 2, 3$), которые, как правило, в сложной системе выполняются параллельно.

В результате выполнения элементарных операций $\bar{EO}_{ij}$ в системе происходят события C_{ij} . Операция $\bar{EO}_{ij}$ выполняется на интервале времени τ_{ij} . Для каждой компоненты K_i существует свое понятие «локального времени» t_i . В реальной системе t_i изменяются одновременно (параллельность работы), однако характер этих изменений различен и определяется последовательностью временных интервалов $\{\tau_{ij}\}$.

Динамика моделирования операций реальной системы из трех компонент (процессов, функций) представлена на временной диаграмме (рис. 2.2).

На временной диаграмме (см. рис. 2.2) показано, что в системе функционируют три компоненты K_i ($i = \overline{1, 3}$). При функционировании K_1 последовательно происходят четыре события ($C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}$), которые соответствуют четырем моментам изменения времени t_1 ($t_{11}, t_{12}, t_{13}, t_{14}$). Между этими моментами времени компонента K_1 выполняет четыре различные элементарные операции ($\bar{EO}_{11}, \bar{EO}_{12}, \bar{EO}_{13}, \bar{EO}_{14}$). Каждая из указанных элементарных операций выполняется в течение соответствующих интервалов времени ($\tau_{11}, \tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{14}$). Аппроксимация $\bar{EO}_{ij}$ осуществляется последовательностью $\{\bar{EO}_{1j*}\}, j = \overline{1, 4}$.

Аналогично компонента K_2 последовательно выполняет три элементарные операции ($\{\bar{EO}_{2j}\}, j = \overline{1, 3}$) соответственно в течение трех интервалов времени ($\{\tau_{2j}\}, j = \overline{1, 3}$), которые в имитационной модели отображаются соответственно ($\{\bar{EO}_{2j*}\}, j = \overline{1, 3}$).

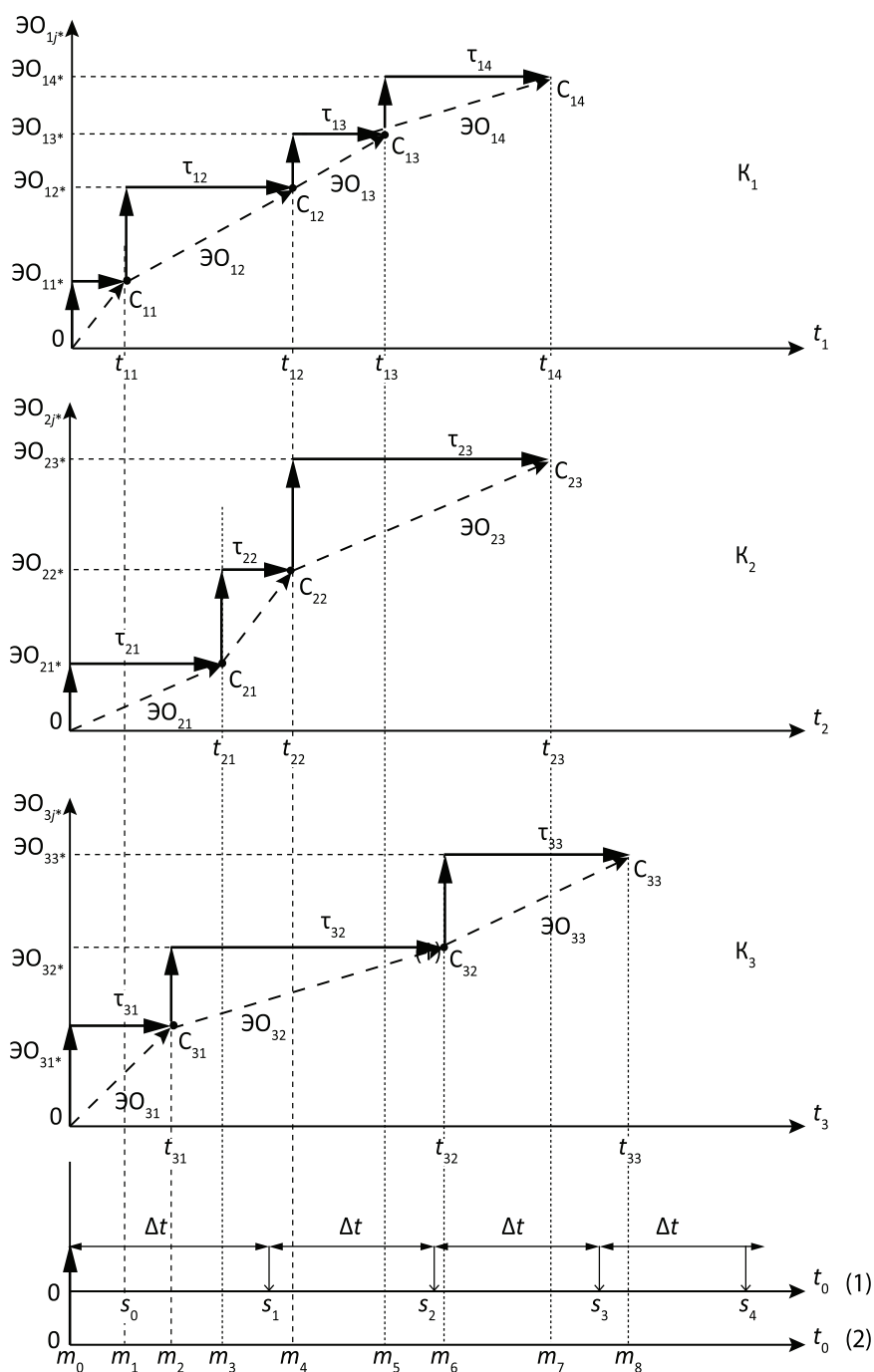
Далее, K_3 также последовательно выполняет три элементарные операции ($\{\bar{EO}_{3j}\}, j = \overline{1, 3}$) соответственно в течение трех интервалов времени ($\{\tau_{3j}\}, j = \overline{1, 3}$), отображаемых в имитационной модели тремя элементарными операциями ($\{\bar{EO}_{3j*}\}, j = \overline{1, 3}$).

Отметим, что каждая отображаемая элементарная операция $\bar{EO}_{ij*}$ описывается соответствующим алгоритмом A_{ij} и реализуется в модели соответствующим модулем M_{ij} .

Таким образом, модуль M_{ij} в модели выполняет двоякую роль: во-первых, имитирует выполнение алгоритма A_{ij} при неизменном t_i и, во-вторых, модифицирует временную координату t_i на величину τ_{ij} .

Алгоритм совместного функционирования трех компонент K_i ($i = 1, 2, 3$) в координатах $[\bar{EO}_{i*}, t_i]$ представлен на рис. 2.2.

В ходе реализации модулей M_{ij} (A_{ij}, τ_{ij}) в модели K_i происходят последовательно события C_{ij} . Для обеспечения имитации параллельных событий реальной системы вводится глобальная переменная t_0 , которая называется *модельным временем*. С помощью этой переменной организуются: во-первых, синхронизация всех событий C_{ij} в модели и, во-вторых, выполнение алгоритмов A_{ij} компонент K_i модели реальной системы.



Р и с . 2.2. Временная диаграмма моделирования операций реальной системы из трех компонент

Набор модулей M_{ij} , отображающих логику и последовательность элементарных операций множества параллельных компонент K_i (процессов, функций) в реальном процессе таможенного контроля, в имитационной модели представляется *формализованной схемой*.

Функции синхронизации событий C_{ij} и управление выполнением алгоритмов модулей M_{ij} в имитационной модели выполняет специальный управляющий блок – *моделирующий алгоритм*.

2.1.3. СТРУКТУРА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Как показано выше, имитационная модель структурно представляет собой совокупность модулей M_{ij} , отображающих поведение реального объекта (процесса). Такая совокупность модулей в имитационной модели представляется формализованной схемой. Организация взаимодействия модулей между собой и с внешней средой (формализация связей) возлагается на моделирующий алгоритм.

В имитационной модели моделирующий алгоритм выполняет следующие функции:

- синхронизация элементарных операций параллельных процессов (*квазипараллельных процессов* в модели) по временной координате t_0 ;
- модификация времени t_0 и выполнение операторов $P(t_{ij})$;
- инициация выполнения алгоритмов A_{ij} модулей M_{ij} ;
- организация взаимодействия модулей M_{ij} в процессе моделирования;
- проверка условий окончания моделирования.

Кроме формализованной схемы и моделирующего алгоритма в имитационную модель включаются дополнительные блоки, обеспечивающие полный цикл процесса моделирования. К основным из них следует отнести:

- блок начала и окончания имитационного эксперимента;
- блок сбора и обработки статистики – результатов моделирования;
- блок обработки и выдачи результатов моделирования.

Стоит отметить, что моделирующий алгоритм и дополнительные блоки имитационной модели являются универсальными и не изменяются при переходе от одной модели к другой. Однако принципы их построения и способ управления работой модулей в модели зависят от класса (типа) реальных систем (процессов) – объектов моделирования.

Вопросы построения моделирующего алгоритма и организации квазипараллельного процесса в имитационной модели являются предметом для специалистов – математиков и программистов, осуществляющих создание программной среды компьютерной системы имитационного моделирования.

Разработка формализованной схемы, т. е. описание (формализация объекта) структуры процессов, элементарных операций (модулей M_{ij}), логики их взаимодействия в имитационной модели, а также формализация алгоритмов A_{ij} работы модулей M_{ij} модели являются предметом исследователей и специалистов

таможенных органов, занимающихся исследованием проблем моделируемого объекта – процессов таможенного контроля.

2.1.4. ФОРМАЛИЗОВАННАЯ СХЕМА: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, РЕАЛИЗАЦИЯ

Под формализацией объекта моделирования понимается составление описания имитационной модели. Описание модели предполагает определение состава модулей M_{ij} и характера их взаимодействия друг с другом, определение условий реализации алгоритма A_{ij} для появления события C_{ij} , а также времени его появления τ_{ij} . Результатом формализованного содержательного описания объекта в имитационной модели является формализованная схема. Существуют различные математические схемы для формализованного описания элементарных операций в имитационной модели.

Широкое распространение получили следующие способы формализованного описания исследуемых объектов: описание активностями, аппаратом событий, транзактами, агрегатами, процессами. Каждый из представленных аппаратов (активность, событие, транзакт, агрегат, процесс) представляет собой формальную математическую схему, позволяющую в формализованном виде представить структуру исследуемого объекта (процесса) как логическую последовательность элементарных операций и их отношений (связей).

Один и тот же моделируемый объект (процесс) принципиально можно представить в виде любой из указанных математических схем формализации. Однако имитационные модели, построенные на их основе, будут отличаться размерами, точностью и количеством ресурсов, затрачиваемых на их создание, испытание и использование. Каждому способу формализации объекта (процесса) соответствует свой способ организации квазипараллелизма в имитационной модели.

Выбор способа формализации объекта, т. е. формальных математических схем (формальных приборов) описания элементарных операций и условий их реализации (модулей) в имитационной модели, осуществляет исследователь с учетом особенностей объекта исследования и требований, предъявляемых к имитационным моделям и условиям их использования (применения).

Среди множества математических схем формализации элементов сложных систем (процессов) универсальным является способ формализации (описания) элементарных операций и процессов с использованием математической схемы «агрегата».

Агрегат является математической схемой (формальным прибором обслуживания сообщений), с помощью которой можно описать достаточно широкий круг реальных процессов. Основными условиями для применения агрегатного способа формализации следующие:

- наличие тесного взаимодействия между элементарными операциями ЭО_{ij} компонент K_i системы;

- компоненты системы обмениваются между собой сигналами, причем каждый выходной сигнал от одной компоненты K_i является входным сигналом для другой компоненты системы;

- сами элементарные операции $ЭО_{ij}$ в модели могут быть представлены математическими зависимостями, позволяющими определять момент появления выходных сигналов компонент K_i при наличии входных сигналов, поступающих от других компонент.

При выполнении этих условий создаются реальные предпосылки для построения имитационной модели по модульному принципу. И в этом случае каждый из модулей имитационной модели строится по унифицированной схеме «агрегата».

Агрегатный способ является достаточно удобным при описании процессов таможенного контроля. Это удобство, а также математическая строгость имитационной модели дают возможность агрегатным моделям широкого использования при решении задач анализа и синтеза сложных систем таможенного контроля. Агрегатный способ представления моделируемого объекта (процесса) предъявляет определенные требования к моделирующему алгоритму. Так как моделирование поведения агрегата представляет собой последовательную цепь переходов из одного особого состояния в другое, моделирующий алгоритм должен обладать следующими специфическими функциями:

- проверка условий перехода агрегата в особые состояния и формирование выходных сигналов;
- изменение координат состояний агрегата;
- передача сигналов от одного агрегата к другому.

2.1.5. МОДЕЛИРУЮЩИЙ АЛГОРИТМ: ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ

При реализации имитационной модели используются три характеристики времени: реальное, модельное, компьютерное (машинное) время.

Реальное время системы (t_p) – это динамическая характеристика системы (*временная координата системы*), в рамках которой исследуется ее поведение.

Модельное время (t_0) – это глобальная переменная (*временная координата имитационной модели*), которая вводится для обеспечения имитации параллельных событий исследуемой системы. С помощью этой переменной организуются: во-первых, синхронизация всех операций и событий в модели и, во-вторых, параллельное выполнение алгоритмов модулей имитационной модели, т. е. программно реализуется квазипараллельная работа модулей имитационной модели. Приставка «квази» говорит о «как бы» параллельной работе модулей модели, т. е. она отражает последовательный характер обслуживания сообщений в модели, одновременно возникающих в разных компонентах (процессах) исследуемой системы.

Компьютерное (машинное) время (t_m) – это время проведения эксперимента с имитационной моделью (*временная координата имитационного эксперимента*).

Корректировка временных координат t_i множества компонент системы K_i осуществляется с помощью модельного времени t_0 следующим образом.

Если значения t_i при выполнении алгоритмов A_{ij} нескольких K_i совпадают (это означает, что в реальной системе происходит одновременно несколько событий C_{ij}), то последовательно обслуживаются алгоритмы A_{ij} , совпадающие по времени выполнения, т. е. имеющие одинаковые значения времени t_{ij} . Здесь и далее под t_{ij} будем понимать конкретное значение времени t_i , при котором происходит событие C_{ij} .

При этом модельное время t_0 не меняется до окончания выполнения всех совпавших по времени реализации алгоритмов A_{ij} . Таким способом последовательно выполняются соответствующие элементарные операции ЭО $_{ij*}$ при неизменном значении t_0 . После каждой реализации алгоритма A_{ij} , обеспечивающего имитацию элементарной операции модели ЭО $_{ij*}$, выполняется оператор корректировки временной координаты $P(t_{ij})$. Эта корректировка практически сводится к вычислению нового значения t_{ij} следующим образом:

$$t_{ij} = t_0 + \tau_{ij}.$$

Новое значение временной координаты t_i запоминается и используется в дальнейшем для определения момента времени работы нового модуля M_{ij} (нового выполнения алгоритма A_{ij} и оператора $P(t_{ij})$ корректировки временной координаты t_i).

Когда имитация одновременно появившихся событий C_{ij} завершена (выполнены соответствующие алгоритмы A_{ij} модулей M_{ij} и проведены корректировки временных координат t_i), меняется значение модельной глобальной переменной t_0 .

Для проведения корректной имитации исследуемых процессов необходимо строго соблюдать выполнение следующего правила:

событие C_{ij} , происходящее в момент времени t_{ij} , может моделироваться только после того, как промоделированы все события, происшедшие в момент времени $t_{i(j-1)}$. В противном случае результат имитации может быть неверным.

Это правило (*золотое правило моделирования*) должно строго соблюдаться при построении моделирующего алгоритма.

Реализация этого правила может проводиться различными способами, а именно, с помощью фиксированных и переменных интервалов изменения модельного времени t_0 . Часто их называют соответственно способами фиксированного (детерминированного) и случайного шагов. В соответствии с этим различаются следующие принципы построения моделирующего алгоритма: повременное моделирование с детерминированным шагом («принцип Δt »), повременное моделирование со случайным шагом (моделирование по «особым» состояниям).

Рассмотрим указанные выше подходы при реализации соответствующих принципов моделирования.

1. Повременное моделирование с детерминированным шагом («принцип Δt »). При повременном моделировании с детерминированным шагом моделирующий

алгоритм одновременно просматривает все модули M_{ij} модели через достаточно малые промежутки времени (шаг моделирования) и анализирует все возможные состояния событий S_{ij} . Для этого определяется минимальный интервал времени Δt , в течение которого осуществляются элементарные операции ЭО_{ij}. Величина Δt принимается за шаг моделирования.

Способ моделирования с детерминированным шагом состоит из совокупности многократно повторяющихся действий, последовательность которых рассмотрим на временной диаграмме (см. рис. 2.2, нижняя часть (1)).

При имитации по «принципу Δt » модельное время t_0 меняется каждый раз на величину шага Δt . Тогда в моменты времени $0, \Delta t_1, 2\Delta t_1, 3\Delta t_1$ и т. д. в имитационной модели происходят события S_0, S_1, S_2, S_3 и т. д. Это означает, что моделирующий алгоритм обеспечивает «обслуживание» тех событий S_{ij} , которые попадают внутрь очередного интервала Δt .

На рис. 2.2 в интервал (S_0, S_1) попадают события C_{11}, C_{31}, C_{21} . Считается, что они происходят одновременно в момент $t_0 = \Delta t$. Моделирующий алгоритм обеспечивает последовательное обслуживание этих событий, что сводится к имитации работы модулей M_{11}, M_{31}, M_{21} . То есть реализуется выполнение пар: A_{11} и τ_{11} , A_{31} и τ_{31} , A_{21} и τ_{21} .

Далее в момент $t_0 = 2\Delta t$ моделирующий алгоритм инициирует событие S_2 . События C_{12}, C_{22} и C_{13} также происходят одновременно, поэтому инициируется выполнение в модели пар $(A_{12}$ и $\tau_{12})$, $(A_{22}$ и $\tau_{22})$ и $(A_{13}$ и $\tau_{13})$.

Время t_0 получает приращение на заранее выбранную величину Δt , а моменты реагирования моделирующего алгоритма на появление событий S_i не связаны с моментами t_{ij} появления событий в реальной системе.

Таким образом, точность моделирования операций и событий S_{ij} определяется шагом Δt изменения модельного времени t_0 и, как правило, все события обслуживаются в точке, соответствующей верхней границе интервала изменения глобальной переменной времени t_0 .

Следует отметить, что построение моделирующего алгоритма по «принципу Δt » весьма неэкономично с точки зрения расхода времени работы компьютера. Если в течение длительного периода ни один из элементов системы не может изменить своего состояния, то прогоны модели с шагом Δt будут совершаться впустую.

2. Повременное моделирование со случайным шагом (моделирование по «особым» состояниям).

В общем случае система может находиться в двух состояниях:

- обычное состояние, в котором система находится большую часть времени;
- особое состояние, характерное для системы в некоторые моменты времени, совпадающие с моментами поступления в систему воздействий из окружения, выхода одной из характеристик системы на границу области существования и т. д. Например, устройство работает – обычное состояние, устройство закончило работу – особое состояние. Любое скачкообразное изменение состояния обь-

екта может рассматриваться при моделировании как переход в новое «особое» состояние.

Повременное моделирование со случайным шагом (от события к событию) заключается в том, что моделирующий алгоритм просматривает модули M_{ij} модели только в такие моменты времени t_i , которые соответствуют моментам t_{ij} появления событий в реальной системе (см. рис. 2.2, нижняя часть (2)). Обработку событий C_{ij} , одновременно появляющихся в реальной системе, моделирующий алгоритм осуществляет последовательно при неизменном модельном времени t_0 . Например, события C_{12} и C_{22} в реальной системе происходят одновременно. В модели сначала реализуется алгоритм A_{12} и модифицируется координата t_1 на величину τ_{12} , а затем выполняется алгоритм A_{22} и модифицируется координата t_2 на величину τ_{22} .

Таким образом, t_0 каждый раз сдвигается на величину, равную минимальному значению приращения модельного времени τ_{ij} , которое получают координаты t_i .

Длительность шага Δt – величина случайная. Этот способ отличается от «принципа Δt » тем, что включает процедуру определения момента времени, соответствующего ближайшему особому состоянию по известным характеристикам τ_{ij} .

Стоит обратить внимание еще на один способ построения моделирующего алгоритма – *позаявочный способ*.

При моделировании процессов обработки последовательно идущих сообщений (заявок) целесообразно строить моделирующие алгоритмы «позаявочным способом», при котором прослеживается прохождение каждой заявки от ее входа в систему и до выхода ее из системы. И только после этого осуществляется переход к рассмотрению следующей заявки. Такого рода моделирующие алгоритмы весьма экономны и не требуют специальных мер для учета «особых» состояний системы. Однако этот способ может использоваться только в простых моделях в случаях последовательных заявок, не опережающих друг друга, так как в противном случае становится весьма затруднительным учет взаимодействия заявок, поступивших в систему.

Стоит отметить, что моделирующие алгоритмы могут строиться на нескольких принципах одновременно. Например, общая структура моделирующего алгоритма базируется на принципе особых состояний, а между особыми состояниями для всех заявок реализуется позаявочный способ.

Независимо от способа изменения модельного времени t_0 моделирующий алгоритм предусматривает выполнение следующих действий:

- выбор событий в модели, которые необходимо обслужить при одном и том же модельном времени t_0 ;
- обслуживание событий (инициализация модулей), которые имеют одинаковое время инициализации;
- определение очередного значения модельного времени по окончании обслуживания всех одновременных (в пределах шага) событий;

- корректировка временной координаты модели t_0 ;
- проверка условий окончания моделирования (либо по времени завершения имитации, либо по выполнению других условий в системе).

Указанные выше действия выполняет моделирующий алгоритм в виде управляющей программы моделирования. Каждое событие C_{ij} в модели, являющееся результатом работы модуля M_{ij} , обслуживается управляющей программой моделирования и требует для реализации некоторого ресурса компьютерного (машинного) времени t_m . Чем чаще обслуживаются события, тем больше возрастает время моделирования на компьютере. С этой точки зрения способ детерминированного шага изменения t_0 является более экономичным, поскольку имеет групповое обслуживание всех событий C_{ij} , которые попали внутрь очередного шага изменения Δt модельного времени.

Способ детерминированного шага применяется в случаях:

- а) когда события C_{ij} распределены равномерно на всем интервале моделирования и можно подобрать такой интервал Δt , который обеспечит минимальную погрешность имитации;
- б) когда событий очень много и они появляются группами.

В тех случаях, когда события C_{ij} распределены неравномерно и появляются они через значительные временные интервалы τ_{ij} применяется способ моделирования по «особым состояниям». В этом случае он экономичнее и точнее и на практике он получил наибольшее распространение.

2.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

2.2.1. ЭТАПЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Построение имитационной модели и ее исследование включает следующие этапы:

I этап – обследование и построение содержательного описания объекта моделирования;

II этап – построение имитационной модели;

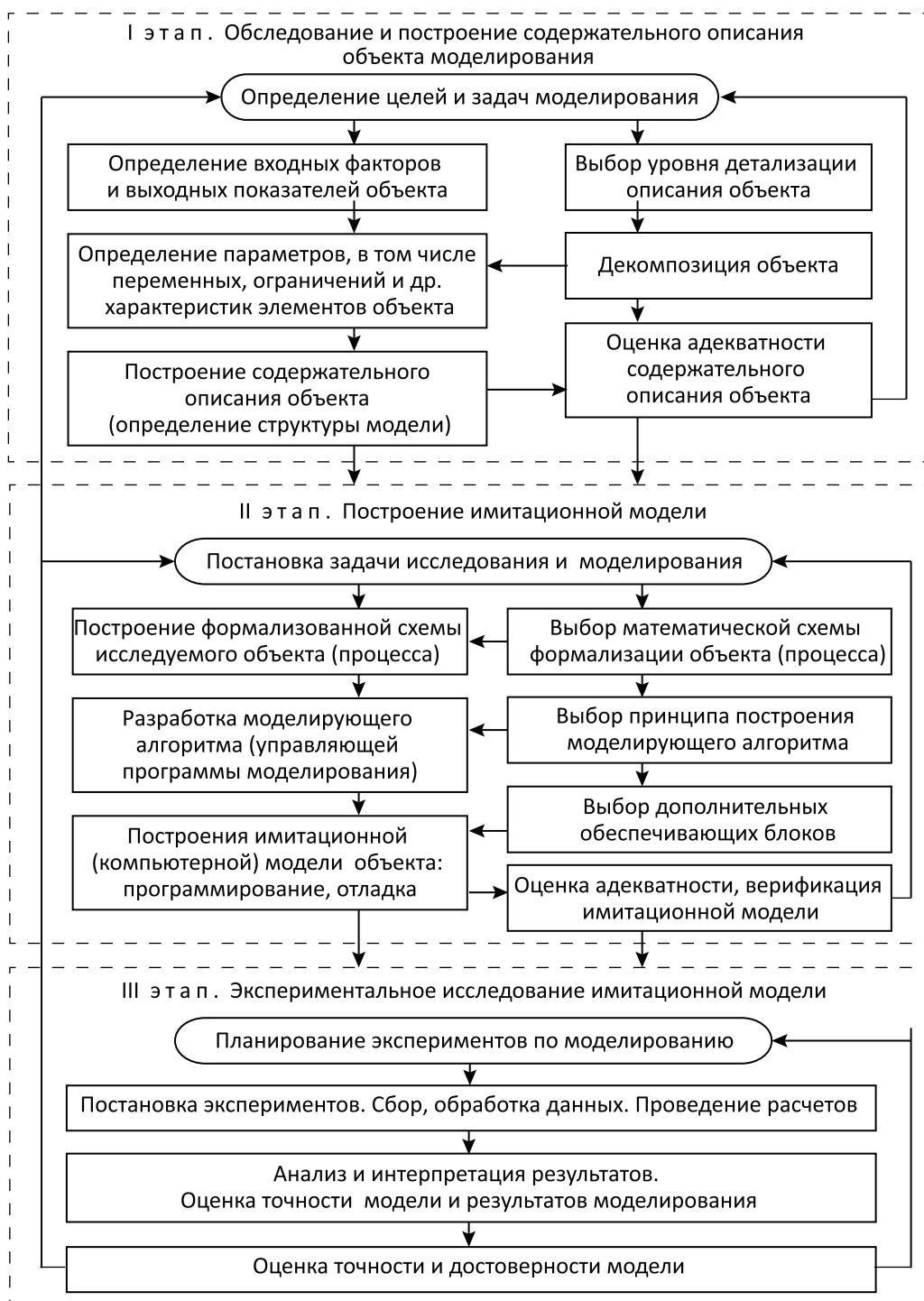
III этап – экспериментальное исследование модели.

Порядок работы на каждом из перечисленных этапов создания и использования имитационных моделей представлен на рис. 2.3.

Рассмотрим технологические особенности этапов имитационного моделирования.

I этап. Обследование и построение содержательного описания объекта моделирования включает:

- определение целей и задач моделирования;



Р и с . 2.3. Этапы имитационного моделирования

- выбор уровня детализации описания объекта и декомпозиция объекта;
- определение входных факторов и выходных показателей объекта;
- определение параметров, в том числе переменных, ограничений и др. характеристик элементов (процессов, операций) объекта;
- построение содержательного описания объекта и определение структуры модели;
- оценка адекватности содержательного описания объекта.

Определение цели исследования объекта и задачи моделирования осуществляется исследователем совместно с заказчиком в результате анализа проблем, возникающих в процессе создания и (или) функционирования объекта (например, системы таможенного контроля).

Цель исследования объекта определяет цель построения имитационной модели, а следовательно, и задачи моделирования. Такими задачами могут быть:

- выявление функциональных соотношений между входными факторами и выходными параметрами (показателями) системы;
- анализ чувствительности модели, т. е. определение реакции выходных параметров (показателей) на входные воздействия (факторы);
- оценка поведения системы в конкретных условиях (внешних и внутренних) деятельности системы;
- определение параметров и показателей качества функционирования системы;
- сравнительный анализ и выбор альтернативных вариантов создания и (или) функционирования системы;
- оптимизация параметров и показателей системы.

Для конкретных целей и задач моделирования осуществляется выбор уровня детализации описания объекта и декомпозиция объекта, определение входных факторов и выходных показателей объекта, определение параметров, в том числе переменных, ограничений и др. характеристик элементов (процессов, операций) объекта.

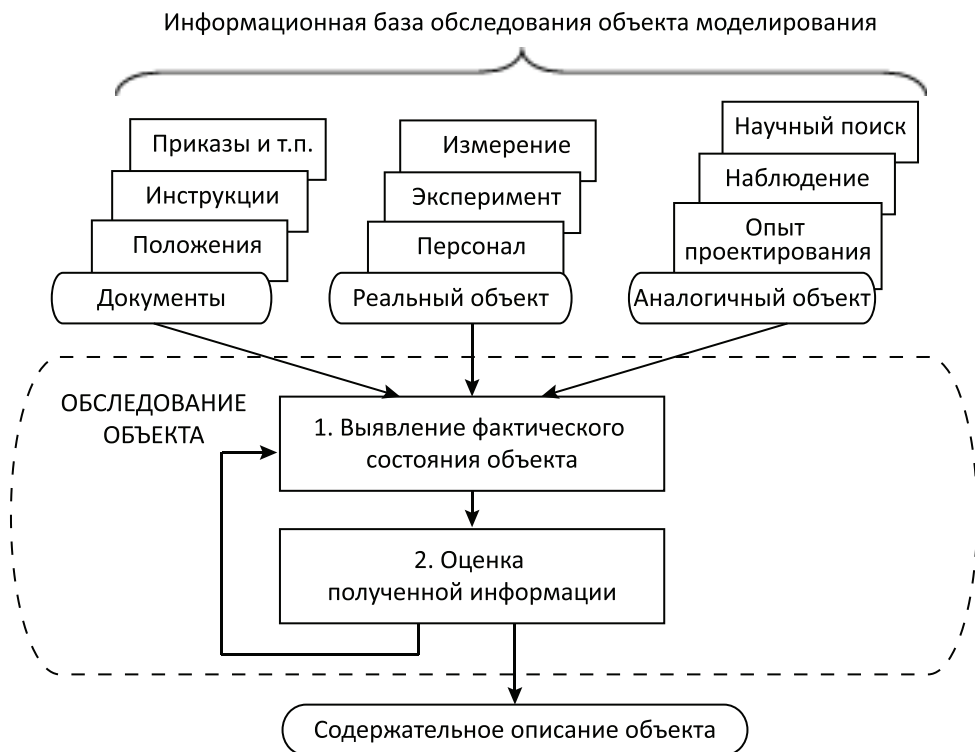
Эти работы осуществляются на базе изучения реального состояния исследуемого объекта путем его обследования.

Основная работа по обследованию объекта состоит из последовательно чередующихся работ по выявлению фактического состояния объекта и оценке полученной информации (рис. 2.4).

Выявление фактического состояния объекта связано со сбором информации по определению границ исследуемого объекта и его внешней среды, целевого назначения объекта и его элементов, состояния исследуемой проблемы. При этом источниками получения информации являются:

- документы – положения, должностные инструкции, приказы и т. д.;
- персонал (административно-управленческий, специалисты таможенных органов, непосредственно участвующие в процессе таможенного контроля), с помощью которого устанавливаются и уточняются организационно-функциональная

структура объекта (процесса таможенного контроля) путем бесед, анкетирования и т. п.;



Р и с . 2.4. Обследование объекта: информационная база и результат

– непосредственное наблюдение за процессом функционирования объекта, измерение его количественных характеристик (хронометраж таможенных операций таможенного контроля);

– аналогичные объекты и научно-техническая литература по исследуемой проблеме (для вновь проектируемых объектов). При этом проводится анализ опыта проектирования и процессов функционирования аналогичных объектов, поиск и сбор научных данных и др.

Изучение процессов функционирования объекта позволяет определить перечень элементарных операций, происходящих в исследуемом объекте, перечни функций как объекта в целом, так и каждого отдельного процесса и элементарных операций.

Изучение элементов объекта и их окружения предполагает уточнение назначения каждого элемента, функции, которые он выполняет в процессе работы всей системы, конкретизацию его входов и выходов, определение промежуточных параметров и переменных состояния объекта.

Оценка полученной информации связана с осмыслением совокупности факторов с целью формирования содержательного описания объекта моделирования и определения структуры имитационной модели. Именно в результате анализа и оценки информации определяются релевантные (наиболее значимые с точки зрения поставленной цели исследования) входные факторы и выходные показатели объекта, параметры и ограничения объекта и его элементов (процессов, операций), вид факторов и параметров (детерминированные, стохастические, неопределенные) и их характеристики.

Результаты обследования объекта оформляются в виде содержательного описания объекта и могут быть представлены как в неформальном (словесном описании), так и в формальном виде (блок-схемы, алгоритмы, таблицы, диаграммы, графы, временные графики и др.).

Содержательное описание объекта дает картину функционирования объекта в целом и его отдельных элементов при различных условиях воздействия внешней среды и содержит исходную информацию для определения структуры модели, т. е. для дальнейшей математической формализации объекта – построения формализованной схемы объекта.

Определить *структуру имитационной модели* – это значит необходимо определить состав функций и процессов объекта (определить компоненты K_i), перечень элементарных операций $ЭО_{ij}$ объекта и характер их взаимодействия, вид аппроксимации этих операций $ЭО_{ij*}$ в модели, перечень факторов внешней среды и характер их влияния на работу объекта (системы таможенного контроля). При этом следует отметить следующее важное обстоятельство: для каждой из элементарных операций модели необходимо согласование всего множества входов и выходов. При таком согласовании должны соблюдаться обязательные правила:

- выход любого элемента должен быть либо входом другого элемента, либо выходом объекта;
- вход любого элемента должен быть либо выходом другого элемента, либо входом элемента внешней среды;
- каждый вход модели должен являться входом какого-либо элемента модели внутренней структуры;
- каждый выход модели должен являться выходом какого-либо элемента модели внутренней структуры.

Прежде чем переходить к этапу математической формализации объекта, т. е. к построению имитационной модели, необходимо проверить адекватность содержательного описания объекта по отношению к реальному состоянию объекта и ее основных принципов, так как значительно легче вносить изменения на начальных этапах построения модели, чем изменить замысел моделирования на этапе реализации модели. Решить вопрос об адекватности содержательного описания объекта — значит согласиться с основными предпосылками и логикой, которые будут заложены в модель.

Проверка адекватности содержательного описания объекта является достаточно сложной задачей, так как оценка принципов, положенных в основу модели, является субъективной. Оценка адекватности осуществляется путем идентификации и сравнения основных положений относительно целей объекта, статических и динамических характеристик объекта. Одним из распространенных методов проверки адекватности содержательного описания объекта является рассмотрение его специалистами, не участвовавшими в разработке (независимая экспертиза), так как они могут более объективно рассмотреть задачу и заметить слабые стороны. Окончательное решение об адекватности содержательного описания объекта принимается заказчиком, который при одобрении такой концепции принимает тем самым все положенные в основу содержательного описания объекта допущения.

Основными ошибками при формировании содержательного описания объекта могут быть:

- неправильный выбор критериев или ограничений;
- введение в содержательное описание объекта несущественных факторов или отсутствие в нем ряда существенных факторов;
- неучтение ряда условий функционирования объекта (например, отказы технических средств как негативные факторы, влияющие на результат функционирования объекта);
- неправильный выбор гипотез, положенных в основу структуры модели (например, по составу элементов объекта, связей между ними в процессе функционирования и т. д.).

Все эти вопросы являются определяющими при выборе способа формализации объекта – построении формализованной схемы имитационной модели.

II этап. Построение имитационной модели включает:

- постановку задачи исследования и моделирования;
- выбор способа формализации объекта и построение формализованной схемы имитационной модели;
- выбор принципа построения моделирующего алгоритма и разработку моделирующего алгоритма (управляющей программы моделирования);
- выбор дополнительных обеспечивающих блоков;
- построение имитационной (компьютерной) модели объекта: программирование, отладку;
- оценку адекватности, верификацию имитационной модели.

Правильная *постановка задачи исследования и моделирования* объекта во многом определяет качество решения прикладной задачи методом моделирования. В основу методологии решения прикладных задач исследования и моделирования сложных объектов положены следующие признаки:

- вид и характер факторов, включенных в модель;
- количество критериев, используемых для оценки вариантов решения.

Систематизация факторов по их роли в модели и определяющих методы исследования моделей приведена на рис. 2.5.

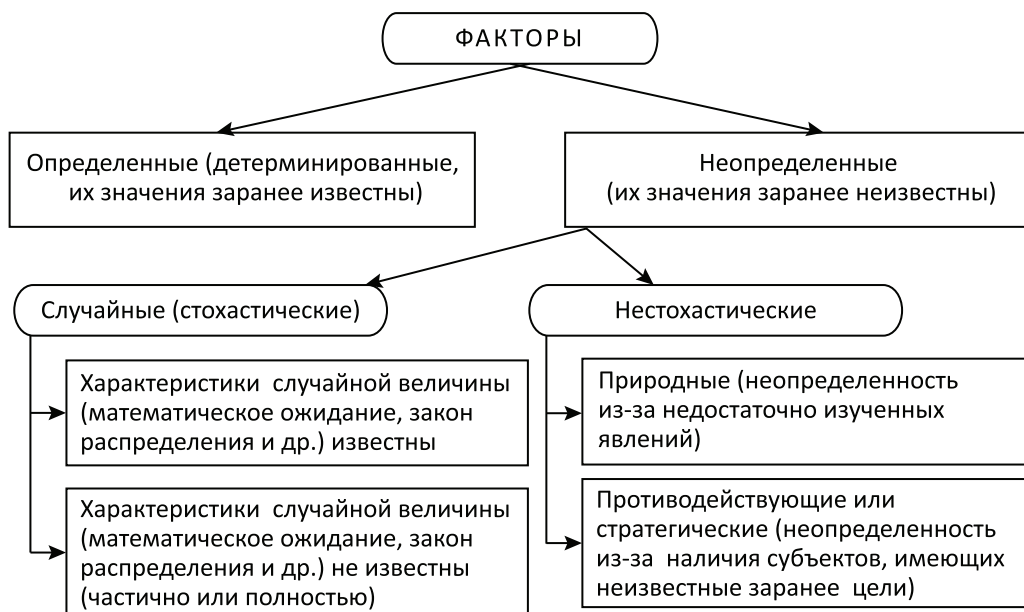


Рис. 2.5. Систематизация факторов, определяющих методы исследования моделей

В зависимости от характера факторов выделяют:

- задачи, решение которых осуществляется в условиях определенности (имеются только детерминированные факторы) – *детерминированные задачи*;
- задачи, решение которых осуществляется в условиях случайных факторов – *стохастические задачи*. Если имеются только случайные факторы с известными характеристиками этих факторов, то задача классифицируется как задача, решение которой осуществляется в условиях риска;
- задачи, решение которых осуществляется в условиях неопределенных факторов и противодействия – *задачи стратегической неопределенности* (наличие активно действующих противников, преследующих собственные заранее неизвестные цели).

В зависимости от количества критериев выделяют: однокритериальные и многокритериальные задачи выбора решений.

Постановка детерминированных задач исследования и моделирования. Пусть известны все параметры (факторы), от которых зависят результаты функционирования моделируемого объекта (процессов таможенного контроля):

a – параметры-ограничения, налагаемые на элементы решения (неуправляемые, постоянные параметры);

x – управляемые параметры, неизвестные элементы решения.

Результативный показатель (критерий, целевая функция) зависит от обеих групп параметров, т. е. $W = w(a, x)$.

Здесь x и a в общем случае могут быть числа, совокупности чисел (векторы), функции и т. д.

Необходимо построить и исследовать имитационную модель с целью:

а) определить результирующий показатель (показатели) $W = w(a, x)$ для заданных условий функционирования объекта. Это типичная математическая задача расчета показателей функционирования объекта;

б) определить неизвестные параметры $x = x^*$ (x – элементы решения), при которых показатель эффективности W обращается в максимум (или минимум), т. е.

$$W^* = \max_{x \in X} \{w(a, x)\}.$$

Выражение читается следующим образом: W^* есть максимальное значение $w(a, x)$, взятое по всем решениям, входящим в множество возможных решений. Это типичная математическая задача оптимизации, т. е. задача нахождения максимума функции или функционала (если решение x включает не только числа, но и функции, то величина $w(a, x)$ является функционалом).

«Детерминированный» является самым простым случаем в моделировании, когда все условия в модели полностью известны заранее.

Постановка задач исследования и моделирования в условиях неопределенности. Пусть, помимо детерминированных параметров (факторов) a и переменных x , на результат функционирования моделируемого объекта (процессов таможенного контроля) влияют неизвестные параметры (факторы) g .

Результирующий показатель W зависит от всех трех групп факторов: $W = w(a, x, g)$.

Необходимо построить и исследовать имитационную модель с целью:

а) определить результирующие показатели функционирования объекта $W = w(a, x, g)$ при заданных условиях a и x с учетом неизвестных факторов g (задача расчета показателей функционирования объекта с учетом вариантов неизвестных параметров g);

б) определить такое решение (элементы решения $x = x^*$) при заданных условиях a и x с учетом неизвестных факторов g , которое, по возможности, обеспечивает, например, максимальное значение показателя W :

$$W^* = \max_{x \in X} \{w(a, x, g)\}.$$

Это уже другая, не чисто математическая задача (см. оговорку «по возможности»). Наличие неизвестных неопределенных факторов g переводит задачу моделирования в новое качество: она превращает типичную математическую задачу оптимизации в задачу оптимизации в условиях неопределенности.

В соответствии с классификацией факторов (см. рис. 2.5) здесь рассматриваются случаи:

- 1) задача моделирования в условиях риска;
- 2) задача моделирования в условиях неопределенности (имеются случайные факторы, но распределение их неизвестно или неизученные явления);

3) задача моделирования в условиях противодействия и конфликта.

Задачи моделирования в условиях риска. Чтобы классифицировать задачу моделирования с неопределенными факторами как *задачу моделирования в условиях риска*, необходимо, чтобы все случайные факторы g были статистически определены. Это значит, что для k -го случайного фактора g_k должны быть известны вероятностные характеристики – закон распределения $P(g)$, математическое ожидание $M[g]$, дисперсия $\sigma[g]$ и т. п. При этом показатель W , зависящий от факторов g , тоже будет случайной величиной. Такие задачи называют стохастическими задачами, а присущую им неопределенность – стохастической неопределенностью.

Например, стохастическими задачами моделирования процессов таможенного контроля являются:

1) задача совершенствования технологии таможенного контроля с целью повышения пропускной способности таможни (таможенного поста). При этом в точности неизвестно, какое количество участников ВЭД (физических лиц) придет на таможню за рабочий день, когда именно они будут появляться, какие вопросы решать и сколько будет продолжаться обслуживание каждого из них. Это все случайные факторы. Однако характеристики этих случайных величин, если их нет, могут быть получены статистическим путем (например, в процессе обследования таможни или таможенного поста);

2) задача организации работы информационно-технических средств таможенного контроля с целью уменьшения (исключения) времени простоя техники за счет неисправностей и ремонтов. Отказы техники, длительность ремонта и профилактики носят случайный характер. Характеристики всех случайных факторов, входящих в задачу, могут быть получены путем сбора соответствующей статистической информации.

Задачи моделирования в условиях неопределенности. Когда имеются случайные факторы, их распределение неизвестно ввиду неизученности явлений (включая различные природные неопределенные явления). Результат W зависит не только от выбранной стратегии (параметров X), но и от значения неопределенного фактора z , т. е. $W = w(a, x, z)$.

Для таких задач диапазон возможных значений неопределенного фактора Z (область распределения фактора Z), как правило, либо известен исследователю, либо им предполагается.

Тогда можно сказать, что в однокритериальной задаче результат W определяется на множестве $X \times Z$. И если множества X и Z конечны, то значения критерия (целевой функции) W можно определить заранее и сформировать так называемые «платежные матрицы».

Здесь элементами платежной матрицы являются значения целевой функции, определяемые выражением:

$$W = w(a, X_m, Z_p),$$

где X_m – m -й набор значений переменных, т. е. m -я стратегия исследователя ($m = \overline{1, M}$);
 Z_p – p -й набор значений неопределенных факторов, т. е. p -я стратегия противника
($p = \overline{1, P}$).

На практике решение подобных задач осуществляется методом статистического моделирования. Моделирование заключается в многократном расчете по модели значений целевой функции для всех сочетаний стратегий исследователя и противника, т. е. заполнение «платежной матрицы». При этом исследователь заранее определяет наборы значений управляемых переменных и неопределенных факторов. При вычислении значений целевой функции любой набор значений неопределенных факторов всегда представляет собой набор детерминированных констант.

Задача моделирования в условиях противодействия и конфликта. Конфликтная ситуация характеризуется наличием нескольких участников, интересы которых не совпадают, а исход операции зависит от того, какие стратегии выберут участники конфликта. Примерами конфликтов являются конкуренция в экономике, соперничество в политике, ситуации, складывающиеся в ходе боя, столкновения людей в повседневной деятельности.

Для анализа конфликтных ситуаций и принятия решения в условиях неопределенности, создаваемой активными противодействующими усилиями нескольких участников операций, существует специальный математический аппарат – теория игр. Задача теории игр – выработка рекомендаций по выбору рационального образа действий участников многократно повторяющегося конфликта.

Задачи моделирования в условиях многокритериальности. Эффективность функционирования сложных системных объектов количественно оценивается, как правило, несколькими показателями. При этом очевидно, что оптимальное значение одного или даже нескольких показателей не означает, что данное состояние объекта наилучшее.

В этих условиях возникает задача нахождения такого варианта (например, варианта технологии таможенного контроля), в котором значения всех рассматриваемых показателей были бы пусть и не оптимальными, но в определенном смысле наилучшими по выполнению всех показателей одновременно. Такие задачи называются многокритериальными. Они имеют различное происхождение, а именно:

- задачи, возникающие при множестве целей. Имеется множество разнородных целей, каждая из которых должна быть учтена при выборе оптимального решения;

- задачи, возникающие при множестве объектов. Рассматривается совокупность объектов, качество функционирования каждого из которых оценивается самостоятельным критерием; качество функционирования совокупности объектов оценивается векторным критерием, составленным из частных критериев, характеризующих каждый объект;

– задачи, возникающие при множестве условий функционирования объекта. При этом задан спектр условий, в которых предстоит работать объекту, и применительно к каждому условию качество функционирования оценивается некоторым частным критерием;

– задачи, возникающие при множестве этапов функционирования. При этом рассматривается функционирование объекта на некотором интервале времени, разбитом на несколько этапов; качество управления на каждом этапе оценивается частным критерием, а на множестве этапов — общим векторным критерием.

Наиболее общая *постановка многокритериальных задач* выбора решений представляется следующим образом.

$$W_p = w_p(a, x, g, z) \rightarrow \text{extr}, p = \overline{1, P};$$

$$F_i(x, g, z, b) \{\leq, \geq, =\}, 0, i = \overline{1, m}.$$

Здесь a, b – постоянные, x – переменные, g – случайные и z – неопределенные параметры (факторы) объекта.

Задачи, в которых все критерии желательно максимизировать, называются многокритериальными задачами *максимизации*. В многокритериальных задачах *минимизации* каждый из критериев желательно минимизировать.

После четкой формулировки (постановки) задачи моделирования осуществляется формализация исследуемого объекта.

Способы формализации содержательного описания объекта в виде формализованной схемы имитационной модели рассматривались выше.

Было показано, что способы имитации и организации квазипараллельных процессов в имитационной модели (способы построения моделирующего алгоритма), как правило, ориентированы на конкретные математические схемы представления элементов исследуемого объекта (способы формализации содержательного описания объекта).

Разработка моделирующего алгоритма осуществляется путем реализации одного из принципов организации: квазипараллельного принципа Δt , принципа «особых состояний», позаявочного подхода.

Формирование имитационной модели должно сопровождаться оценкой ее адекватности содержательному описанию исследуемого объекта и соответствия постановке задачи моделирования.

В процессе оценки адекватности имитационной модели устанавливается следующее: позволяет ли модель решать поставленные задачи моделирования, насколько полна предложенная формализованная схема модели и отражает ли она фактическую последовательность развития процессов в реальной системе.

Кроме того, необходимо провести анализ каждой функции и (или) процесса в соответствии с содержательным описанием объекта и убедиться, что она нашла

свое отражение в формализованной схеме исследуемого объекта (системы, процесса).

При необходимости следует провести вычисления в нескольких контрольных точках с целью определения приемлемости результатов. Дополнительно требуется провести анализ размерностей и масштабов переменных и параметров модели. Если обнаружены ошибки во взаимодействии компонент модели, то необходима корректировка модели на этапе ее построения.

Возможно, что в ходе формализации слишком упрощены процессы и операции, исключен из рассмотрения ряд важных функций исследуемого объекта, что приводит к неадекватности отображения в модели реального состояния дел. В этом случае нужна корректировка модели на этапе формализации объекта (построения формализованной схемы).

Если способ формализации оказался неудачным, необходимо повторить этап составления содержательного описания объекта и выбор структуры имитационной модели.

Наконец, если обнаружился недостаток информации об объекте, то необходимо возвратиться к этапу обследования и составления содержательного описания объекта.

После того, как составлена имитационная модель объекта, получено заключение относительно ее адекватности, осуществляется *программная реализация модели* с использованием соответствующих средств (языков) моделирования, а затем автономная и комплексная отладка программы модели.

В процессе испытания имитационной модели (пробные прогоны модели) проводится верификация модели, т. е. оценка правильности реализации алгоритма функционирования объекта моделирования в ходе его имитации в модели. Исследование свойств имитационной модели предполагает оценку точности имитации явлений, устойчивости результатов моделирования и чувствительности показателей к изменению параметров модели.

III этап. Экспериментальное исследование имитационной модели включает:

- планирование экспериментов по моделированию;
- постановка экспериментов, сбор, обработка и выдача статистических данных – результатов моделирования, проведение расчетов и оптимизации (при необходимости);
- анализ и интерпретация результатов;
- оценка точности результатов моделирования;
- оценка точности и достоверности модели в целом.

Планирование экспериментов является характерной работой для имитационного моделирования. Эта деятельность осуществляется с целью целенаправленного и эффективного получения требуемых результатов моделирования. Основными вопросами планирования имитационных экспериментов являются вопросы определения условий эксперимента, а именно:

- выбор начального состояния моделируемого объекта;

- выбор момента начала сбора статистических данных;
- определение продолжительности эксперимента;
- определение режимов работы модели и выдачи результатов моделирования.

Кроме того, необходимо определить способ проведения имитационного эксперимента, а именно, определить число вариантов моделирования, количество и последовательность варьируемых переменных модели и др.

Следует отметить, что перечень мероприятий проведения имитационного эксперимента, в первую очередь, определяется целями исследования и поставленной задачей моделирования.

В ходе проведения имитационных экспериментов на модели (прогонов или реализации модели) в соответствии с планом эксперимента осуществляется *сбор, обработка и выдача статистических данных* – результатов моделирования. При необходимости в ходе эксперимента или по его окончании осуществляются соответствующие расчеты или оптимизационные процедуры выбора наилучших (рациональных) решений с точки зрения поставленной цели исследования. В рамках модели могут быть разработаны соответствующие блоки оптимизации, обеспечивающие автоматизированное решение задач выбора оптимальных решений.

Анализ и интерпретация результатов моделирования завершает технологическую цепочку этапов создания и использования имитационных моделей. В результате анализа формулируются выводы относительно поведения модели, ее параметров, выдвигаются гипотезы и предложения относительно оптимизируемых параметров модели.

Если в ходе интерпретации обнаружались ошибки либо при создании модели, либо при формализации объекта моделирования, то осуществляется возврат на этапы соответственно построения содержательного описания объекта и его формализации, т. е. на этап построения имитационной модели (построения формализованной схемы).

Результатом этапа интерпретации результатов моделирования являются в соответствии с поставленной задачей исследования и моделирования либо расчетные значения параметров и показателей функционирования объекта, либо рациональные предложения по выбору решений относительно исследуемой проблемы (задачи).

Рядом с интерпретацией и обоснованием результатов моделирования всегда стоят вопросы точности полученных результатов моделирования, *точности и достоверности модели* в целом. Следует отметить, что проблема оценки точности математических моделей в методологическом плане еще до конца не решена, разработаны лишь подходы к ее решению, на основе которых можно оценить погрешности результатов конкретной модели. При этом, как правило, рассматриваются следующие виды погрешностей компьютерной имитационной модели:

- погрешности моделирования, возникающие из-за неточного задания исходных данных (или незнания их природы);

- погрешности моделирования, возникающие в результате упрощения исходной математической модели;
- погрешности расчета выходных характеристик из-за дискретной реализации математической имитационной модели в виде компьютерной модели;
- погрешности моделирования, обусловленные ограниченностью выборки статистических данных или ограниченным числом случайных испытаний модели на компьютере.

Таким образом, в результате итерационного процесса построения содержательного описания объекта и имитационной модели, ее исследования, корректировки и оптимизации параметров получаем решение поставленной задачи моделирования.

Стоит отметить, что задача выбора решений методом имитационного моделирования основывается на последовательном сжатии множества рассматриваемых вариантов путем отбраковки неконкурентоспособных или неосуществимых альтернатив. Этот процесс начинается уже при формулировке вариантов моделирования и продолжается в процессе построения и исследования моделей. На тех же принципах основывается и окончательный выбор решения. В имитационных моделях методы отбрасывания неэффективных вариантов базируются как на математических формализуемых процедурах, так и на эвристических (неформальных) методах.

Рассмотренная технология имитационного моделирования является общей и может уточняться и дополняться в зависимости от постановки задачи и целей моделирования.

2.2.2. ПРИНЦИПЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Следует отметить, что получить математическую имитационную модель как инструмента исследования сложных объектов желаемого качества можно при соблюдении определенных правил в процессе ее создания и исследования. При разработке и исследовании имитационных моделей должны соблюдаться *следующие принципы (правила)*.

1. *Принцип компромисса между ожидаемой точностью результатов моделирования и сложностью имитационной модели.* Возможность усложнения модели ограничивается ее стоимостью и временем создания. Точность определяется требованиями исследования (уровень риска при использовании результатов моделирования) и располагаемыми ресурсами. В процессе создания имитационной модели надо искать разумный компромисс с использованием критерия «точность модели / затраты на создание модели».

2. *Баланс точности,* который выражается в следующем: соразмерность систематической погрешности моделирования и случайной погрешности в задании исходных параметров модели (исходная неопределенность). Это правило устанавливает:

- соответствие между точностью исходных данных и точностью модели;
- соответствие точности отдельных элементов модели (точность модели в целом определяется точностью наименее точного элемента модели);
- соответствие систематической погрешности модели и случайной погрешности при интерпретации и усреднении результатов моделирования.

Из принципа баланса точности следует существующее в практике имитационного моделирования правило, которое отражает тот факт, что при сравнении вариантов системы в процессе исследования целесообразно осуществлять параллельное моделирование конкурирующих вариантов исследуемого объекта с последующей оценкой разности или отношения соответствующих показателей. Такие оценки, как правило, рассматриваются в качестве доказательной базы правильности построения и функционирования модели. Однако для реализации указанного выше правила в исследовании должна существовать достаточно гибкая система моделей (система элементов модели), которая позволяла бы реализовать множество вариантов моделирования для поиска компромисса.

3. *Разнообразие элементов и унификация их представления в модели.* Они должны быть достаточные для проведения конкретных исследований. Это правило позволяет реализовать требование универсальности моделей и их многократного применения.

4. *Наглядность модели для исследователя, для пользователей (заказчиков) модели и потребителей результатов моделирования.* Следуя этому правилу можно утверждать, что модель, построенная на общепринятых терминах, использующая удобные изобразительные средства, как правило, вызывает доверие у пользователей и обеспечивает достижение более значительных результатов, чем менее удобная и наглядная.

5. *Блочное представление имитационной модели,* которое связывается с декомпозицией системы. На практике реализация этого принципа сводится к следующим этапам перехода от полного описания к упрощенной модели. На первом этапе определяется группа тесно связанных элементов наиболее полной модели, которые можно было бы описать аналитически или моделировать автономно. Отдельные группы элементов представляются в виде блоков. На втором этапе определяется, насколько существенное или несущественное значение имеет тот или иной блок для решения данной исследуемой проблемы. В соответствии с ответом на этот вопрос блок можно исключить из рассмотрения, заменив его связью или упрощенным блоком, либо оставить, если он существенен. При реализации блочного представления следует соблюдать следующие правила:

- обмен информацией между блоками должен быть минимальным;
- несущественным, подлежащим удалению считается блок модели, мало влияющий на результат моделирования. Не исключено, что в последующем этот блок может быть включен в процесс моделирования. Для таких случаев в полной модели необходимо всегда предусматривать дополнительные возможности;

– в общем случае блок модели может иметь несколько упрощенных эквивалентов и моделирование может производиться в нескольких вариантах по каждому упрощенному эквиваленту.

Блочное представление модели позволяет выделять для решения частных задач отдельные части исследуемой системы, которые функционируют на различных этапах и (или) в различных режимах работы. При таком моделировании процесс «рассекается» во времени. Здесь важно отметить, что одна модель обеспечивает входными воздействиями последующие. При выделении блоков по принципу различных режимов работы рассматриваются частные модели, отражающие работу системы при различных возмущающих и управляющих воздействиях.

6. *Специализация моделей.* Этот принцип подтверждает целесообразность использования относительно простых (малых), условных подмоделей (частных моделей), предназначенных для анализа функционирования системы в узком диапазоне условий. Это дает возможность неформального суждения о системе в целом по совокупности частных показателей, полученных на условных подмоделях. Последовательное объединение подмоделей в блоке создает модель, удобную для программной реализации и экспериментов. Упрощение должно ограничиваться максимально допустимой величиной различия между содержательным описанием объекта и моделью, определенной с точки зрения интерпретации результатов моделирования. Такое различие должно быть несущественным и лежать в некотором поле допуска. Это поле допуска определяется статистическими разбросами результатов, порождаемых погрешностями в параметрах модели, погрешностями в исходных данных.

Проверка соответствия частной и полной модели может осуществляться по сходимости результатов, полученных на моделях возрастающей сложности. При этом правила здесь следующие. Сначала максимально упрощается модель, потом осуществляется ее последовательное усложнение в пределах допустимых ограничений. Эти усложнения сопровождаются экспериментальными исследованиями и проверкой адекватности моделей на каждом из этапов. Различие двух последующих моделей признается несущественным, если оно лежит в поле допуска, определенном погрешностями исходных данных. Для пересчета этих погрешностей допуска на каждом шаге необходимо проводить многократную оценку влияния погрешностей параметров на показатель оценки результатов моделирования. Заметим, что чем сложнее модель, тем сложнее и сама оценка.

Расчет допусков производится по наиболее простой модели, которая, как правило, включает неточные параметры описания. Это правило определяет компромисс между точностью определения допусков и вычислительными сложностями (сложностью расчетных методов).

В практике моделирования рекомендуется разрабатывать модель таким образом, чтобы обеспечить робастность (устойчивость) результатов моделирования к неточности и ошибкам (погрешностям) исходных данных. В процессе создания

модели представляется целесообразным предусмотреть возможность выполнения самой процедуры проверки ее робастности.

Следует отметить, что модель и правила формирования свойств модели должны рассматриваться в их взаимной связи. Учет указанных выше технологических принципов (правил) создания моделей позволит получить имитационную модель требуемого качества. Прежде чем использовать такую модель в науке и практике таможенного контроля, необходимо проверить, отвечает ли она предъявленным требованиям.

2.3. ТРЕБОВАНИЯ К ИМИТАЦИОННЫМ МОДЕЛЯМ

К имитационным моделям, как и к любому инструменту, используемому в технологическом процессе, предъявляются определенные требования. К математическим имитационным моделям как инструменту исследования процессов таможенного контроля предъявляются следующие требования.

1. Модель должна удовлетворять требованиям полноты, адекватности, обеспечивать возможность включения и варьирования достаточно широким спектром параметров и изменений. Это необходимо для получения моделей, удовлетворяющих требованиям точности воспроизведения исследуемого объекта. Полнота модели должна рассматриваться с ряда точек зрения. Прежде всего, функциональная полнота: модель должна воспроизводить те функции, которые присущи исследуемому объекту. Кроме того, модель должна быть достаточно полной для обеспечения рассмотрения значительно большего числа вариантов и требуемой точности результатов моделирования и в целом результатов исследования.

2. Модель должна быть достаточно абстрактной, чтобы допускать варьирование большим числом переменных. При этом в стремлении к абстрактности важно, чтобы не был утерян физический смысл исследуемого объекта и возможность оценки полученных результатов.

3. Модель должна удовлетворять требованиям и условиям, ограничивающим время решения задачи. При исследовании в реальном масштабе времени допустимое время решения определяется ритмом функционирования объекта (реализации операций таможенного контроля). Для достижения опережения или синхронности с процессами внутри объекта должна быть решена упреждающая задача создания средств моделирования, учитывающих специфику исследуемого объекта (процессов таможенного контроля) и обеспечивающих автоматизированное построение и исследование моделей. Это очень важно с точки зрения экономики временных и трудовых ресурсов.

4. Модель должна быть реализуема. Она должна ориентироваться на реализацию с помощью существующих компьютерных средств и современных

информационных технологий, т. е. должна быть физически осуществима на данном уровне развития теории, техники и технологии с учетом условий и ограничений конкретной организации – заказчика модели (или в целом системы моделирования) и потребителя результатов моделирования.

5. Модель должна обеспечивать получение полезной информации об объекте в плане поставленной задачи исследования. В связи с тем, что в большинстве случаев математические модели строятся с целью оптимизации параметров и моделируемых процессов, это требование следует понимать как требование оптимизации модели. Информация, полученная с помощью модели, должна обеспечивать диагностику проблемной ситуации, расчет значений параметров и показателей деятельности таможенных органов, позволять определять пути достижения их экстремальных значений.

6. Модель по возможности должна строиться с использованием общепринятой терминологии.

7. Модель должна предусматривать возможность проверки истинности соответствия ее оригиналу, т. е. обеспечивать проверку адекватности или верификацию.

8. Модель должна обладать свойством робастности, т. е. устойчивости по отношению к погрешностям и ошибкам в исходных данных. В противном случае корректное использование результатов моделирования возможно при относительно небольших изменениях исходных данных. Это требование особенно важно при принятии решений в условиях относительно низкой точности исходных данных, а именно, высокой степени неопределенности проблемных ситуаций внутри объекта, неопределенности условий развития внешней среды, условий прогнозирования параметров системы таможенного контроля.

Следует отметить, что в качестве неперенных требований к имитационным моделям, как правило, выступают требования обеспечения заданных достоверности, точности результатов при минимальных затратах на их разработку. Эти требования могут быть реализованы путем создания специализированной программной среды и информационной технологии имитационного моделирования.

2.4. СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Технология имитационного моделирования предполагает этапы программирования, отладки и эксплуатации компьютерной модели. Для проведения указанных работ в арсенале современных программных средств существуют средства, специально приспособленные к написанию программ моделирования. Это специализированные языки моделирования, в основе которых лежит специальная система понятий, обеспечивающая более высокий уровень формального описания

объекта, т. е. написание программы модели. В принципе модель можно реализовать на любом универсальном алгоритмическом языке. Однако при этом необходим обширный объем знаний в области программирования и значительные временные затраты.

Отличительными признаками специализированных языков моделирования, обеспечившими их широкое применение, являются:

- краткость и точность выражения понятий, характеризующих имитируемые процессы, удобные средства формализации и воспроизведения динамических свойств моделируемого объекта;
- сравнительно небольшое время разработки и отладки программы модели, которое сокращается за счет предварительной разработки стандартных подпрограмм;
- наличие эффективных методов выявления ошибок имитации;
- автоматическое формирование типов данных, соответствующих принятому способу имитации и необходимых в процессе имитационного моделирования;
- наличие удобных средств накопления и представления выходных данных – результатов моделирования;
- возможность имитации стохастических процессов, наличие процедур генерирования и анализа случайных величин и временных рядов.

Языки моделирования различаются: методами организации моделирования, наименованиями и структурой блоков модели, способами проверки операций и условий взаимодействия элементов моделирования, видами статистических испытаний, возможностями по изменению структуры модели. Например, в зависимости от способа формализованного описания реальных объектов и методов организации квазипараллельного процесса в имитационной модели языки моделирования могут быть ориентированы на просмотр активностей и работ (GSP, GSL), на описание выполнения событий (Симскрипт, Симпак), на управление процессами (SOL, SIMULA), на взаимодействие транзактами и агрегатами (GPSS). Каждый из языков моделирования имеет свои преимущества и особенности. Однако их объединяет общее свойство – близость к языку специалистов-аналитиков.

Использование языков моделирования облегчает написание программы модели, обеспечивает более строгое следование выбранной концепции построения модели, помогает четко классифицировать элементы системы, обеспечивает гибкость программы (возможности внесения изменений), позволяет различать элементы одного класса по их характеристикам и свойствам, описывает связи между элементами системы и внешней средой, позволяет корректировать число элементов модели в соответствии с изменениями внутренних параметров модели.

При выборе средств моделирования обычно исследователя интересуют две группы их свойств: изобразительные возможности и удобство работы при использовании программного продукта.

Под изобразительными возможностями языка моделирования, как правило, понимают состав операторов моделирования, наличие доступа к модельным

характеристикам, возможности базового универсального языка программирования для реализации алгоритмов.

Удобство работы с системой моделирования определяется технологией ее использования. Технологичность использования средств моделирования определяется наличием средств автоматизации представления и интерпретации результатов моделирования; возможностями по управлению имитационным экспериментом; расширенным составом средств планирования экспериментов и обработки результатов моделирования; наличие возможности управления процессом сбора статистики в ходе моделирования; наличием средств отладки и диагностики; наличием удобных средств ввода-вывода информации.

Языки моделирования постоянно совершенствуются. Этому способствует желание специалистов-исследователей освободиться от не свойственной им работы программирования модели, тем самым сократить ресурсы (временные и трудовые) на разработку имитационной модели.

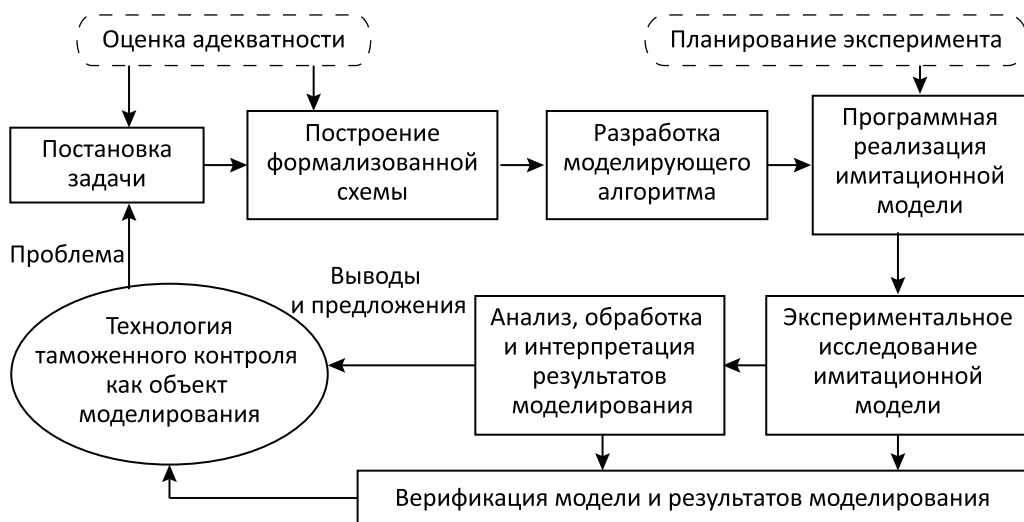
Одним из современных направлений создания специализированных языков моделирования является создание объектно-ориентированных систем моделирования, способных настраиваться на любой объект моделирования из заданного класса. Это сложные программные комплексы, в которые, помимо собственно программ имитации, входят программы автоматического преобразования элементов реальной системы и схем их сопряжения к стандартной форме, а также ряд вспомогательных обслуживающих программ. За человеком остается лишь неформальная часть действий: постановка задачи и интерпретация результатов моделирования. Все остальные работы (описание объекта моделирования в требуемой форме при помощи заранее определенных математических схем, построение моделирующего алгоритма, его программирование, организация вычислительного процесса на компьютере) автоматизируются и выполняются при помощи специальных, заблаговременно разработанных программ. Примером таких систем моделирования является современная методология моделирования SADT, в частности, пакет Service Model – для имитационного моделирования выполнения бизнес-процессов, пакет IDEF и др.

Наличие таких объектно-ориентированных средств моделирования дает возможность решать задачи анализа и синтеза системных объектов специалистам в конкретной предметной области, не имеющим специальной подготовки по моделированию и программированию.

2.5. ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В НАУКЕ И ПРАКТИКЕ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

Как было показано выше, создание имитационной модели и ее использование для исследования технологий таможенного контроля сводится к следующим работам (рис. 2.6):

- постановка задачи моделирования;
- построение формализованной схемы объекта моделирования;
- разработка моделирующего алгоритма;
- программная реализация имитационной (компьютерной) модели;
- экспериментальное исследование имитационной модели;
- анализ, обработка и интерпретация результатов моделирования;
- оценка точности модели (верификация модели и результатов моделирования).



Р и с . 2.6. Этапы имитационного моделирования технологии таможенного контроля

Постановка задачи – наиболее важный этап моделирования, способный обеспечить правильное решение проблемы (задачи). По содержанию постановка задачи включает: определение объекта исследования и моделирования (по схеме типового описания), формирование целей моделирования, задание параметров объекта и условий управления ими, а также критериев оценки. Важность этого этапа определяется тем, что все последующие этапы моделирования проводятся с ориентацией на определенную цель моделирования. Правильное формулирование цели моделирования может быть осуществлено только в результате анализа метасистемы,

в которую исследуемая система входит в качестве элемента, или, другими словами, в результате анализа взаимодействия системы с внешней средой. От качества постановки задачи во многом зависит адекватность модели реальной системе, поэтому постановку задачи должны осуществлять профессиональные специалисты, хорошо знающие объект и его миссию.

Построение математической имитационной модели, которая соответствует структуре и процессам моделируемой системы. Построение и формализация модели должны полностью соответствовать постановке задачи и условиям наиболее эффективной реализации модели. В зависимости от выбранного типа имитационного моделирования на этом этапе от исследователя требуется подробная проработка тех или иных модельных структур: наблюдаемых и управляемых показателей, взаимосвязей между ними, процессов, имеющих место в системе, а также формализация (математическая и графическая) выделенных взаимосвязей и закономерностей изменения состояний объектов системы. Основная проблема при математической формализации модели (создании математической модели) заключается в нахождении компромисса между простотой модели и ее адекватностью исследуемой системе. Осуществление данного этапа предполагает достаточно хорошее знание математических методов и осуществляется, как правило, математиками. Однако этап может быть исполнен и профессиональными специалистами (экономистами, специалистами таможенного дела), умеющими уверенно использовать современный математический аппарат.

Разработка моделирующего алгоритма и метода исследования модели осуществляется в случае невозможности решения задачи (модели) с помощью имеющихся известных математических методов или алгоритмов. Это чрезвычайно сложный и трудоемкий этап.

Исследование модели предполагает применение математических методов и (или) постановку целевых экспериментов на модели, получение результатов моделирования. Этот этап предполагает заполнение модели *исходными данными*. Такие данные необходимы для дальнейшей имитации случайных процессов модели, вероятностное распределение которых при отсутствии внешних управленческих воздействий определяется на основе исторических данных. Характерным для этого этапа является планирование экспериментов. Эта деятельность осуществляется для целенаправленного и эффективного получения требуемых результатов моделирования.

Программная имитация (компьютерный эксперимент) изменений в системе осуществляется на основе исходных данных, подаваемых на вход значений параметров и математической формализации взаимосвязей объектов или процессов системы.

Анализ статистических данных, собранных в процессе моделирования, и *интерпретация результатов моделирования*. На основе собранных данных делаются выводы о возможных состояниях системы в будущем, об оптимальных изменениях, которые можно внести для улучшения функционирования системы в отношении некоторых критериев. Для получения достоверной статистики, на

основании которой возможно сделать выводы о состоянии системы в настоящем и будущем, как правило, необходимо произвести достаточно большое количество экспериментов (по крайней мере, порядка сотен), поскольку большое число имитаций сглаживает вероятностный характер получаемых результатов. Анализ и интерпретация результатов моделирования представляют собой ответственный этап моделирования. В результате анализа формулируются выводы относительно поведения модели, ее параметров, выдвигаются гипотезы и предложения относительно оптимизируемых параметров модели.

Несмотря на универсальный характер метода имитационного моделирования для исследования сложных процессов и явлений, использование имитационного моделирования ограничивается большой трудоемкостью, связанной, прежде всего, с построением имитационной модели как компьютерной программной среды исследования, как правило, при ограниченных временных и финансовых ресурсах, выделяемых на исследование сложных объектов. Кроме того, для имитационного моделирования необходимо иметь достаточно обширные знания в области теории моделирования, формализации исследуемых процессов, построения уникальных моделирующих алгоритмов и программ, прикладных математических методов исследования моделей, методов представления и интерпретации входной и выходной информации, в том числе и вероятностной.

В настоящее время создаются инструментальные средства моделирования – системы моделирования. Как правило, это сложные и дорогостоящие проблемно-ориентированные программные продукты *общего назначения*. Использование таких систем моделирования для построения и исследования моделей специализированных технологий таможенного контроля недостаточно эффективно, так как множество специфических функций, приемов математической формализации процессов и их свойств практически оказываются недоиспользованными, невостребованными, избыточными, а для моделирования уникальных технологий таможенной деятельности могут оказаться и недостаточными.

Отсутствие инструментальных средств имитационного моделирования и методик решения прикладных задач системного исследования сложных процессов таможенного контроля создает определенные трудности при планировании показателей таможенного контроля, при контроле их выполнения в выработке управляющих воздействий, при прогнозировании развития ситуаций по типу «что будет, если...» и разработке предложений по упреждению негативных последствий развития ситуаций с учетом всех видов рисков.

В этой связи представляется целесообразным создание и применение специальной системы имитационного моделирования, ориентированной на исследование процессов таможенного контроля, а также создание на базе метода имитационного моделирования комплекса методик для решения нижеследующих прикладных задач.

1. *Выявление и анализ «узких мест»* в системе таможенного контроля. При этом может быть исследована одна из основных проблем любого управляемого

процесса – выполнение функций, операций и процедур в рамках сложного процесса таможенного контроля при перемещении товаров и транспортных средств через таможенную границу с учетом влияния различных внешних и внутренних факторов, в том числе случайных, а также с учетом функционирующих совместно совокупностей различных ресурсов (ограничений): кадровых, материально-технических, финансовых, информационных.

2. *Оценка, планирование и прогнозирование результативных показателей* системы таможенного контроля. При этом может быть решена задача выбора оптимальных (рациональных) параметров системы и процессов таможенного контроля в зависимости от требуемых (планируемых) показателей с учетом таможенных рисков, а также рисков ситуаций в работе должностных лиц таможенных органов.

3. *Организация информационно-технического взаимодействия* в процессе решения функциональных задач таможенного контроля, синхронизация работы разнородных элементов таможенного контроля и внешних систем, планирование совместной работы людей, автоматизированных информационно-технических систем, технических средств таможенного контроля с целью сокращения непродуктивных действий, времени, ресурсов таможенных органов, а также улучшения результативности и повышения качества таможенного контроля.

4. *Разработка компьютерных систем-тренажеров*, позволяющих создавать различные учебные ситуации, максимально приближенные к реальной действительности, с целью отработки процессов принятия решений в условиях различного рода рисков и оценки получаемых результатов, обучения специалистов таможенных органов (в том числе и студентов Академии) осуществлять оптимальные практические действия в процессе таможенного контроля.

Следует отметить, что создание специализированной системы имитационного моделирования для автоматизации построения и исследования моделей таможенной деятельности является трудоемким процессом. Но такая система создается один раз и используется всякий раз, когда появляется необходимость исследования процессов функционирования сложного таможенного объекта, процесса, явления и (или) ситуации, а именно, необходимость анализа, оценки и оптимизации параметров и показателей системы таможенного контроля, функционирования информационно-технических средств, обоснования структуры и требуемых ресурсов, определения загрузки рабочих мест, пропускных способностей объекта (например, пунктов пропуска, отдельных трактов обработки информации и т. п.), «узких мест» в системе (технологии) таможенного контроля.

Таким образом, для применения методов имитационного моделирования и решения теоретических и прикладных задач в науке и практике таможенного контроля предлагается создание специализированной системы имитационного моделирования, ориентированной на исследование процессов таможенного контроля и использование ее непрофессиональными в области программирования пользователями. Основные идеи построения и применения такой системы имитационного моделирования рассматриваются ниже.

Глава 3

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

3.1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ, ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ФУНКЦИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Процесс имитационного моделирования заключается в построении имитационной модели и проведении с ней компьютерных экспериментов в соответствии с поставленной целью. Построение имитационной модели и ее исследование являются довольно трудоемкой и сложной задачей [13]. Трудоемким, прежде всего, является процесс построения имитационной модели как компьютерной программной среды исследования. Сложной задачей является формализация исследуемых процессов, организация в модели квазипараллельных процессов и процессов приоритетного обслуживания [14]. Для имитационного моделирования необходимо иметь достаточно обширные знания в теории моделирования и постановки экспериментов, статистики и теории вероятностей, а также методов оценки адекватности, достоверности моделей и точности результатов моделирования. Сложность задачи усиливается еще и тем, что наиболее трудоемкие и сложные работы по моделированию, как правило, приходится выполнять в условиях ограниченных временных и финансовых ресурсов, выделяемых на исследовательские работы [15].

Для облегчения использования методов имитационного моделирования создаются инструментальные средства – системы имитационного моделирования (СИМ). Как правило, это сложные и дорогостоящие проблемно-ориентированные программные продукты общего назначения. Использование таких систем для построения и исследования моделей сложных специализированных объектов, к которым следует отнести и сферу государственного таможенного контроля,

представляется недостаточно эффективным, так как множество функций СИМ общего назначения, приемов математической формализации процессов и их свойств практически оказываются недоиспользованными, невостребованными, избыточными, а для моделирования специфических операций (функций) таможенного контроля могут оказаться и недостаточными.

Специализированная система имитационного моделирования может быть использована: при решении задач системного анализа и управления таможенным контролем; при определении (прогнозировании) параметров и показателей таможенного контроля; при оценке характеристик объектов и субъектов таможенного контроля (времен оформления таможенных документов, длин очередей на оформление, загрузку рабочих мест (времена работы и простоев, в том числе и вынужденных), пропускных способностей таможни, таможенного поста и (или) отдельных трактов обработки информации); при определении «узких» мест в заданной структуре системы таможенного контроля; при выборе оптимальных (рациональных) структуры и параметров таможенного контроля.

Цель создания специализированной системы имитационного моделирования – создание инструментальной среды моделирования, ориентированной на исследование процессов таможенного контроля и обеспечивающей автоматизацию наиболее трудоемких этапов моделирования – построения имитационных моделей и проведения компьютерных экспериментов (исследование модели). СИМ представляет собой комплекс математических, программных и языковых средств, позволяющих автоматизировать процесс построения моделей и постановки компьютерных экспериментов с моделью.

Основными функциями специализированной СИМ являются обеспечение построения имитационных моделей процессов таможенного контроля и их экспериментального исследования в соответствии с поставленными целями.

Учитывая специфические функции таможенного контроля, динамичность и приоритетность в реализации операций таможенного контроля, разнородность объектов контроля и различные дисциплины их обслуживания, а также другие особенности исследования процессов таможенного контроля, основными задачами специализированной СИМ можно назвать:

- моделирование параллельно протекающих процессов таможенного контроля, имитацию при этом процессов приоритетного обслуживания задач (сообщений);
- моделирование процессов таможенного контроля разнородных объектов (документов, товаров, транспортных средств, участников ВЭД и др.);
- моделирование различных вариантов структурной организации процесса таможенного контроля с возможностью полного отображения технологических операций на различном уровне детализации процесса, в том числе с учетом ограниченных ресурсов таможенных органов;
- сбор, обработку и выдачу статистических данных по основным параметрам и показателям моделируемого процесса таможенного контроля.

Наряду с этим специализированная СИМ должна создаваться по модульному принципу с учетом дальнейшего наращивания ее функциональных возможностей. Она должна быть ориентирована на пользователей, не имеющих специальной подготовки в области моделирования и программирования.

Для достижения указанных целей, функций и задач предлагается общая структура специализированной системы имитационного моделирования для исследования процессов таможенного контроля, представленная на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Общая структура специализированной системы имитационного моделирования

Ее основными функциональными элементами являются [15]:

- подсистема формализации процесса таможенного контроля;
- подсистема моделирования (моделирующий алгоритм);
- подсистема генерации входных потоков;
- подсистема сбора, обработки и выдачи результатов моделирования;
- подсистема обеспечения.

Рассмотрим назначение и особенности каждой из подсистем.

Подсистема формализации процессов таможенного контроля. Подсистема предназначена для формализации процессов таможенного контроля, т. е. построения формализованного описания (формализованной схемы) исследуемого процесса таможенного контроля.

Формализация предполагает выбор формальных приборов обслуживания, определение их параметров, разработку алгоритма построения формальной схемы (модели), с помощью которых можно обеспечить адекватное отображение исследуемых процессов таможенного контроля с требуемой степенью их детализации, т. е. термины и понятия приборов обслуживания формализованной схемы (модели) должны позволять описывать функциональные взаимосвязи между статическими и динамическими элементами системы таможенного контроля.

Существуют различные математические схемы для формализованного описания элементарных операций (процедур, действий, процессов) информационной системы в имитационной модели.

Широкое распространение получили следующие способы описания имитационных моделей (т. е. формальные математические схемы): активностями, аппаратом событий, транзактами, агрегатами, процессами [16]. Одну и ту же сложную систему принципиально можно представить любым из указанных схем формализации, однако имитационные модели, построенные на их основе, будут отличаться размерами, точностью и количеством ресурсов, затрачиваемых на их создание, испытание и использование. Стоит отметить, что каждому способу формализации объекта моделирования соответствует свой способ организации квазипараллелизма в имитационной модели [17].

Выбор способа формализации и формальных приборов (формальных схем) представления модулей имитационной модели осуществляет исследователь с учетом особенностей исследования процессов таможенного контроля и условий моделирования предметной области (деятельности таможенных органов по реализации контрольной функции).

Подход к формализации процессов таможенного контроля и механизм их имитации при моделировании рассматриваются ниже в п. 3.3.

Подсистема моделирования (моделирующий алгоритм). Подсистема предназначена для организации взаимодействия элементов формализованной схемы между собой и с внешней средой (имитации процессов таможенного контроля в модели).

В имитационной модели моделирующему алгоритму приписываются функции управления процессом моделирования:

- синхронизации процесса моделирования при помощи специальной переменной t_0 (t_0 – модельное время, по которому организуется синхронизация процессов (операций, событий) в модели);
- модификации времени t_0 и выполнения алгоритмов преобразования информации в результате выполнения процесса, операции;
- запуска на выполнение процесса, операции (модулей модели);
- организации взаимодействия модулей модели в динамике;
- проверки условий окончания имитации.

Моделирующий алгоритм может включать дополнительные блоки, обеспечивающие полный цикл процесса моделирования. К ним следует отнести:

- блок начала и окончания имитационного эксперимента;
- блок сбора и обработки статистики – результатов моделирования;
- блок оценки и выдачи результатов моделирования.

Как правило, управляющая программа моделирования и дополнительные блоки и подпрограммы модели являются универсальными и не изменяются при переходе от одной модели к другой. Однако принципы их построения и способ управления работой модулей в модели зависят от класса реальных систем – объектов моделирования.

Следует отметить, что вопросы построения моделирующего алгоритма и организации квазипараллельного процесса в имитационной модели являются пред-

метом для специалистов (программистов) по созданию средств автоматизации моделирования.

Составление же формализованной схемы, т. е. представление состава элементов (модулей), логики их взаимодействия в имитационной модели, формализация алгоритмов работы модулей модели, является предметом специалистов таможенных органов, занимающихся вопросами исследования, организации и проектирования системы таможенного контроля.

Принцип построения моделирующего алгоритма специализированной системы имитационного моделирования процессов таможенного контроля рассматривается ниже в п. 3.3.

Подсистема генерации входных потоков. В специализированной СИМ данная подсистема представляется генератором входного потока сообщений на обработку. Генератор предназначен для имитации поступления информации в систему от внешних источников. В качестве информации от внешних источников по отношению к объекту моделирования – процессу таможенного контроля – могут выступать сведения о видах и интенсивностях перемещения товаров (импорт, экспорт, транзит), об их транспортной и товарной специализации, а также сведения, получаемые при предварительном информировании и электронном декларировании товаров. Такие сведения получаются в результате предварительных исследований входных потоков в пунктах пропуска, таможах, изучения статистики внешнеэкономической деятельности, специальной таможенной статистики и др.

Подсистема сбора, обработки и выдачи результатов моделирования. Подсистема предназначена для формирования выходных данных модели (результатов моделирования и информации о ходе имитационного эксперимента). Она включает средства сбора и обработки статистических данных, а также выдачи результатов моделирования. Главной задачей указанных средств является обработка результатов функционирования элементов модели таможенного контроля в процессе имитационного эксперимента. Работа подсистемы осуществляется в течение всего периода моделирования.

Сбор, обработка и выдача данных могут осуществляться по следующим направлениям:

- а) по системе таможенного контроля в целом:
 - общее количество сообщений, поступивших на обслуживание и обслуженных;
 - количество сообщений конкретного типа, поступивших и обслуженных;
 - время обслуживания (нахождения в системе) сообщений конкретного типа (среднее, минимальное и максимальное);
- б) по каждому из входов модели (по каждому внешнему источнику):
 - количество сообщений конкретного типа, поступивших и обслуженных;
 - время обслуживания (нахождения в системе) сообщений конкретного типа (среднее, минимальное и максимальное);

- в) по конкретным процедурам или функциям таможенного контроля:
 - время работы и время простоя элемента системы при реализации конкретной процедуры или функции;
 - количество прерываний по конкретной процедуре или функции;
 - время, затрачиваемое на обработку прерываний;
- г) по конкретной операции в системе таможенного контроля:
 - количество сообщений, обслуженных на данной операции;
 - время обслуживания сообщений (среднее, минимальное и максимальное);
 - количество прерываний работы;
 - длина очереди сообщений на обработку.

Кроме этого в подсистеме может быть реализована возможность построения выходных гистограмм времени обслуживания системой сообщений по видам объектов контроля. Для этой цели осуществляется сбор следующих данных: число попаданий значений времени обслуживания сообщений конкретного типа в заданный интервал; сумма попаданий на все рассматриваемые интервалы гистограммы; суммарная частота попаданий на интервалы гистограммы.

Средства обработки статистических данных позволяют определять вероятностные временные характеристики исследуемых процессов: вероятность обслуживания сообщений определенного типа, в том числе за заданное время; среднее время обслуживания сообщений в системе, а также отклонения от среднего.

Выдача результатов моделирования возможна в режиме «прокрутки» как отладочный вариант слежения за работой модели, а также по окончании моделирования – выдача полной характеристики состояния системы или ее сечений. Выдача результатов моделирования может осуществляться либо на печать, либо на экран.

Подсистема обеспечения. Подсистема предназначена для обеспечения работы пользователей модели, не имеющих специальной подготовки в области моделирования и программирования. Она включает средства «дружественного» интерфейса пользователя с моделью, в том числе средства представления исходных данных (язык описания данных) и другие сервисные средства СИМ: средства регистрации пользователей и моделей, диагностики, консервации модели, модификации и корректировки параметров модели.

Средства регистрации пользователей и моделей выполняют функции учета пользователей средствами моделирования и моделей, хранящихся в базе данных.

Средства модификации и корректировки параметров объекта моделирования позволяют на этапе ввода исходных данных осуществлять контроль, модификацию и корректировку параметров объектов моделирования.

Средства консервации модели осуществляют консервацию модели и промежуточных результатов моделирования в памяти компьютера в случае невозможности окончания эксперимента по каким-либо причинам.

Средства диагностики системы моделирования включают систему диагностических сообщений, позволяющих вполне однозначно идентифицировать сбойные

ситуации в модели. Кроме этого в средства диагностики включены и отладочные средства системы имитационного моделирования.

Таким образом, рассмотренные подсистемы формализации процессов таможенного контроля, моделирования и управления процессом моделирования, генерации входных потоков, сбора, обработки и выдачи результатов моделирования, подсистема обеспечения, а также их средства реализации составляют базовый вариант инструментальных средств имитационного моделирования для исследования процессов таможенного контроля.

Следует подчеркнуть, что основной проблемой при разработке инструментальных средств имитационного моделирования является проблема выбора средств для формализованного описания моделируемых (исследуемых) объектов (процессов, явлений). Такие средства должны быть в максимальной степени ориентированы на учет особенностей (структурных, функциональных, технологических, информационных, параметрических) исследуемого объекта (процесса, явления). Решение этой проблемы формализации во многом определяет концепцию построения специализированной системы имитационного моделирования.

Чтобы получить инструментальные средства желаемого качества, в процессе создания специализированной системы имитационного моделирования для исследования процессов таможенного контроля необходимо соблюдать *определенные принципы* (правила), изложенные в п. 2.2.2.

3.2. СПОСОБЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

При исследовании сложных объектов, процессов и явлений практически всегда возникает проблема выбора инструментов формализации исследуемых объектов. Ее решение во многом определяет стратегию построения механизмов имитации и управления имитационным экспериментом.

Как уже было сказано выше, формализация предполагает выбор формальных приборов обслуживания, определение их параметров, разработку алгоритма построения формальной схемы (модели), с помощью которых можно обеспечить адекватное отображение технологических схем исследуемых процессов с требуемой степенью их детализации. Выбор приборов обслуживания определяется спецификой моделируемой системы и представляет собой нетривиальную задачу.

Учитывая размерность объекта моделирования, динамичность процессов таможенного контроля, разнородность его элементов, а также необходимость исследования процессов таможенного контроля с различной степенью детализации, формализованное описание системы таможенного контроля (как совокупность элементов, процессов, операций и их взаимосвязей) предлагается осуществлять по многоуровневой схеме формальных приборов: «система – устройство – агре-

гат» (базовый «агрегативный» подход) как наиболее универсальному формату для описания процессов таможенного контроля (рис. 3.2) [14]. При таком представлении элементарным прибором обслуживания является «агрегат».

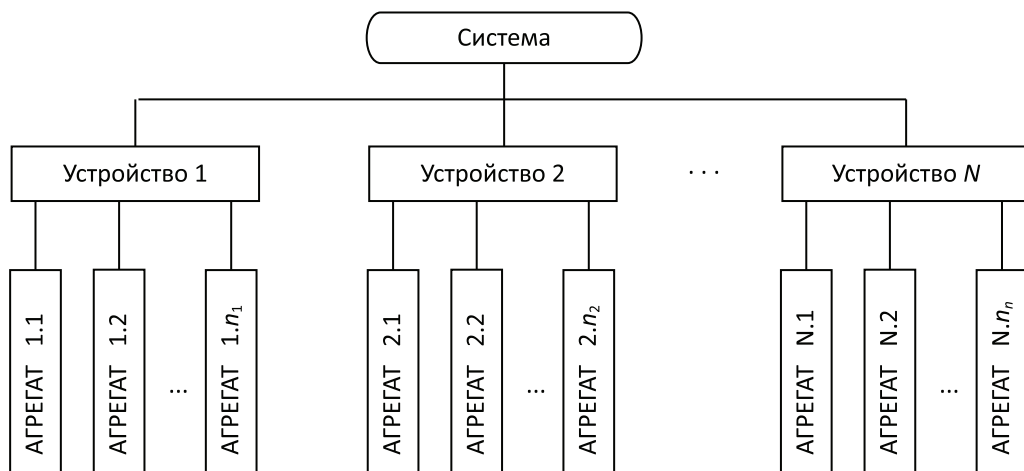


Рис. 3.2. Многоуровневая схема формального описания системы таможенного контроля

Под «агрегатом» понимается формальный прибор обслуживания, имитирующий выполнение одной из элементарных операций таможенного контроля в соответствии с уровнем его детализации. Каждый «агрегат» обладает свойством замкнутости, проявляющимся в том, что при реализации элементарной операции взаимосвязь его с остальными элементами модели возможна только по заранее фиксированным линиям параметрической связи. Каждый агрегат в общем случае определяется (рис. 3.3):

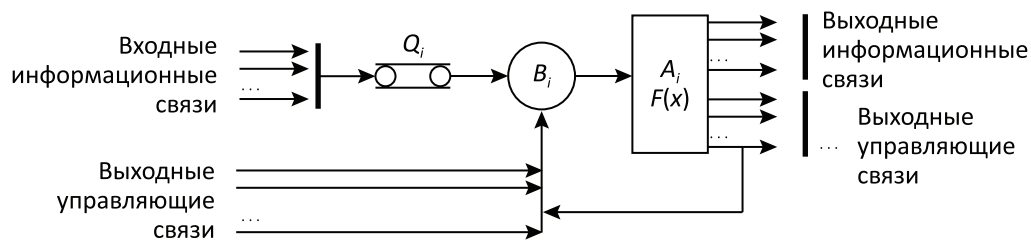


Рис. 3.3. Функциональная схема «агрегата»

- формулой $F(x)$ расчета длительности фазы состояния $t_{\text{обсij}}$ (в частном случае $t_{\text{обсij}} = \text{const}$);
- условиями включения и выключения агрегата B_i ;
- очередью сообщений Q_i ;

– информационными и управляющими входными и выходными связями, определяющими характер поступающей и выдаваемой информации.

Формулы расчета длительности фазы состояния $t_{обсij}$ агрегата определяются, исходя из реального алгоритма процесса таможенного контроля.

К основным условиям включения агрегата относятся:

- включение при поступлении единичного сообщения;
- включение при поступлении пакета сообщений (величина пакета задается);
- включение при заполнении массива данных (величина массива задается);
- включение по времени (задается интервал времени включения $\Delta t_{вкл}$);
- включение при поступлении специального признака или сообщения.

Формирование сигнала на включение – это необходимое, но недостаточное условие для немедленного включения агрегата в работу, даже если агрегат «свободен». Это объясняется тем, что в реальных процессах таможенного контроля могут возникать ситуации, блокирующие выполнение процесса в желаемом направлении (сбои, отказы, угрозы и т. п.), т. е. имеют место сигналы, запрещающие работу агрегата. В этой связи *предлагается* каждый агрегат обеспечить шкалой блокировок включения. Тогда агрегат может быть включен в работу, если имеется сигнал на включение и в шкале отсутствуют запрещающие работу сигналы. В общем случае подобная шкала может рассматриваться как элемент агрегата. Назовем его вентилем B_i . Вентиль B_i может быть представлен булевой функцией $F(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_k)$. При определенных наборах значений аргументов α_i этой функции вентиль пропускает управляющий сигнал на включение в работу данного агрегата.

Набор (кортеж) таких значений аргументов назовем ключевым набором (словом). Ключевой набор составляется для каждого агрегата. Выбор варианта включения агрегата зависит от конкретных исследуемых схем таможенного контроля.

К основным условиям выключения агрегата относятся:

- выключение после полного обслуживания единичного сообщения;
- выключение после обслуживания всей очереди сообщений;
- выключение после обслуживания пакета сообщений (задается величина пакета $N_{пак}$);
- выключение после обслуживания части сообщения (задается часть $\frac{1}{m}$, где $m > 1$);
- выключение после сборки сообщения (во входных агрегатах, схемах приема).

Выбор вариантов включения и выключения агрегатов является, как правило, предметом исследования в моделях процессов таможенного контроля.

Следующим элементом, характеризующим агрегат как прибор обслуживания, является очередь сообщений Q_i . Агрегат имеет очередь только однотипных сообщений одной категории срочности. Очереди отличаются характером формирования (упорядочивания) поступающих сообщений. Очередь может быть организована:

– с упорядочиванием по времени поступления (последнее поступившее сообщение становится в конец очереди или поступившее сообщение становится в начало очереди);

– с упорядочиванием по времени поступления и срочности;

– с упорядочиванием по специальному признаку или метке в сообщении.

Таким образом, организацию очереди, так же, как и условия включения и выключения агрегата, можно свести к конечному варианту схем упорядочивания при условии, что при работе агрегата выбирается на обслуживание всегда первое сообщение в очереди. В качестве сообщений на обслуживание в очереди к агрегату могут выступать: сообщение, запрос, задача, блок информации, массив данных, заявка и т. д.

Для организации очередей и реализации дисциплин обслуживания сообщений в практике моделирования используются два способа использования памяти компьютера: жесткий и системный. При первом способе для организации очередей в модели рабочая (свободная) память компьютера распределяется жестко под каждый агрегат. При системном способе для записи и хранения сообщений выделяются определенные сегменты (участки) памяти. Для организации очередей в этом случае применяется метод ассоциативной увязки отдельных сегментов, каждый из которых содержит одно сообщение на обслуживание. Выбор способа использования памяти для организации очередей осуществляется на этапе программирования модели, исходя из условий эффективного построения структурной модели процесса в памяти компьютера.

Наконец, каждый агрегат имеет информационные и управляющие связи. Они могут быть входными и выходными, внешними и внутренними. Внешние информационные связи характеризуют связь агрегата с внешними источниками информации. При моделировании внешние источники заменяются генераторами входного потока, которые имитируют поступление сообщений к входным агрегатам. Внутренние информационные связи характеризуют взаимосвязь агрегатов между собой при обмене сообщениями. При описании внутренних информационных связей указывается информация:

– о передаче обслуженных сообщений на дальнейшее обслуживание;

– о порождении новых сообщений и передаче их на дальнейшее обслуживание;

– о «торможении» сообщений.

«Торможение» сообщения происходит в случае отсутствия условий (ресурсов) для его выполнения (например, отсутствие специальных средств или программ, отсутствие информации для обработки и т. п.). «Торможение» сообщения не следует путать с «торможением» работы агрегата. Торможение агрегата происходит в случае прерывания его работы агрегатами высшей приоритетной группы. В этом случае сообщение находится в состоянии ожидания из-за выключения агрегата.

При передаче сообщений на дальнейшее обслуживание (в том числе и порожденных сообщений) возможны следующие варианты передачи:

- ко всем агрегатам, указанным в списке;
- ко всем агрегатам, указанным в списке, согласно заданной вероятности передачи к каждому агрегату;
- к одному из агрегатов, указанных в списке, согласно интегральному ряду вероятностей;
- к одному из агрегатов, указанных в списке, по критерию минимальной очереди;
- к одному из агрегатов, указанных в списке, по критерию, выраженному произвольной формулой;
- к агрегату по заданному номеру;
- сообщение считается обслуженным и дальше не передается.

Управляющие связи характеризуются сигналами изменения условий работы агрегата. Они могут вырабатываться как в начале, так и в конце работы агрегата. При этом возможны следующие случаи формирования управляющих воздействий: смена приоритетов по всем или отдельным агрегатам; запрещение или разрешение работы всем или отдельным агрегатам до обслуживания конкретного сообщения (нескольких сообщений, всей очереди) и др.

Схема работы «агрегата» заключается в следующем (см. рис. 3.3).

Поступающие сообщения на обслуживание отображаются в очереди Q_i , а управляющие сигналы – в вентиле B_i . A_i – функциональный преобразователь. В случае совпадения кортежа управляющих сигналов в B_i с ключевым словом вырабатывается сигнал на включение агрегата в работу. При работе агрегат A_i преобразует (обрабатывает) входную информацию за время $t_{\text{обсл}}$ и в случае завершения обслуживания выдает информационные и управляющие сигналы другим агрегатам.

Следовательно, «агрегат» как элементарный прибор обслуживания представляется функциональным преобразователем информации, который определяется длительностью фазы состояния или формулой ее расчета, условиями включения и выключения, очередью сообщений, информационными и управляющими входными и выходными связями. Каждый агрегат описывается вполне определенным набором параметров, определяющих стратегию его поведения, а приоритетная шкала включения агрегатов позволяет дать описание практически любой дисциплины выбора и включения агрегатов в работу.

«Устройство» в многоуровневой схеме описания системы таможенного контроля (см. рис. 3.2) представляет собой набор последовательно работающих агрегатов, реализующих все функции этого устройства и приоритетную схему включения агрегатов данного устройства. Приоритетность включения агрегатов достигается путем введения в устройство шкалы приоритетного обзора, а с помощью «масок» запретов на включение можно обеспечить возможность изменения приоритетов в динамике процесса. Это позволяет дать описание практически любой дисциплины выбора и включения агрегата в работу.

На практике схемы приоритетного обзора в общем случае представляются как многоярусные. Каждый ярус характеризуется наличием шкал приоритетного

выбора, а схемы обзора ярусов могут быть организованы как по абсолютной, так и по относительной схеме (низшие ярусы), а в общем случае по комбинированной схеме, которая получается при приведении многоярусной схемы обзора к однопярусной.

Комбинированный способ предполагает наличие N групп приоритетов и n_j членов в J -й группе ($J = 1, 2, \dots, N$). Внутри каждой группы установлена относительная схема приоритетов, а между группами – абсолютная. Это значит, что работа агрегата данного устройства, стоящего в низшей группе, может быть прервана при поступлении сигнала на работу к агрегату любой высшей группы данного устройства. Внутри одной группы работа агрегата не прерывается, даже если поступает сигнал к агрегату с высшим относительным приоритетом.

Относительная и абсолютная схемы приоритетного обзора являются частными схемами комбинированной схемы. При $N = 1$ схема превращается в относительную. В этом случае остается одна группа, где все агрегаты упорядочены согласно их приоритетам. При этой схеме любой агрегат работает до полного обслуживания сообщения. Просмотр приоритетов агрегатов всегда организуется с первого. При условии, если $n_1 = n_2 = n_3 \dots = n_N = 1$, т. е. когда в каждой группе есть по одному агрегату, схема переходит в абсолютную. Работа агрегата может быть прервана в любой момент при поступлении сигнала на включение к агрегатам высшего приоритета.

При организации приоритетной шкалы отдельные приоритетные входы или группы приоритетов могут иметь «маски» запрета просмотра.

В общем случае приоритетная шкала может быть реализована в виде комбинированной схемы как набор булевых аргументов:

$$R_{\pi} r_1 \varphi_{11} \alpha_{11} \varphi_{12} \alpha_{12} \dots \varphi_{1k} \alpha_{1k} r_2 \varphi_{21} \alpha_{21} \dots \varphi_{2n} \alpha_{2n} \dots r_N \varphi_{N1} \alpha_{N1} \dots \varphi_{Nl} \alpha_{Nl},$$

где R – признак наличия «маски» всей шкалы;

r_i – признак наличия «маски» i -й приоритетной группы;

φ_{ij} – признак наличия «маски» j -го члена i -й приоритетной группы;

α_{ij} – признак наличия сообщения на включение в работу соответствующего агрегата;

$k, n, \dots, l$ – количество членов в соответствующих приоритетных группах;

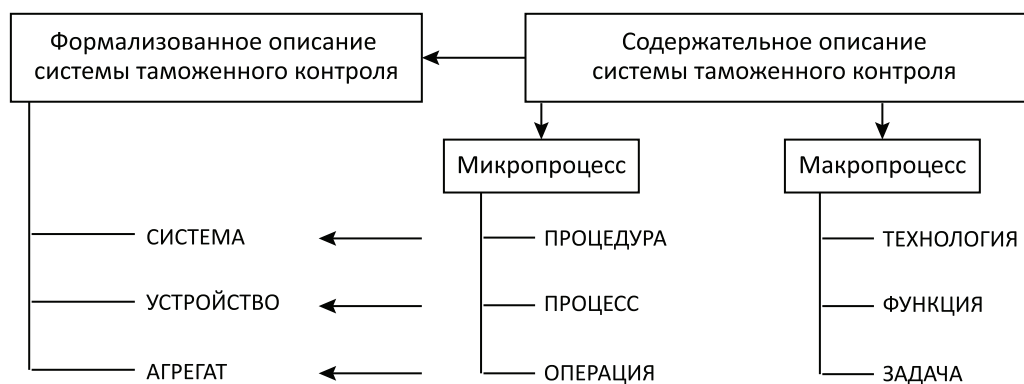
N – количество приоритетных групп.

Использование комбинированного способа представления приоритетных схем, наличие «масок» в шкале приоритетного включения агрегатов, возможность их изменения в динамике процессов позволяют дать описание практически любой дисциплины выбора и включения агрегата в работу.

«Система» при построении формализованного описания моделируемого объекта представляет собой совокупность параллельных процессов и (или) (операций), реализующих конкретную технологию таможенного контроля. При этом «система» представляется набором параллельно работающих «устройств».

Правила формализованного описания элементов таможенного контроля и их взаимодействия на базе предложенной многоуровневой схемы заключаются в следующем. Моделируемый объект – процесс таможенного контроля (формально «система») в соответствии со своим формально-содержательным описанием расчленяется на конечное число элементов (процедур, процессов, функций) таможенного контроля. Такие элементы формально представляются в виде «устройств». Каждая функция реализуется выполнением ряда элементарных операций (фаз обработки), формально описываемых в виде «агрегатов». Затем осуществляется формализация взаимодействия элементов системы в виде некоторого механизма обмена сигналами. Для этой цели используется математическая схема сопряжения, согласно которой сигналы между агрегатами передаются мгновенно и без искажения.

Схема аналогий при формализации процессов таможенного контроля в зависимости от уровня его детализации представлена на рис. 3.4.



Р и с . 3.4. Схема аналогий реальной системы таможенного контроля и ее формализованного описания

Результатом формализованного описания процессов таможенного контроля является формализованная схема – *структурная имитационная модель*. Необходимо отметить главную особенность подсистемы формализации процессов таможенного контроля по многоуровневой схеме – это ее универсальность. Такая схема обеспечивает описание любого процесса, любых объектов, форм и методов таможенного контроля.

Динамические свойства структурной имитационной модели обеспечивает механизм имитации процессов, который реализуется в рамках подсистемы моделирования. Ниже рассматривается подход к разработке механизма имитации процессов таможенного контроля и построения моделирующего алгоритма специализированной системы имитационного моделирования процессов таможенного контроля.

3.3. МЕТОДЫ И МЕХАНИЗМЫ ИМИТАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Создание *механизма имитации* процессов таможенного контроля является не менее важной проблемой при моделировании, чем проблема формализации объекта моделирования.

В теории моделирования существуют различные методы *имитации*, среди которых выделим следующие: повременное моделирование с детерминированным шагом («принцип Δt »), повременное моделирование со случайным шагом (моделирование по «особым» состояниям), моделирование последовательно идущих заявок («позаявочный» метод). Применение того или иного метода имитации определяется спецификой исследуемых процессов, способом их формализованного описания, а также специальными требованиями к моделям со стороны пользователей (простота, наглядность и экономичность модели, удобство в ее управлении, точность результатов и др.).

Учитывая особенности процессов таможенного контроля, «агрегатный» подход к формализации системы таможенного контроля по многоуровневой схеме «система – устройство – агрегат», а также пользовательские требования к имитационным моделям таможенного контроля, в качестве механизма имитации процессов таможенного контроля возможно *предложить метод повременного моделирования со случайным шагом* (моделирование по «особым» состояниям) [14].

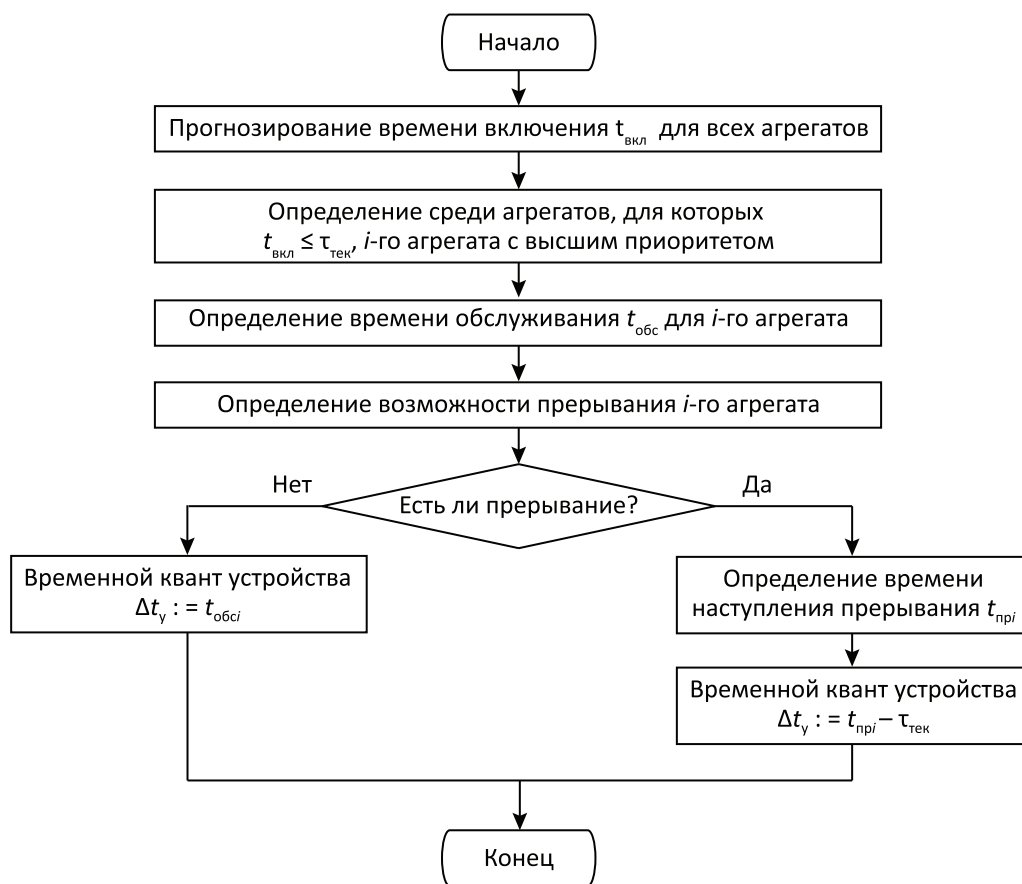
Суть метода заключается в том, что на каждом шаге моделирования определяется момент времени, соответствующий следующему «особому» состоянию моделируемой системы. «Особое» состояние системы вызывается:

- началом обслуживания сообщения (переход устройства из состояния простоя в состояние обслуживания);
- завершением обслуживания сообщения;
- включением в обслуживание агрегата высшего приоритета (прерыванием).

Период нахождения моделируемой системы (процесса) между двумя «особыми» состояниями назовем временным квантом системы – ΔT_c . В процессе моделирования квант системы ΔT_c есть величина переменная и определяется всякий раз путем прогноза длительности состояния всех параллельно работающих «устройств» системы.

Прогнозируемую длительность возможного состояния устройства (фазы обслуживания) назовем временным квантом устройства Δt_y . Квант устройства Δt_y на любой текущий момент времени $\tau_{\text{тек}}$ определяется исходя из прогноза времени включения агрегатов ($t_{\text{вкл}i}$), времени обслуживания сообщений агрегатами ($t_{\text{обс}i}$) и возможности прерывания их обслуживания. При моделировании системы Δt_y определяется для каждого устройства.

Упрощенный алгоритм определения кванта устройства Δt_y приведен на рис. 3.5.



Р и с . 3.5. Упрощенный алгоритм определения временного кванта устройства Δt_y

Математическая формализация повременного моделирования со случайным шагом может быть представлена следующим образом.

Выпишем полученные времена Δt_y для всех устройств в один столбец и назовем его временным оператором системы – A :

$$A = \begin{pmatrix} \Delta t_{y1} \\ \Delta t_{y2} \\ \dots \\ \Delta t_{yj} \\ \Delta t_{yF} \end{pmatrix},$$

где F – общее количество параллельно работающих устройств.

По временному оператору A определяем квант системы ΔT_c :

$$\Delta T_c = \min_{j \in N}(\Delta t_{yj}), \text{ где } N = \{1, 2, 3, \dots, F\},$$

Таким образом, смена фазового состояния системы вызывается агрегатом с квантом $\Delta t_y = \Delta T_c$. При смене фазового состояния системы фиксируются все изменения в системе и определяется новое текущее время моделирования $\tau_{\text{тек}}$:

$$\tau_{\text{тек}} = \tau_{\text{тек}} + \Delta T_c.$$

Для нового фазового состояния определяется новый квант системы ΔT_c в следующей последовательности.

1. Для агрегатов, изменивших свои фазовые состояния, определяются новые Δt_y и записываются на соответствующие им места в столбце временного оператора изменений – B . Для устройств, не менявших фазовые состояния, в оператор B заносятся нули.

Пример оператора B для $F = 5$ и изменение фазового состояния произошло в устройстве № 4:

$$B = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \Delta t_{y4} \\ 0 \end{vmatrix}.$$

2. Определяется дополнительный временной оператор $A(I)$:

$$A(I) = \| a_j(I) \|, \text{ где } a_j(I) = \Delta t_{yj} - \Delta T_c.$$

3. Путем замещения элементов оператора $A(I)$ ненулевыми значениями оператора B получаем новый оператор системы A .

4. Введем обозначения:

$a_j \in A(I)$; $b_j \in B$; $\overleftarrow{P(x)}$ – оператор замещения, где $P(x)$ – условие замещения.

Тогда получение элементов оператора A может быть представлено следующим образом:

$$a_j = a_j(I) \overleftarrow{b_j \neq 0} b_j, \text{ где } j = 1, 2, \dots, F.$$

5. По формуле: $\Delta T_c = \min_{j \in N}(\Delta t_{yj})$ определяется новый квант системы ΔT_c .

Таким образом, в целом моделирование системы производится путем последовательной проводки системы от одного фазового состояния к другому с прогнозированием на каждом этапе следующего фазового состояния на основании

предыдущего с учетом внешних воздействий и возникающих изменений внутри системы. Предложенный механизм имитации процессов таможенного контроля на основе метода «особых состояний» обеспечивает получение необходимой точности результатов моделирования, так как при достаточной степени детализации представления моделируемого процесса таможенного контроля он позволяет приблизить процесс моделирования к натурному эксперименту, т. е. к реальному процессу.

Инструменты формализации процессов таможенного контроля (многоуровневая схема «система – устройство – агрегат», математическая схема «агрегата», схема обмена сигналами между «агрегатами») и механизм имитации процессов таможенного контроля (метод моделирования по «особым состояниям») позволяют унифицировать алгоритмы имитации и управления процессом моделирования, использовать структурную графику или простые табличные формы представления исходных данных и результатов моделирования, а также создают реальную базу для автоматизации построения и исследования моделей таможенного контроля.

Предложенные инструменты формализации процессов таможенного контроля позволяют создать универсальный механизм имитации на уровне логики процесса, не «закладывая» в него конкретные технологические решения. Конкретные характеристики объекта моделирования описываются в виде исходных данных для постановки имитационных экспериментов.

3.4. СТРУКТУРА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

Для построения специализированной системы имитационного моделирования на базе предложенных способов формализации процессов таможенного контроля и метода построения моделирующего алгоритма по «особым состояниям» в качестве функциональных преобразователей входных данных модели таможенного контроля в выходные предлагаются следующие функциональные модули (блоки) [15]:

- блок генерации компьютерной модели (блок ввода исходных данных и генерации модели);
- блок управления (распределения свободной памяти компьютера) ресурсами памяти компьютера при формировании компьютерной модели;
- блок генерации входного потока;
- блок прогноза времени включения агрегатов ($t_{\text{вкл}}$);
- блок определения времени обслуживания сообщения агрегатом ($t_{\text{обсл}}$);
- блок определения кванта устройства (Δt_y);
- блок определения кванта системы (ΔT_c);

- блок завершения обслуживания сообщений агрегатом;
- блок обработки и фиксации результатов моделирования;
- блок выдачи результатов моделирования;
- блок консервации модели.

Структурная схема взаимодействия основных функциональных модулей специализированной СИМ для преобразования входных данных модели таможенного контроля в выходные представлена на рис. 3.6.

В состав набора стандартных подпрограмм включены стандартные блоки (подпрограммы), которые классифицированы по группам:

- подпрограммы прогнозирования времени включения агрегатов;
- подпрограммы расчета времени обслуживания сообщений агрегатом;
- подпрограммы определения дальнейшего маршрута обслуживания сообщений;
- подпрограммы изменения приоритетности агрегатов;
- подпрограммы завершения обслуживания сообщений агрегатами.

Стоит отметить, что первые четыре группы реализуют один из вариантов алгоритма функционирования агрегата и реализуются довольно просто. Пятая группа подпрограмм отражает специфику функционирования агрегата и включает подпрограммы стандартного завершения обслуживания:

- завершение обслуживания сообщения соответственно входным, промежуточным и выходным агрегатом, а также агрегатом, имитирующим состояние простоя устройства;
- завершение работы агрегата по прерыванию («обслуживание прерывания»).

За счет модульного построения и открытости блока набора стандартных подпрограмм обеспечивается наращивание функциональных возможностей СИМ. Наращивать функциональные возможности системы можно путем расширения подпрограмм определения времени и условий обслуживания сообщений агрегатом, обработки и выдачи результатов моделирования, в том числе включения в набор подпрограмм оптимизирующих модулей.

Таким образом, рассмотренные подсистемы формализации процессов таможенного контроля, управления процессом моделирования, генерации входных потоков, сбора, обработки и выдачи результатов моделирования, подсистема обеспечения, а также функциональные модули и средства их реализации составляют базовый вариант системы имитационного моделирования для исследования процессов таможенного контроля (рис. 3.7).

Создание такой системы моделирования является трудоемкой задачей. Однако такая система создается один раз и используется всякий раз, когда появляется необходимость исследования процессов таможенного контроля, а именно, необходимость комплексного анализа, оценки и оптимизации структуры и параметров таможенного контроля, функционирования информационно-технических средств, в зависимости от внешних условий обоснования требуемых ресурсов в пунктах пропуска, таможнях, определения «узких мест» в технологии таможенного контроля.

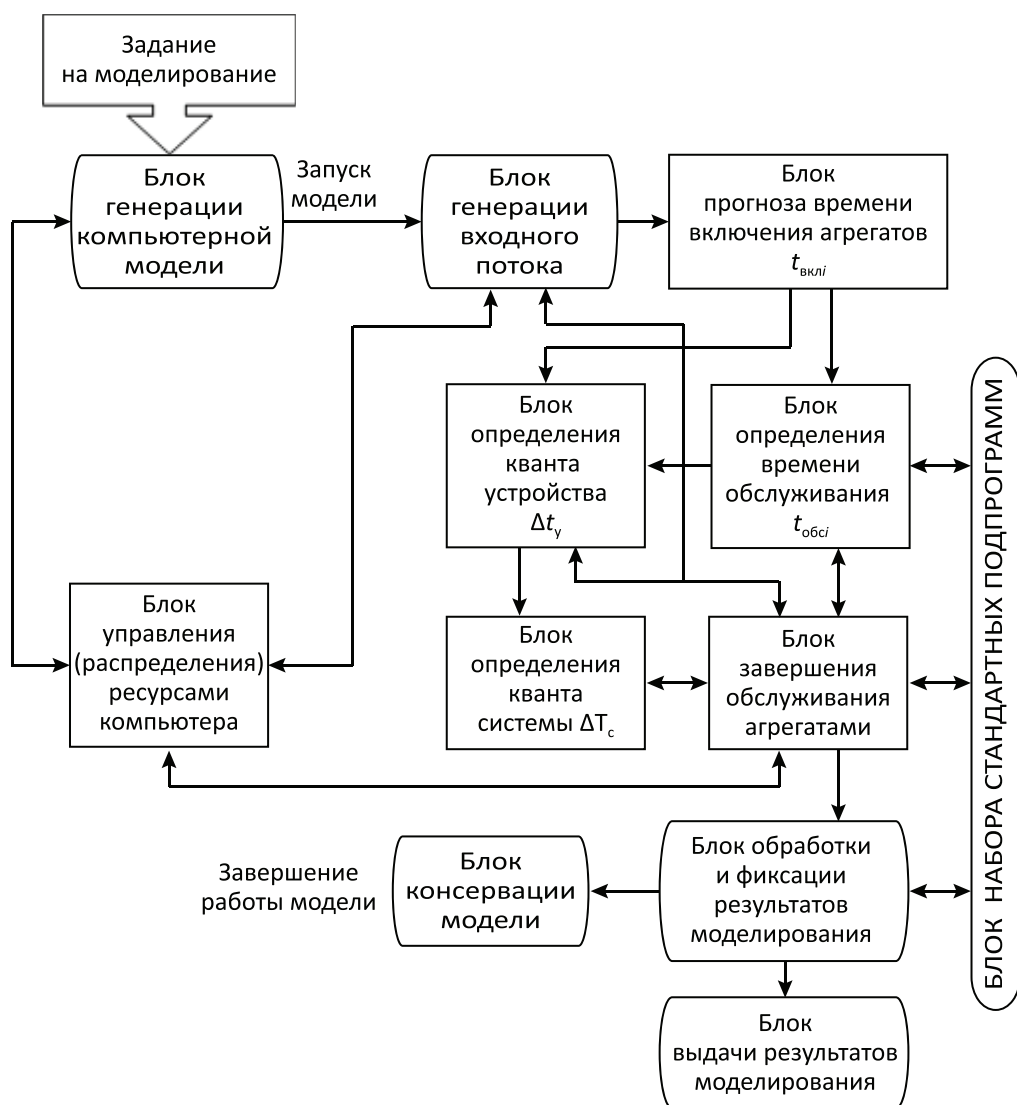


Рис. 3.6. Структурная схема основных функциональных модулей специализированной системы имитационного моделирования процессов таможенного контроля

Свойства модульности и открытости, заложенные при построении системы имитационного моделирования, позволяют в дальнейшем расширять базовый вариант системы и наращивать ее функциональные возможности. Алгоритмы основных функциональных подсистем и модулей специализированной системы имитационного моделирования процессов таможенного контроля представлены ниже.

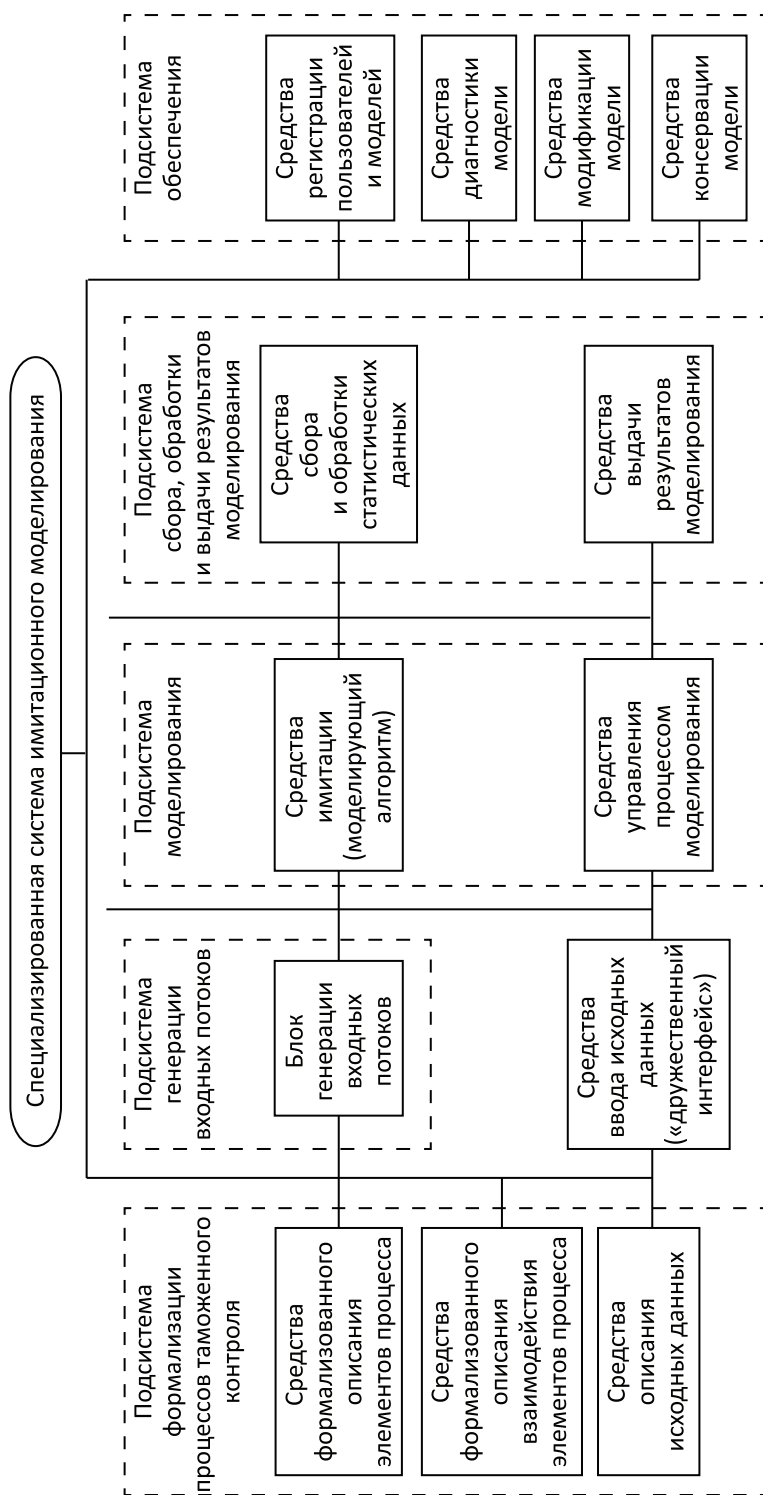


Рис. 3.7. Структура базового варианта специализированной системы имитационного моделирования для исследования процессов таможенного контроля

3.5. СТРУКТУРА ДАННЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

3.5.1. ПЕРЕЧЕНЬ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВХОДНЫХ ПОТОКОВ (ИСХОДНЫХ ДАННЫХ)

Весь набор исходных данных для моделирования процессов таможенного контроля в среде специализированной СИМ целесообразно разбить на следующие группы:

- группа «системных» параметров;
- группа параметров «устройств»;
- группа параметров «агрегатов».

К группе «системных» параметров относятся параметры, определяющие процесс таможенного контроля как систему, параметры источников информации и параметры сообщений, поступающих в систему (входных потоков).

К основным параметрам сообщений относятся следующие:

- время поступления сообщения – $t_{\text{пос}}$;
- тип сообщения – T ;
- срочность сообщения – C ;
- длина сообщения (количество обрабатываемых знаков) – N .

Кроме указанных выше основных возможно задание некоторых дополнительных параметров сообщений, например:

- количество объектов, за которые подается информация в сообщении, – N_o ;
- количество передаваемых характеристик в сообщении – N_x ;
- среднее количество знаков в линейном блоке – $N_{\text{л.б}}$;
- номер формы выдачи результатов – $N_{\text{ф}}$;
- номер типа задачи, решаемой по запросу, – N_z и др.

Входной поток сообщений в модели генерируется специальным генератором. Для его связи с агрегатами модели в исходных данных указываются «каналы» поступления информации в систему, а в исходных данных по каждому «каналу» указываются номер устройства и его входного агрегата, а также принцип передачи к ним сообщений (согласно исследуемому процессу таможенного контроля).

К группе параметров «устройств» относятся характеристики формального прибора, описывающего конкретный процесс таможенного контроля (например, процесс контроля таможенной стоимости, процесс контроля правильности начисления таможенных платежей, валютный контроль и т. п.).

Общими характеристиками, идентифицирующими и связывающими исследуемый процесс и реальные средства (технические, программные, методические, информационные), реализующие этот процесс, могут быть:

- номер устройства – N_y ;
- ресурсы и (или) характеристики устройства (быстродействие, производительность, объем информации, частота отказов, время восстановления, частота сбоев и др.).

Кроме указанных параметров, отдельные устройства (процессы) могут иметь свои специфические характеристики (например, процесс контроля экспортно-импортных операций участников ВЭД), которые тоже задаются в качестве исходной информации.

К группе параметров «агрегатов» относятся характеристики этапов (фаз обработки информации), элементарных операций при реализации конкретного процесса, выполнение которых возлагается на формальный прибор – агрегат. Параметрами агрегатов могут быть как качественные, так и количественные характеристики. К основным исходным характеристикам агрегата следует отнести (в том числе идентификационные, структурные, параметрические, информационные):

- номер и назначение агрегата в технологической цепочке (входной, выходной, промежуточный) исследуемого процесса;
- условия включения и выключения;
- информационные и управляющие входные и выходные связи;
- принципы поступления информации, организация очередей;
- вариант определения времени обслуживания сообщений – $t_{\text{обс}}$;
- списки агрегатов на передачу информации, на блокировку, на изменение приоритетов и т. д.;
- условия передачи сообщений, блокировки агрегатов, изменения приоритетов и т. п.;
- списки типов порожденных сообщений, условия торможения, вызванные порождением сообщений конкретного i -го типа, и др.

Следует обратить внимание на исходные данные, которые определяют условия моделирования, перечень и формы выдаваемых результатов моделирования. Такими характеристиками являются:

- время моделирования – T_m ;
- количество вариантов моделирования;
- номер подпрограмм анализа, обработки и выдачи результатов моделирования;
- режимы выдачи результатов (в режиме слежения, выдача по состоянию на определенные моменты времени $T_1, T_2, \dots, T_n$, выдача сечений через промежутки времени ΔT_i , номер гистограмм выдачи (для выходных агрегатов) с указанием шага и временных интервалов и др.

Таким образом, перечисленные параметры составляют исходные данные для описания формализованной схемы исследуемого процесса, задания условий проведения эксперимента и выдачи результатов моделирования.

3.5.2. ПЕРЕЧЕНЬ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫХОДНЫХ ПОТОКОВ (РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ)

В среде специализированной системы имитационного моделирования процессов таможенного контроля средства обработки и выдачи результатов моделирования представлены *подсистемой* сбора, обработки и выдачи результатов моделирования. Подсистема предназначена для формирования выходных данных модели (результатов моделирования) и информации о ходе имитационного эксперимента). Она представляет собой средства сбора, регистрации и выдачи результатов моделирования. Основной задачей средств является обработка результатов функционирования объектов модели в процессе имитационного эксперимента. Работа средств осуществляется в течение всего процесса моделирования. С учетом специфики исследований, на которую ориентированы средства СИМ, предусматривается сбор и обработка следующих данных:

а) по «системе» в целом:

- общее количество сообщений, поступивших на обслуживание и обслуженных;

- количество сообщений i -го типа, поступивших и обслуженных;

- время обслуживания (нахождения в системе) сообщений i -го типа (среднее, минимальное и максимальное);

б) по каждому «устройству» системы:

- время работы и время простоя устройства;

- количество прерываний по устройству;

- время, затрачиваемое на обработку прерываний;

в) по каждому из входных «агрегатов» (по каждому источнику информации):

- количество сообщений i -го типа, поступивших и обслуженных;

- время обслуживания (нахождения в системе) сообщений i -го типа (среднее, минимальное и максимальное);

г) по каждому «агрегату» системы:

- количество сообщений, обслуженных агрегатом;

- время обслуживания сообщений агрегатом (среднее, минимальное и максимальное);

- количество прерываний агрегата;

- длина очереди сообщений на обработку.

Кроме этого в системе предусматривается возможность построения выходных гистограмм времени обслуживания системой сообщений каждого типа. Для этой цели осуществляется сбор следующих данных:

- число попаданий значений времени обслуживания сообщений i -го типа в заданный интервал;

- сумма попаданий на все рассматриваемые интервалы гистограммы;

- суммарная частота попаданий на интервалы гистограммы.

Средства обработки и выдачи результатов моделирования позволяют определять вероятностные оценки исследуемых случайных величин и законы их распределения. Предусматривается получение следующих вероятностно-временных оценок:

- вероятность обслуживания сообщений в системе;
- вероятность обслуживания сообщений i -го типа в системе, в том числе за заданное время;
- математическое ожидание и дисперсия времени обслуживания сообщений каждого типа в системе.

Средства выдачи результатов моделирования предполагают выдачу сечений моделируемого процесса, выдачу результатов по окончании моделирования, а также отладочный вариант выдачи состояния системы в режиме слежения. Выдача результатов моделирования может осуществляться либо на печать, либо на экран.

3.6. ГЕНЕРАЦИЯ ВХОДНЫХ ПОТОКОВ И ОБРАБОТКА ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ (РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ)

3.6.1. СПОСОБЫ ГЕНЕРАЦИИ ВХОДНЫХ ПОТОКОВ СООБЩЕНИЙ

В среде специализированной системы имитационного моделирования процессов таможенного контроля средства генерации входного потока представлены *подсистемой генерации входных потоков* и являются генератором входного потока сообщений. Генератор предназначен для имитации поступления информации в систему от внешних источников. В качестве основного режима при генерировании принят режим единичного генерирования сообщений по каждому из входных агрегатов (каналов). Данный режим существенно улучшает использование ресурсов компьютера, хотя и представляет некоторые трудности при определении очередей сообщений на входной фазе. На динамике моделирования самого процесса принятый режим не отражается.

При генерировании сообщений определяются следующие их параметры: тип сообщения – T ; срочность сообщения – C ; время поступления сообщения – $t_{\text{пoc}}$; длина сообщения (количество обрабатываемых знаков) – N и другие параметры сообщений, например: количество объектов, за которые подается информация в сообщении – N_o ; количество передаваемых характеристик в сообщении – N_x ; среднее количество знаков в линейном блоке – $N_{\text{л.б}}$; номер формы выдачи результатов – $N_{\text{ф}}$; номер типа задачи, решаемой по запросу – N_z , и др.

При задании исходных данных параметры сообщений могут быть определены в явном или неявном виде. В явном виде параметры сообщений задаются,

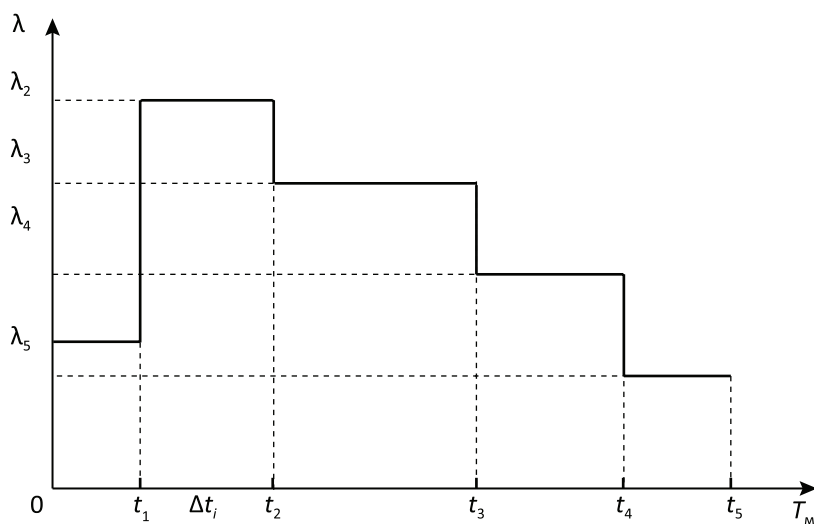
когда они не изменяются на всем диапазоне исследования системы. В случае задания параметров входных сообщений в неявном виде должны быть определены формулы или алгоритмы их получения в модели. При этом входные потоки сообщений задаются следующим образом.

Весь временной интервал $[0, T_m]$ моделирования системы (где T_m – время моделирования) разбивается на ряд подынтервалов переменной длины (t_i), для каждого из которых интенсивность поступления сообщений может быть определена одной характеристикой – λ_i . В этом случае общее количество поступивших сообщений S на всем интервале $[0, T_m]$ определяется как сумма сообщений, поступивших на всех подынтервалах:

$$S = \sum_{i=1}^k \lambda_i \times \Delta t_i,$$

где k – количество подынтервалов.

Такое представление входных потоков предполагает предварительное получение общей гистограммы поступления сообщений путем обследования моделируемого объекта. Пример гистограммы входного потока приведен на рис. 3.8.



Р и с. 3.8. Пример гистограммы входного потока сообщений

Для разделения общего потока сообщений на каждом подынтервале Δt_i на составляющие по типу T_i и срочности C_i задаются соответственно интегральные ряды вероятностей:

$$P_{1i}, P_{2i}, \dots, P_{ki}, \dots, 1;$$

$$P_{c1i}, P_{c2i}, \dots, P_{cki}, \dots, 1.$$

В случае если распределение сообщений по типам и срочности не изменяется на всем интервале моделирования $[0, T_m]$, то такое задание вероятностей задается один раз на весь интервал.

Для определения величин N_o , N_x в сообщениях, не заданных жестко, приводятся интервалы их изменения $N_{\text{сmin}} - N_{\text{сmax}}$, $N_{\text{o min}} - N_{\text{o max}}$, $N_{\text{x min}} - N_{\text{x max}}$ и законы их получения при моделировании в этих интервалах (например, равномерный закон). Для определения величин N_ϕ , N_3 задаются интегральные ряды вероятностей.

При задании параметров сообщений в неявном виде получение их в модели происходит следующим образом.

Для определения параметра по заданному интегральному ряду вероятностей в модели генерируется случайное число ξ , равномерно распределенное в интервале $[0, 1]$, и определяется интервал в интегральном ряду вероятностей, удовлетворяющий условию:

$$P_i < \xi \leq P_{i+1}.$$

Данному параметру (типу или срочности) присваивается числовое значение, равное порядковому номеру i -го члена ряда.

При задании диапазона изменения параметра его значение в модели при равномерном распределении определяется по формуле:

$$N = N_{\min} + \xi (N_{\max} - N_{\min}),$$

а в случае целочисленных решений:

$$N = N_{\min} + \text{целая часть } [\xi(N_{\max} - N_{\min})].$$

Особо важное значение в модели приобретает *определение времени поступления сообщения* $t_{\text{пoc}}$. Время поступления сообщений определяется исходя из принятого принципа представления входных потоков, а именно, разделение его на подынтервалы, на каждом из которых можно рассматривать входной поток как простейший. При этом длительность интервалов времени между моментами поступления сообщений определяется по формуле:

$$\Delta t_{ij} = -\frac{1}{\lambda_i} \ln \xi,$$

где λ_i – интенсивность поступления сообщений на i -м подынтервале;

Δt_{ij} – временной интервал между поступлением $(j-1)$ -го и j -го сообщений;

ξ – случайное число, равномерно распределенное на интервале $[0, 1]$.

Время поступления j -го сообщения в систему $t_{\text{пocj}}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{пocj}} = t_{(j-1)} + \Delta t_{ij},$$

где $t_{(j-1)}$ – время поступления в систему предыдущего сообщения.

Представление сообщения довольно полным списком параметров, возможность задания их в явном или неявном виде, а также представление входных потоков сообщений в виде ступенчатых гистограмм позволяют исследовать поведение моделируемого объекта в различных условиях и режимах воздействия внешней среды.

Сгенерированные сообщения с соответствующими параметрами (тип – Т, срочность – С, время поступления $t_{\text{пос}j}$ и другие параметры сообщения) записываются в очередь к входным агрегатам. При работе генератора входного потока выделено два режима: первоначального и единичного генерирования. В режиме первоначального генерирования генерация сообщений осуществляется последовательно по всем входным агрегатам (каналам), начиная с первого. В режиме единичного генерирования генерация сообщения осуществляется по запросу по заранее определенному агрегату (каналу).

3.6.2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ (РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ)

В результате имитационного эксперимента получаем статистические данные (выходные данные) для исследуемого варианта структуры и параметров системы таможенного контроля. Такими данными могут быть:

- количество поступивших $n_{ki}^{\text{пос}}$ и обслуженных $n_{ki}^{\text{обс}}$ в системе сообщений k -го типа, на i -х фазах обработки, за время $t \leq t_{\text{доп}}$, $t = T_m$, в течение интервалов времени T_0 (здесь: $t_{\text{доп}}$ – допустимое время обработки сообщения, T_m – время моделирования);

- времена (минимальные, максимальные, средние) обслуживания $t_{\text{обс}}$ и ожидания обслуживания $t_{\text{ож. обс}}$ в системе сообщений k -го типа, на i -х фазах обработки;

- времена работы t_p и простоя $t_{\text{пр}}$ агрегатов, длины очередей l_i на i -х фазах обработки.

В процессе обработки статистических (выходных) данных вычисляем основные показатели, характеризующие эффективность и качество процесса таможенного контроля. Такими показателями могут быть:

а) вероятность обслуживания сообщений k -го типа (вероятность решения задачи, выполнения запроса и (или) реализации функции таможенного контроля) за время, не превышающее допустимое, $P_k(t \leq t_{\text{доп}})$:

$$P_k(t \leq t_{\text{доп}}) = \lim_{n_k^{\text{пос}} \rightarrow \infty} \frac{n_k^{\text{обс}}(t \leq t_{\text{доп}})}{n_k^{\text{пос}}};$$

б) динамические $\delta^{\text{л}}(t_0, t)$ и интегральные $\delta^{\text{и}}(0, t)$ пропускные способности по сообщениям (задачам, запросам, функциям) k -го типа для отдельных операций, для процесса и (или) системы в целом:

$$\delta^{\text{л}}(t_0, t) = \frac{\bar{n}_k^{\text{обс}}(t_0, t)}{\bar{n}_k^{\text{пос}}(t_0, t)},$$

$$\delta^{\text{н}}(0, t) = \frac{\bar{n}_k^{\text{обс}}(0, t)}{\bar{n}_k^{\text{пос}}(0, t)},$$

где $\bar{n}_k^{\text{пос}}$, $\bar{n}_k^{\text{обс}}$ – среднее количество сообщений (задач, запросов) k -го типа, соответственно поступивших и обслуженных на интервалах $[t_0, t]$, $[0, t]$ на отдельных фазах (операциях), для процесса и (или) системы в целом;

в) коэффициент загрузки агрегатов (средств) системы – K_3 :

$$K_3 = \frac{t_p}{t_p + t_{\text{пр}}},$$

где t_p , $t_{\text{пр}}$ – суммарные времена соответственно работы и простоя агрегатов (средств) системы на интервале $[0, T_m]$, здесь T_m – время моделирования;

г) вероятность $P_k(t)$ нахождения системы в состоянии, характеризующем способность выполнения требуемых действий – контрольно-проверочных мероприятий (коэффициент готовности – K_r):

$$K_r = P_k(t) = \int_k^l [t, S_l^*(m^* \subseteq m)],$$

где k – переменная, характеризующая тип сообщения (задачи, запроса);

S_l^* – l -е подмножество множества $m^* \subseteq m$ состояния элементов системы (агрегатов).

$$P_k(t) = \frac{S^*}{S^0},$$

где S^* – количество состояний «свободен» (состояние отсутствия очереди, работоспособен) элемента (агрегата) системы за время $t = T_m$;

S^0 – общее количество обращений к элементу (агрегату) системы за время $t = T_m$.

Таким образом, предложенные структура, принципы и механизмы специализированной системы имитационного моделирования, подходы к реализации основных ее целей и задач позволят создать инструмент исследования процессов таможенного контроля, обеспечивающего решение проблем повышения эффективности таможенного контроля.

Глава 4

АЛГОРИТМЫ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Специализированная система имитационного моделирования для исследования процессов таможенного контроля представляет собой комплекс математических, программных и языковых средств, позволяющих автоматизировать процесс построения моделей и постановки компьютерных экспериментов с моделью. Структура базового варианта специализированной системы имитационного моделирования для исследования процессов таможенного контроля представлена на рис. 3.7.

В данной главе приведены алгоритмы основных функциональных блоков, необходимые для создания программного комплекса базового варианта специализированной СИМ для исследования процессов таможенного контроля. В их составе алгоритмы и модули:

- ввода исходных данных и автоматизированного построения имитационной модели;
- генерации входных потоков;
- имитации и управления процессом моделирования (модули прогноза времени включения агрегатов, определения времени обслуживания сообщения агрегатом, определения кванта устройства, определения кванта системы, завершения обслуживания сообщений агрегатом);
- сбора, обработки и выдачи результатов моделирования;
- преобразования данных в имитационной модели.

4.1. АЛГОРИТМ ВВОДА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Алгоритм ввода исходных данных и генерации имитационной модели реализует функции блока генерации компьютерной модели. Этот блок должен осуществлять:

- трансляцию исходных данных с внешнего языка описания данных на внутренний язык моделирования;
- формирование «рабочей» базы данных модели (формирование структуры элементов модели – устройства, агрегаты, внешняя среда);
- ввод параметров элементов в рабочую базу данных модели (параметрическая настройка модели);
- формирование базы данных для сбора, обработки и хранения статистических данных – результатов моделирования;
- подготовку модели для проведения экспериментов.

Алгоритм, реализующий функции блока генерации компьютерной имитационной модели, представлен на рис. 4.1. Его работа заключается в следующем.

При вводе исходных данных на соответствующем внешнем языке (языке пользователя) анализируется последовательность конструкций языка и их параметры. В результате этого исходные данные с внешнего транслируются на внутренний уровень. Выбор языка описания исходных данных (табличный, графический и др.) и разработка программы, обеспечивающей «дружественный» интерфейс исследователя (пользователя) и средств СИМ остается прерогативой программистов, осуществляющих разработку программного комплекса.

Последовательность ввода данных определяется системной технологией построения имитационной модели.

Изначально вводятся структурные (системные) параметры модели: количество вариантов модели, для каждого варианта определяются структура модели – устройства, агрегаты, внешние источники (оператор 1). В процессе ввода и анализа конструкций структурных элементов модели в «рабочей» области памяти компьютера формируется соответствующая структура модели – рабочая база данных модели (вариантов модели) (оператор 2); осуществляется ввод параметров устройств, агрегатов, параметров для генерации нагрузки от внешних источников, а также параметров и условий проведения экспериментов (оператор 3). При этом каждому устройству и его агрегатам приписываются конкретные свойства и схема его поведения в определенных условиях, устанавливаются связи между агрегатами внутри модели и с внешней средой (идентифицируются входные и выходные агрегаты), т. е. осуществляется так называемая параметрическая настройка модели.

Для последующей генерации модели необходимо подготовить специальную область (базу выходных данных) для сбора, обработки и хранения статистических данных – результатов моделирования.

При этом осуществляется анализ условий проведения эксперимента (операторы 7–11) и выделение сегментов памяти (формирование базы данных) для сбора статистики по заранее определенным агрегатам, устройствам и системе в целом (оператор 13).

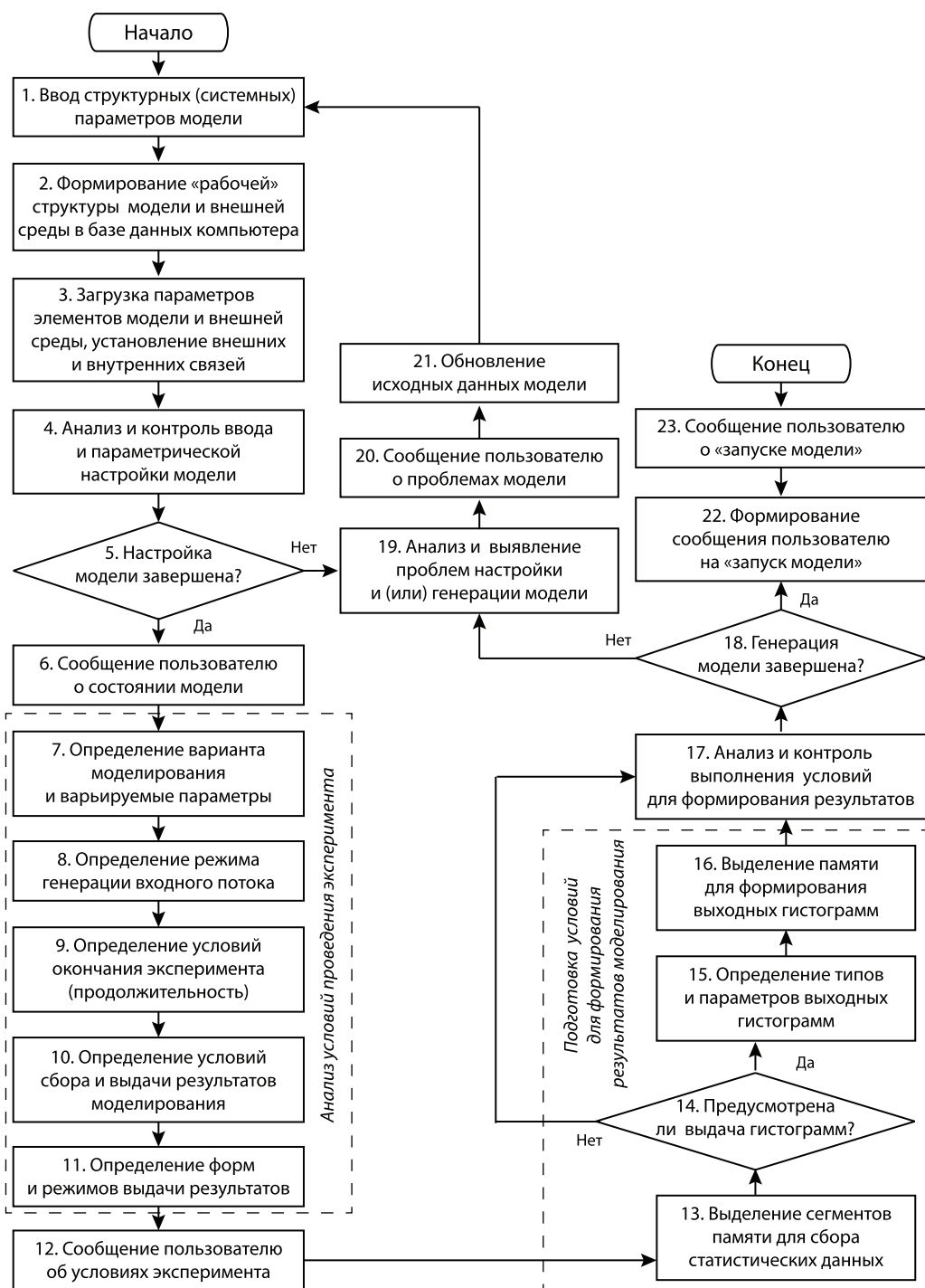


Рис. 4.1. Алгоритм ввода исходных данных и построения имитационной модели

Если предусмотрена выдача результатов в виде гистограмм, для их построения необходимо выполнить подготовительные работы, а именно, выделить сегмент памяти, определить и разметить оси координат и т. п. Эти работы выполняют операторы 14–16.

При успешном выполнении указанных работ система формирует сигнал пользователю на «запуск модели» (оператор 22). При неуспешном выполнении работ по настройке и генерации модели в составе операторов данного алгоритма предусматривается работа системы контроля и диагностики проблем генерации модели (операторы 4, 17, 19) и выдачи соответствующих сообщений пользователю (операторы 6, 12, 20, 23).

4.2. АЛГОРИТМ ГЕНЕРАЦИИ ВХОДНЫХ ПОТОКОВ

Для генерации входных потоков сообщений в структуру системы имитационного моделирования включается генератор входного потока. Как уже было показано выше, в модели основной структурной единицей, инициирующей процесс таможенного контроля, является сообщение. В предлагаемой системе имитационного моделирования процессов таможенного контроля генерация сообщений осуществляется с параметрами: время поступления сообщения, его тип и срочность, объем и др. Сгенерированные сообщения записываются в очередь ко входным агрегатам.

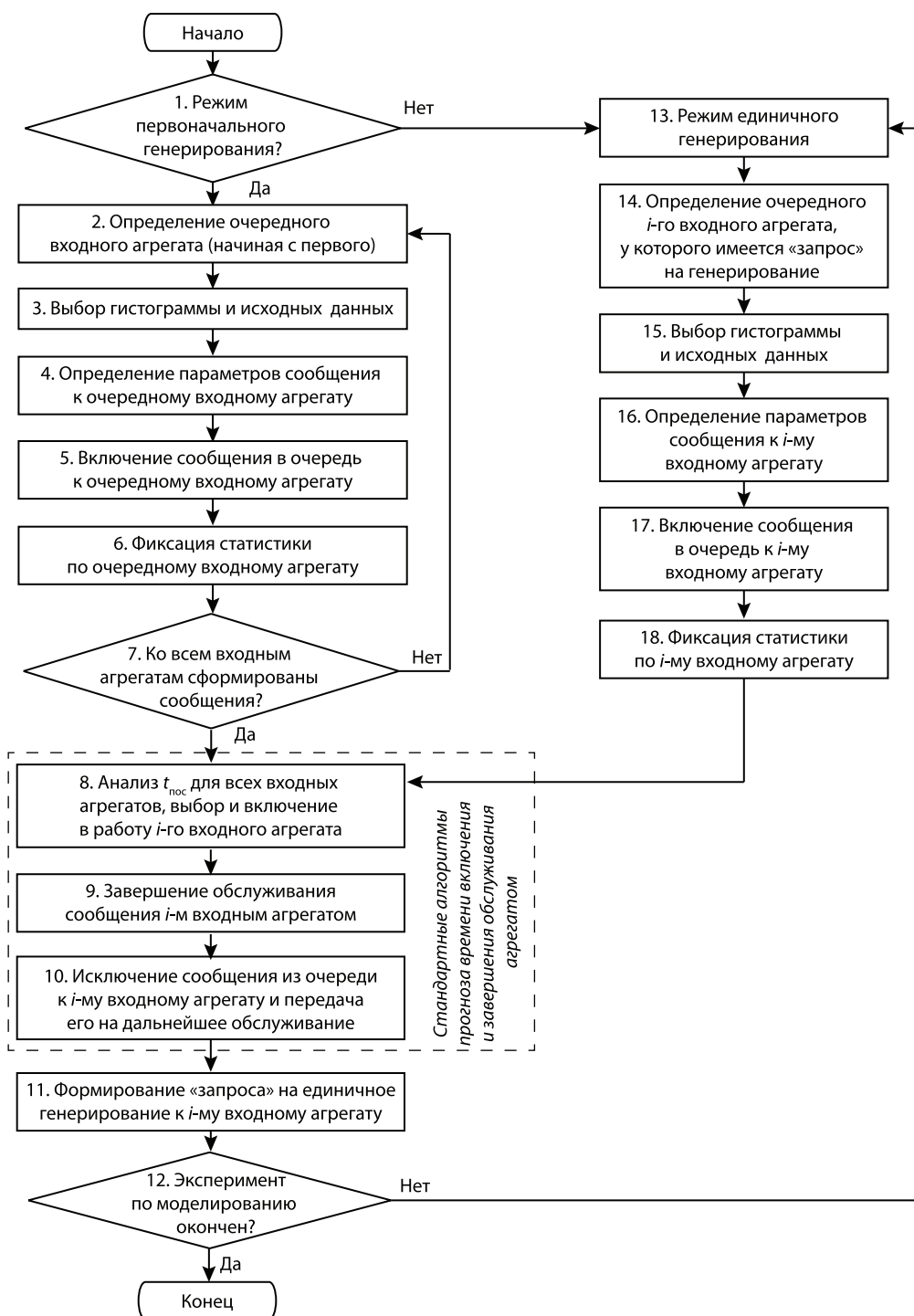
Алгоритм генерации входных потоков представлен на рис. 4.2.

В основу алгоритма положены подходы к генерации входных потоков (определение параметров сообщения по входным гистограммам), изложенные в п. 3.6.1.

При работе генератора входного потока выделено два режима: режимы первоначального и единичного генерирования (операторы 1, 13). В режиме первоначального генерирования генерация сообщений осуществляется последовательно по всем входным агрегатам, начиная с первого (входной агрегат рассматривается как «канал» поступления потока информации).

Исходные данные для генерации входных потоков получаем на основе гистограммы, пример которой представлен на рис. 3.8. Получение таких гистограмм является отдельным предметом исследования, проводимом при информационном и функциональном обследовании объекта моделирования.

Для заданных: рабочих интервалов t_{ni} , t_{ki} на гистограмме, интенсивностей потока λ_i на i -м рабочем интервале гистограммы, вероятности P_i и (или) интегральных рядов вероятностей $P_i, P_i, \dots, P_i, \dots, 1$, диапазонов изменения объемов информации $N_{\max}, N_{\min}$ и сгенерированных датчиком случайных чисел ξ определяются параметры сообщений: время поступления сообщения $t_{\text{пос}}$, тип T , срочность C , объем N , т. е. формируется поле данных сообщения (операторы 2, 3, 4 и 14, 15, 16).



Р и с . 4.2. Алгоритм генерации входных потоков

В режиме первоначального генерирования сгенерированные сообщения адресуются и включаются в очередь ко всем входным агрегатам, начиная с первого (оператор 5), в режиме единичного генерирования включение в очередь осуществляется к конкретному i -му агрегату, который требовал генерации сообщения по «запросу» (оператор 17). При этом в качестве стратегии включения выбирается одна из следующих: включение в начало или в конец очереди, включение по времени поступления, случайный характер включения, включение по времени и срочности и т. п. Такие процедуры (операторы 5, 17) осуществляются по стандартному алгоритму включения сообщений в очередь.

Стандартными являются процедуры (алгоритмы) включения входных агрегатов в работу, завершение обслуживания и исключения из очереди сообщений к входным агрегатам (операторы 8, 9, 10).

При выборе из очереди сообщения и передаче его агрегату на дальнейшее обслуживание в соответствии с формализованной схемой исследуемого процесса формируется «запрос» на единичное генерирование следующего сообщения (оператор 11).

Режим единичного генерирования реализуется аналогично описанному выше режиму первоначального генерирования, за исключением того, что в данном режиме генерация сообщения осуществляется по запросу для заранее определенного i -го входного агрегата («канала»). Режим единичного генерирования сообщений по каждому из входных агрегатов является основным режимом при генерировании входных потоков. На динамику моделирования исследуемого процесса предлагаемый режим не отражается.

Процедура генерации сообщений к входным агрегатам и передача их на дальнейшее обслуживание осуществляется до момента окончания процесса моделирования (оператор 12). Обязательной процедурой является формирование статистики по входным агрегатам – количество поступивших сообщений всего, по типам, по срочности и т. п. (операторы 6, 18).

4.3. АЛГОРИТМЫ, РЕАЛИЗУЮЩИЕ МЕХАНИЗМЫ ИМИТАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В состав алгоритмов, реализующих механизмы имитации и управления процессом моделирования, включены:

- алгоритм прогноза времени включения агрегатов;
- алгоритм определения времени обслуживания сообщения агрегатом;
- алгоритм определения кванта устройства;
- алгоритм определения кванта системы;
- алгоритм завершения обслуживания сообщений агрегатом.

4.3.1. АЛГОРИТМ ПРОГНОЗА ВРЕМЕНИ ВКЛЮЧЕНИЯ АГРЕГАТОВ

Алгоритм прогноза времени включения агрегатов ($t_{\text{вкл}i}$) предназначен для определения времени включения агрегата в работу без учета приоритетности других агрегатов. Алгоритм анализирует наличие сообщений в очереди, наличие сигналов запрета на включение и согласно заданной стратегии включения агрегата с помощью стандартных программ включения вырабатывает (или не вырабатывает) сигнал включения. В качестве основной стратегии включения агрегата выбрана стратегия появления единичного сообщения в очереди. В этом случае при отсутствии сигналов запрета время включения i -го агрегата $t_{\text{вкл}i}$ будет равно времени поступления сообщения в очередь $t_{\text{пос}i}$, т. е. $t_{\text{вкл}i} = t_{\text{пос}i}$.

Алгоритм прогноза времени включения агрегатов представлен на рис. 4.3. В соответствии с алгоритмом (см. рис. 4.3) последовательно просматриваются все устройства и все агрегаты каждого устройства с целью определения наличия очереди сообщений на обслуживание к агрегатам (операторы 1–11).

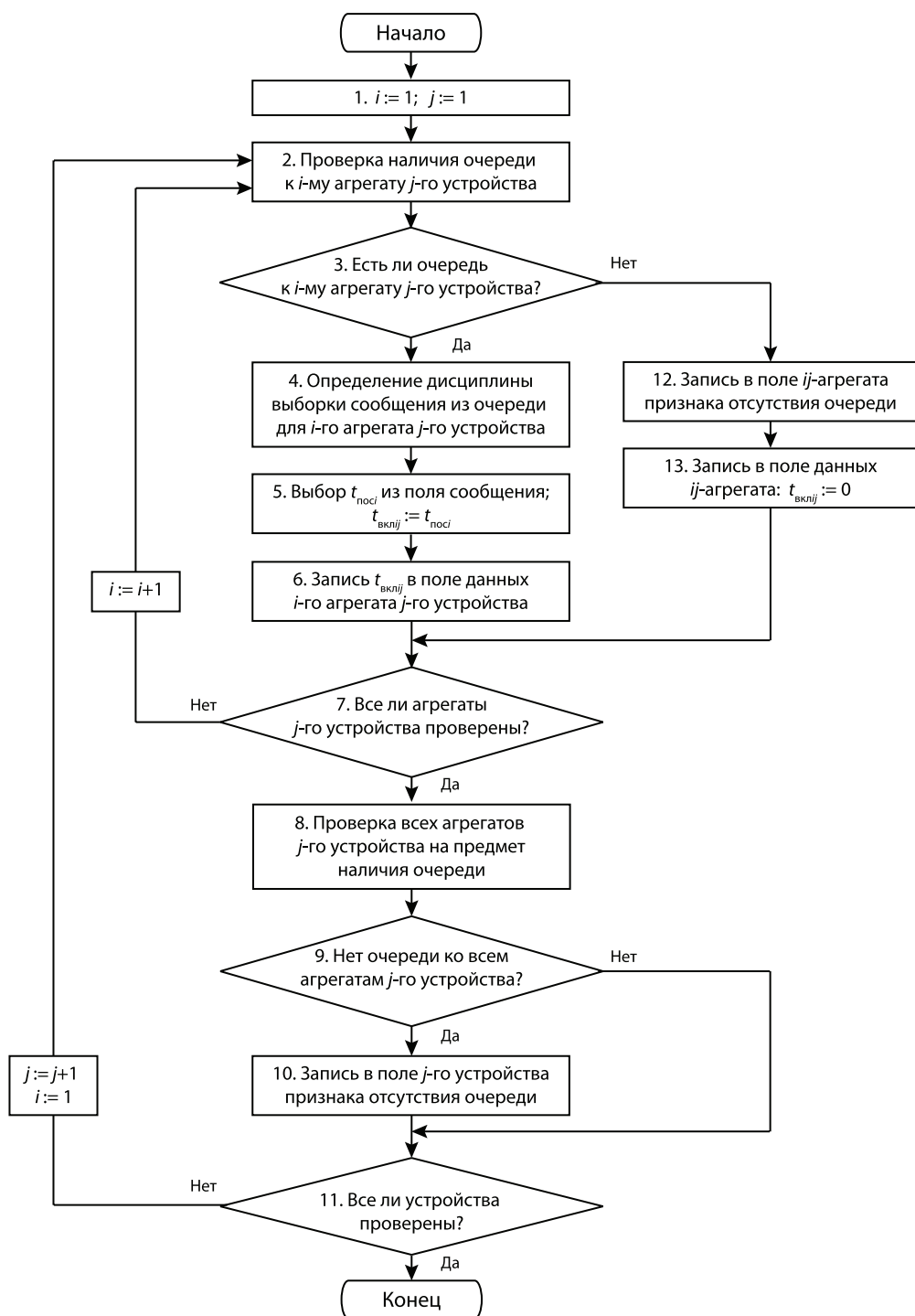
Если такая очередь к агрегату обнаружена – для каждого агрегата определяется дисциплина выборки сообщений из очереди (оператор 4). При этом предусматриваются две стратегии выборки с учетом предварительного упорядочивания сообщений в очереди: выборка первого или последнего сообщения из очереди. С учетом выбранной дисциплины выборки определяется время включения i -го агрегата j -го устройства (операторы 5, 6):

$$t_{\text{вкл}ij} = t_{\text{пос}i},$$

где: $t_{\text{пос}i}$ – время поступления сообщения к i -му агрегату (это время находится в «поле данных» (таблице, сегменте памяти) сообщения);

$t_{\text{вкл}ij}$ – время включения i -го агрегата j -го устройства (это время записывается в «поле данных» i -го агрегата j -го устройства).

Если очереди к ij -агрегату нет, то в его поле данных (таблице, сегменте памяти) устанавливается признак отсутствия сообщений на обработку, при этом $t_{\text{вкл}ij} := 0$ (операторы 12, 13). Если все агрегаты j -го устройства не имеют очереди на обработку, то в «поле данных» (таблицу, сегмент памяти) j -го устройства устанавливается признак отсутствия сообщений на обработку (операторы 8, 9, 10).



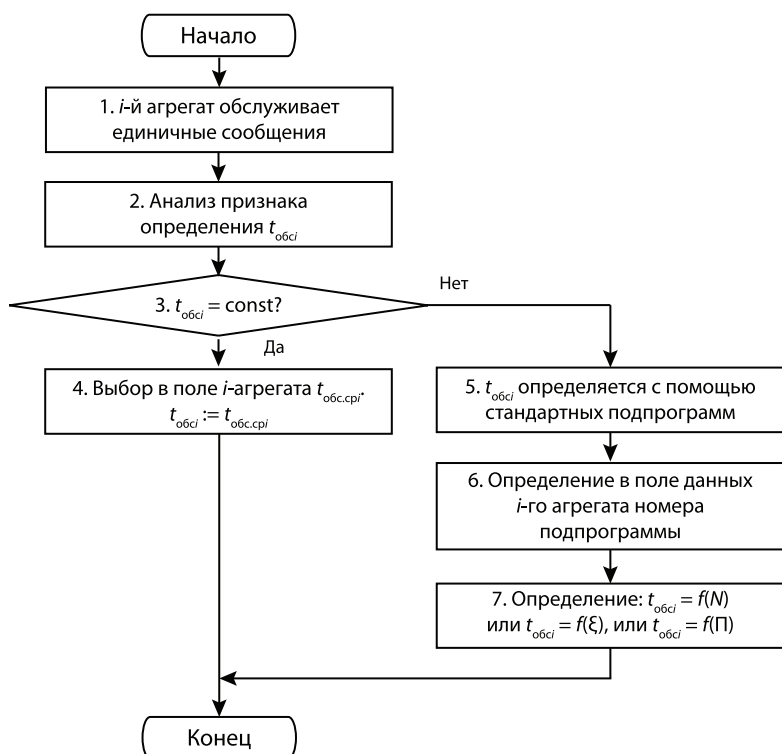
Р и с . 4.3. Алгоритм прогноза времени включения агрегатов

4.3.2. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ОБСЛУЖИВАНИЯ СООБЩЕНИЯ АГРЕГАТОМ

Алгоритм определения времени обслуживания сообщения агрегатом ($t_{обсi}$) работает в том случае, если время обслуживания на данной фазе определяется расчетной формулой и не может быть рассчитано заранее при подготовке исходных данных для моделирования. Время обслуживания для каждого агрегата либо записано в поле данных (таблице, сегменте памяти) агрегата (при $t_{обсi} = \text{const}$), либо определяется с помощью специальной подпрограммы, адрес или номер которой указывается в поле данных агрегата.

Для агрегата, имитирующего состояние простоя, время его обслуживания $t_{обсi} = T_m$, где T_m – время моделирования, в течение которого агрегат простоял.

Алгоритм определения времени обслуживания сообщения агрегатом $t_{обсi}$ представлен на рис. 4.4. Работа алгоритма начинается с анализа способа обслуживания сообщения агрегатом. В базовой версии СИМ предлагается реализовать способ обслуживания «единичными» сообщениями (оператор 1). Необходимо предусмотреть возможность (эта возможность реально существует) реализации способа обслуживания пакета сообщений.



Р и с . 4.4. Алгоритм определения времени обслуживания сообщения агрегатом

В случае обслуживания единичными сообщениями анализируется признак определения времени обслуживания агрегатом. Если время обслуживания сообщений агрегатом постоянное, т. е. $t_{\text{обс}i} = \text{const}$, тогда за время обслуживания сообщений принимается среднее время обслуживания $t_{\text{обс.ср}i}$, указанное в поле данных агрегата, т. е. $t_{\text{обс}i} := t_{\text{обс.ср}i}$ (операторы 2, 3, 4).

Если время обслуживания сообщений агрегатами определяется с помощью формул и других зависимостей (условий), в этом случае используется набор стандартных подпрограмм для определения $t_{\text{обс}i}$ (операторы 5, 6, 7). Для базового варианта СИМ предлагается следующий набор подпрограмм:

а) подпрограмма № 1: $t_{\text{обс}i} = f(N)$, т. е. время обслуживания i -м агрегатом определяется в зависимости от длины сообщения N следующим образом:

$$t_{\text{обс}i} = t_{\text{обс.ср}i} \frac{2N}{N_{\min i} + N_{\max i}},$$

где $t_{\text{обс.ср}i}$ – среднее время обслуживания сообщения i -м агрегатом;

N – количество знаков в обрабатываемом сообщении;

$N_{\min}, N_{\max}$ – диапазон изменения количества знаков в сообщении при обслуживании i -м агрегатом, для которого определено $t_{\text{обс.ср}i}$;

б) подпрограмма № 2: $t_{\text{обс}i} = f(\xi)$, т. е. время обслуживания i -м агрегатом является случайной величиной ξ и определяется следующим образом:

$$t_{\text{обс}i} = -t_{\text{обс.ср}i} \times \ln(\xi),$$

где ξ – случайное число, равномерно распределенное на участке $[0,1]$;

в) подпрограмма № 3: $t_{\text{обс}i} = f(\Pi)$, т. е. время обслуживания i -м агрегатом обуславливается состоянием i -го агрегата Π , где Π – признак блокировки (занятости) i -го агрегата, определяется следующим образом:

$$t_{\text{обс.ср}i} = \begin{cases} t_{\text{обс.ср}i} & \text{– агрегат заблокирован (занят), } \Pi = 1; \\ 0 & \text{– если агрегат свободен, } \Pi = 0. \end{cases}$$

Набор стандартных подпрограмм для определения $t_{\text{обс}i}$ является открытым и при необходимости может быть дополнен новыми подпрограммами.

4.3.3. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КВАНТА УСТРОЙСТВА

Основная функция данного алгоритма – определить непрерывное время нахождения устройства в одном из состояний обслуживания (простоя или обслуживания). Момент времени перехода из одного состояния в другое называется «особым» состоянием. «Особое» состояние вызывается включением агрегата, прерыванием его работы и окончанием работы агрегата. В каждый момент времени в устройстве может «работать» только один агрегат.

Квант j -го устройства Δt_{yj} определяется на основании прогноза возможного нахождения этого устройства в одном из состояний обслуживания – простоя или обслуживания. При определении кванта устройства Δt_{yj} :

а) определяется работающий агрегат с номером n_i из числа агрегатов, имеющих сигналы включения на текущий момент времени $\tau_{\text{тек}}$, согласно установленной их приоритетности;

б) определяется (прогнозируется) возможное непрерывное время работы этого агрегата $t_{\text{обс.}ni}^*$ следующим образом:

$$t_{\text{обс.}ni} = \begin{cases} t_{\text{обс.}ni} - \text{при отсутствии прерываний агрегатом высших приоритетных групп на интервале } [\tau_{\text{тек}}, \tau_{\text{тек}} + t_{\text{обс.}ni}]; \\ t_{\text{обс.}ni} + \tau_{\text{тек}} - t_{\text{вкл.}ni} - \text{при условии прерывания работы данного агрегата агрегатом высшей приоритетной группы с номером } n_i \text{ на интервале } [\tau_{\text{тек}}, \tau_{\text{тек}} + t_{\text{обс.}ni}]. \end{cases}$$

Квант устройства определяется следующим образом:

$$\Delta t_{yj} = t_{\text{обс.}ni}^*.$$

Алгоритм определения кванта устройства представлен на рис. 4.5.

Работа алгоритма заключается в следующем. Для каждого j -го устройства осуществляется анализ наличия сообщений в очереди на обработку для каждого агрегата этого устройства (оператор 1). Анализ осуществляется на основании признаков Π_{yj} , которые выставляются в поле данных устройства, если хотя бы к одному из агрегатов поступило сообщение на обслуживание, причем:

$$\Pi_{yj} = \begin{cases} 0 - \text{если } j\text{-е устройство в рабочем состоянии;} \\ 1 - \text{если } j\text{-е устройство заблокировано.} \end{cases}$$

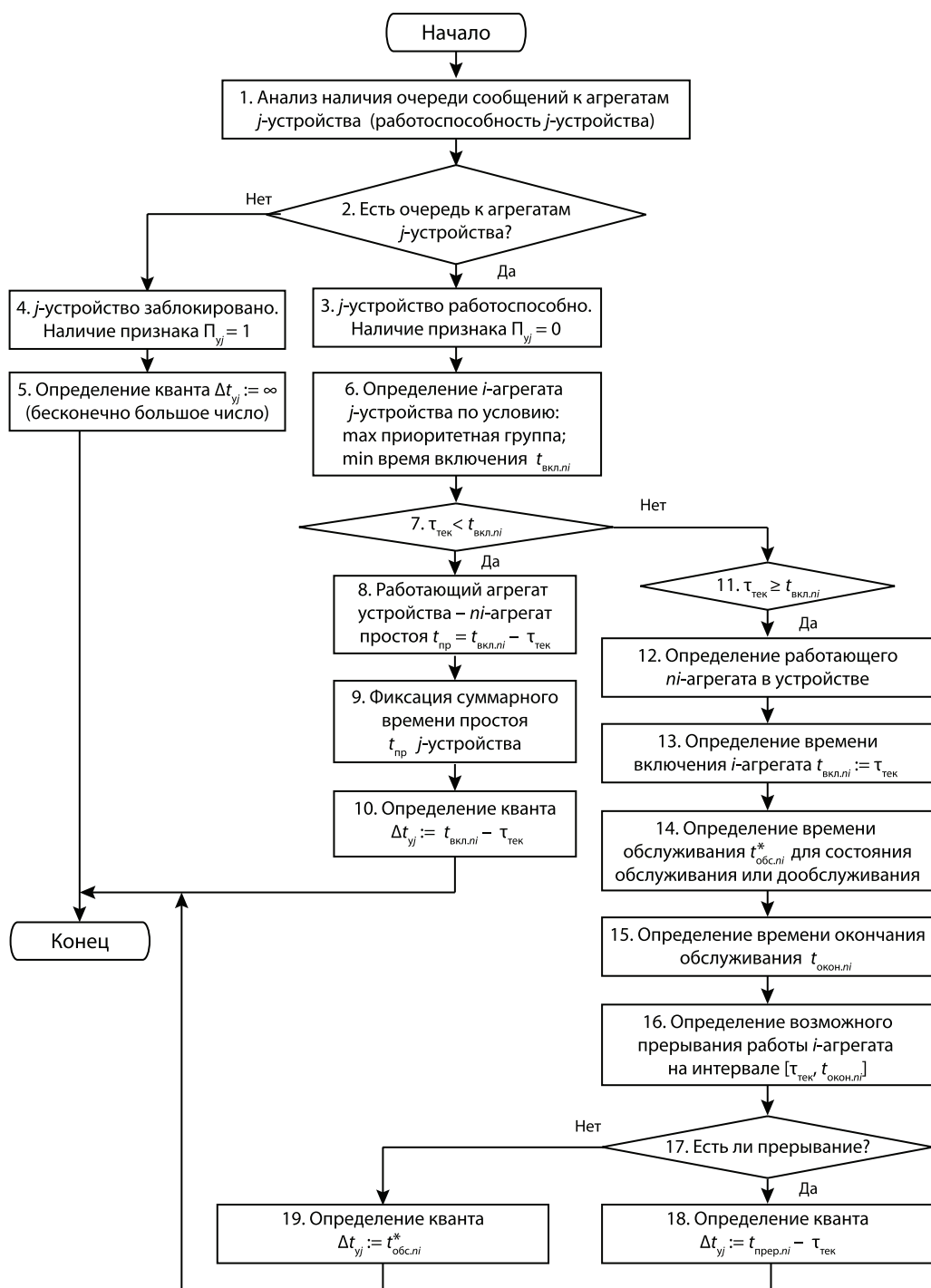
Если $\Pi_{yj} = 1$ (отсутствуют сообщения на обработку), квант j -го устройства Δt_{yj} определяется путем задания его бесконечно большим числом (∞), т. е. $\Delta t_{yj} := \infty$ (операторы 4, 5).

Если $\Pi_{yj} = 0$, устройство находится в рабочем состоянии. Из множества агрегатов $\{N\}$, у которых есть сигналы на включение, выбирается агрегат n_i максимальной приоритетной группы с минимальным временем включения в работу агрегата (при условии равных номеров агрегатов в приоритетной группе) (операторы 3, 6).

В случае если $\tau_{\text{тек}} < t_{\text{вкл.}ni}$ в работу агрегат не включается, в устройстве работает так называемый «фиктивный» агрегат, имитирующий состояние простоя устройства, назовем его агрегатом простоя. Информация о нем записывается в поле данных j -го устройства, там же суммируется статистика по времени простоя устройства. Квант устройства при этом определяется как:

$$\Delta t_{yj} := t_{\text{вкл.}ni} - \tau_{\text{тек}},$$

где $t_{\text{вкл.}ni}$ – время включения ni -го агрегата, выбранного из множества $\{N\}$ (операторы 8, 9, 10).



Р и с . 4.5. Алгоритм определения кванта устройства

Агрегат включается в работу, если текущее время моделирования $\tau_{\text{тек}}$ равно или превысило время включения агрегата $t_{\text{вкл.}ni}$. Такой агрегат назовем работающим агрегатом. Время включения работающего агрегата определяется как: $t_{\text{вкл.}ni} := \tau_{\text{тек}}$ (оператор 12, 13).

Время обслуживания $t_{\text{обс.}ni}$ работающего агрегата определяется в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 4.4.

Однако работа агрегата может быть охарактеризована как обслуживанием, так и дообслуживанием (после прерывания) сообщения (оператор 14). В этой связи вычисляется время окончания обслуживания $t_{\text{окон.}ni}$ сообщения агрегатом следующим образом (оператор 15):

$$t_{\text{обс.}ni} = \begin{cases} \tau_{\text{тек}} + t_{\text{обс.}ni} & \text{— если агрегат } ni \text{ находится в состоянии обслуживания;} \\ \tau_{\text{тек}} + t_{\text{дообс.}ni} & \text{— если агрегат } ni \text{ находится в состоянии дообслуживания.} \end{cases}$$

Так как в процессе работы агрегата на интервале $[\tau_{\text{тек}}, t_{\text{окон.}ni}]$ возможно прерывание его работы, такую ситуацию необходимо проверить (оператор 16). Блок определения прерывания работы агрегата является стандартным во всех ситуациях исследуемого процесса. Алгоритм работы блока определения прерываний представлен на рис. 4.6.

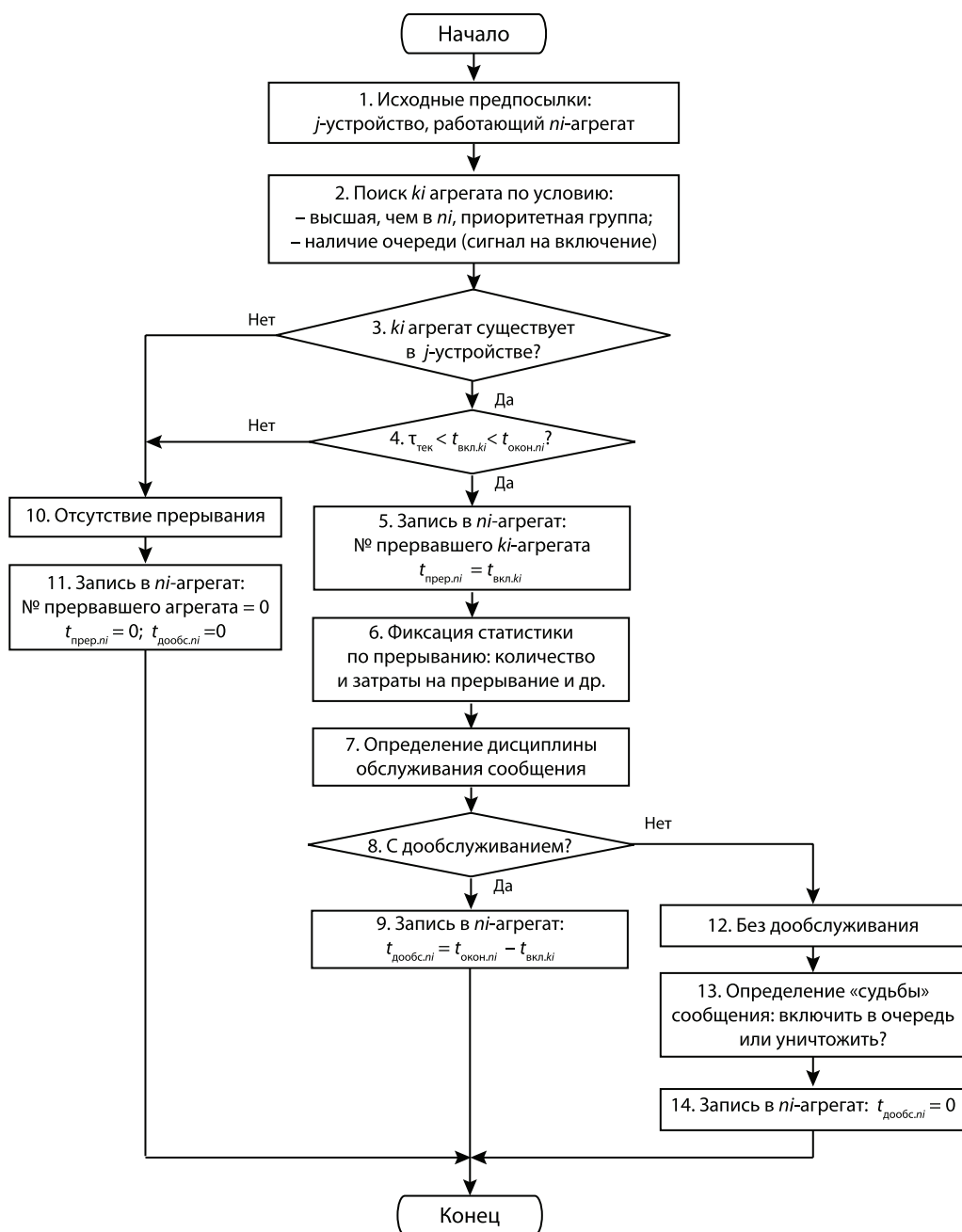
Далее, если прерывание работы агрегата произошло в момент $t_{\text{пер.}ni}$, квант устройства определяется как $\Delta t_{yj} = t_{\text{пер.}ni} - \tau_{\text{тек}}$ (оператор 18 рис. 4.5). Если прерывания не было, квант устройства определяется как: $\Delta t_{yj} = t_{\text{обс.}ni}^*$ (оператор 19).

Идея прерывания работы агрегата заключается в следующем (см. рис. 4.6). Прерывание работы агрегата в устройстве может осуществить только агрегат, имеющий высшую приоритетную группу чем работающий агрегат. В этой связи определяется: есть ли в составе устройства агрегат высшей приоритетной группы чем работающий агрегат и имеющий сообщение на обработку (сигнал включения). Если такого агрегата нет, то прерывание работающего агрегата не произойдет. При этом в поле работающего агрегата фиксируется: отсутствие прервавшего агрегата, время дообслуживания $t_{\text{дообс.}ni} = 0$, время прерывания $t_{\text{пер.}ni} = 0$ (операторы 3, 10, 11).

Если существует ki -агрегат из множества $\{N\}$ агрегатов j -го устройства, способный прервать работающий ni -агрегат j -го устройства, необходимо проверить: находится ли время включения ki -агрегата $t_{\text{вкл.}ki}$ в интервале работы работающего ni -агрегата $[\tau_{\text{тек}}, t_{\text{окон.}ni}]$, т. е. $\tau_{\text{тек}} < t_{\text{вкл.}ki} < t_{\text{окон.}ni}$ (оператор 4).

Если $t_{\text{вкл.}ki} \geq t_{\text{окон.}ni}$ (т. е. включение ki -агрегата произойдет после окончания работы ni -агрегата) или $t_{\text{вкл.}ki} \leq \tau_{\text{тек}}$, прерывания не произойдет (операторы 4, 10, 11).

Если условие $\tau_{\text{тек}} < t_{\text{вкл.}ki} < t_{\text{окон.}ni}$ выполняется, то в момент времени $t_{\text{вкл.}ki}$ происходит прерывание работы ni -агрегата агрегатом ki , т. е. время прерывания $t_{\text{пер.}ni} = t_{\text{вкл.}ki}$. В поле данных работающего ni -агрегата записывается номер прервавшего ki -агрегата и фиксируются необходимые статистические данные по прерыванию: суммируется количество прерываний, определяются временные затраты на прерывание (операторы 4, 5, 6).



Р и с . 4.6. Алгоритм определения прерывания работы агрегата

При прерывании операции (работающего ni -агрегата) возможны следующие случаи ее продолжения:

а) с дообслуживанием, при этом определяется время дообслуживания работающего ni -агрегата $t_{\text{дообс.}ni}$ следующим образом:

$t_{\text{дообс.}ni} = t_{\text{окон.}ni} - t_{\text{вкл.}ki}$ и запись $t_{\text{дообс.}ni}$ в поле данных ni -агрегата (операторы 7, 8, 9);

б) без дообслуживания, при этом $t_{\text{дообс.}ni} = 0$ (операторы 12, 14). В таком случае необходимо решить дальнейшую «судьбу» обрабатываемого ni -агрегатом сообщения. В соответствии с реалиями исследуемого процесса оно может пойти на повторную обработку, оставшись первым в очереди, либо его необходимо включить в конец очереди для повторной обработки (оператор 13). Если его актуальность исчезла, дальнейшая его обработка не имеет смысла, сообщение исключается из очереди и «уничтожается», поле данных такого сообщения (сегмент памяти) освобождается. При этом в поле данных ni -агрегата суммируется количество уничтоженных сообщений.

4.3.4. АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КВАНТА СИСТЕМЫ

Квант системы ΔT_c на текущий момент времени $\tau_{\text{тек}}$ определяется на основании рассчитанных квантов параллельно работающих устройств по принципу:

$$\Delta T_c = \min_{j \in N}(\Delta t_{yj}),$$

где N – общее количество параллельно работающих устройств.

Время ΔT_c характеризует длительность «особого» состояния системы и служит для прогнозирования момента наступления следующего «особого» состояния:

$$\tau_{\text{тек}} := \tau_{\text{тек}} + \Delta T_c.$$

Алгоритм определения кванта системы ΔT_c тривиальный. Он реализует принцип выбора минимального кванта устройства из всех работающих в системе устройств.

4.3.5. АЛГОРИТМЫ ЗАВЕРШЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ СООБЩЕНИЙ АГРЕГАТАМИ

Стоит отметить, что это один из самых сложных блоков моделирующего алгоритма и управляющей программы моделирования. Основная функция блока – прогноз изменений в моделируемой системе и их реализация в момент времени $\tau_{\text{тек}}$.

В системе моделирования выделено два основных режима завершения работы агрегата:

- по прерыванию;
- по полному окончанию обслуживания.

При завершении работы агрегата по прерыванию основная задача – выявить момент времени прерывания работы агрегата $t_{\text{пер.}ni}$ и определить необходимое

время дообслуживания $t_{\text{дообсл.лп}}$ (если принят принцип работы агрегата с дообслуживанием). Алгоритм определения прерывания и завершения работы агрегата по прерыванию приведен на рис. 4.6.

Второй режим характеризуется полным обслуживанием единичного сообщения работающим агрегатом. При этом действия по завершению зависят от места и назначения агрегата в технологической цепочке (входной, выходной, промежуточный, агрегат простоя). В общем случае в момент $\tau_{\text{тек}}$ при завершении каждого из указанных агрегатов могут выполняться следующие действия:

- контроль завершения моделирования;
- единичное генерирование сообщений на вход системы;
- исключение сообщения из очереди;
- уничтожение сообщения;
- порождение сообщений;
- определение дальнейшего маршрута и передача сообщения;
- включение сообщения в очередь;
- изменение приоритетности агрегатов;
- набор и обработка статистических данных.

Перечень алгоритмов действий завершения обслуживания сообщений работающими агрегатами конкретного типа приведен в табл. 4.1.

Алгоритм контроля завершения моделирования предназначен для определения продолжительности эксперимента, контроля его завершения и остановки модели. Продолжительность эксперимента задается одним из трех способов:

1) задается момент времени завершения моделирования T_m ; в этом случае размер выборки не предсказуем (размер выборки, т. е. число реализаций модели, влияет на точность результатов моделирования);

2) задается число сообщений, поступающих на вход модели; в этом случае можно управлять размером выборки;

3) задается число сообщений, обрабатываемых системой, т. е. число реализаций; в этом случае не всегда может закончиться эксперимент.

Таблица 4.1

Завершение обслуживания сообщений агрегатами на момент времени $\tau_{\text{тек}}$

Стандартные алгоритмы действий	Агрегат, завершающий обслуживание сообщения			
	Входной	Промежуточный	Выходной	Агрегат простоя
1. Контроль завершения моделирования	+	+	+	+
2. Единичное генерирование сообщений на вход системы	+			
3. Исключение сообщения из очереди	+	+	+	

Стандартные алгоритмы действий	Агрегат, завершающий обслуживание сообщения			
	Входной	Промежуточный	Выходной	Агрегат простоя
4. Уничтожение сообщения		+		
5. Порождение сообщений		+		
6. Определение дальнейшего маршрута и передача сообщения	+	+		
7. Включение сообщения в очередь				
8. Изменение приоритетности агрегатов		+	+	
9. Набор и обработка статистических данных	+	+	+	+

В системе имитационного моделирования предлагается реализовать наиболее часто применяемый в практике моделирования способ завершения моделирования по времени T_m .

При этом условия проведения эксперимента следующие:

если $\tau_{\text{тек}} < T_m$ – эксперимент продолжается;

если $\tau_{\text{тек}} \geq T_m$ – остановка модели.

Корректировка $\tau_{\text{тек}}$ осуществляется всякий раз после определения кванта системы ΔT_c следующим образом:

$$\tau_{\text{тек}} := \tau_{\text{тек}} + \Delta T_c.$$

Алгоритм единичного генерирования сообщений на вход системы – это составная часть алгоритма генерации входных потоков (см. рис. 4.2).

Режим единичного генерирования является основным режимом генерации входных потоков. В этом режиме генерация сообщения осуществляется по запросу входного ni -агрегата.

Алгоритм исключения сообщения из очереди к агрегату заключается в следующем. Рассматриваются два состояния обслуживания: сообщение обслужилось частично (зафиксировано прерывание) и обслужилось полностью. В первом случае работу завершает алгоритм обслуживания прерывания (см. рис. 4.6). В случае полного обслуживания сообщения определяются и фиксируются (обрабатываются) в поле данных сообщения статистические данные по обслуженному сообщению $z_{\text{обс.лп}}$, а именно, время ожидания обслуживания на данной фазе обслуживания $t_{\text{ож.обс.з}}$, суммарное время ожидания обслуживания $\sum_{z=1}^Z t_{\text{ож.обс.з}}$, время поступления сообщения на дальнейшую обработку $t_{\text{пост.з}}$. Исключение из очереди осуществляется путем корректировки ассоциативных связей агрегатов в списке и длины очереди l_z сообщений к ni -агрегату.

Алгоритм уничтожения сообщения работает в случае, если произошло прерывание обслуживания сообщения $z_{\text{обс.}ni}$, а принята дисциплина обслуживания – без дообслуживания. Сообщение $z_{\text{обс.}ni}$ может быть включено в очередь к ni -агрегату на повторную обработку или уничтожено (исключено из очереди с последующим удалением из сегмента памяти) по причине потери его актуальности. При этом фиксируется в поле данных ni -агрегата суммарное количество уничтоженных сообщений.

Алгоритм порождения сообщений предполагает «размножение» (тиражирование) сообщений в результате завершения фазы обслуживания (работы ni -агрегата).

Алгоритм определения дальнейшего маршрута и передача сообщения представлены на рис. 4.7.

Основное назначение алгоритма – определить дальнейший маршрут сообщения, осуществить процедуру его передачи и обработать статистические данные обслуженного сообщения и работающего ni -агрегата. Прежде определяется суммарное количество обслуженных сообщений $z_{\text{обсл.}ni}$ и фиксируется в поле данных ni -агрегата (оператор 1). Алгоритм является продолжением действий после исключения обслуженного сообщения $Z_{\text{обс.}ni}$ из входной очереди работающего ni -агрегата (входного или промежуточного) при условии, что сообщение $Z_{\text{обс.}ni}$ в системе не уничтожается, а передается на обработку по дальнейшему маршруту (оператор 2).

В СИМ предлагается реализовать следующие принципы передачи:

- передача к агрегатам по списку;
- передача к одному агрегату по типу сообщения;
- передача к одному агрегату по срочности сообщения (операторы 3, 4, 5, 6).

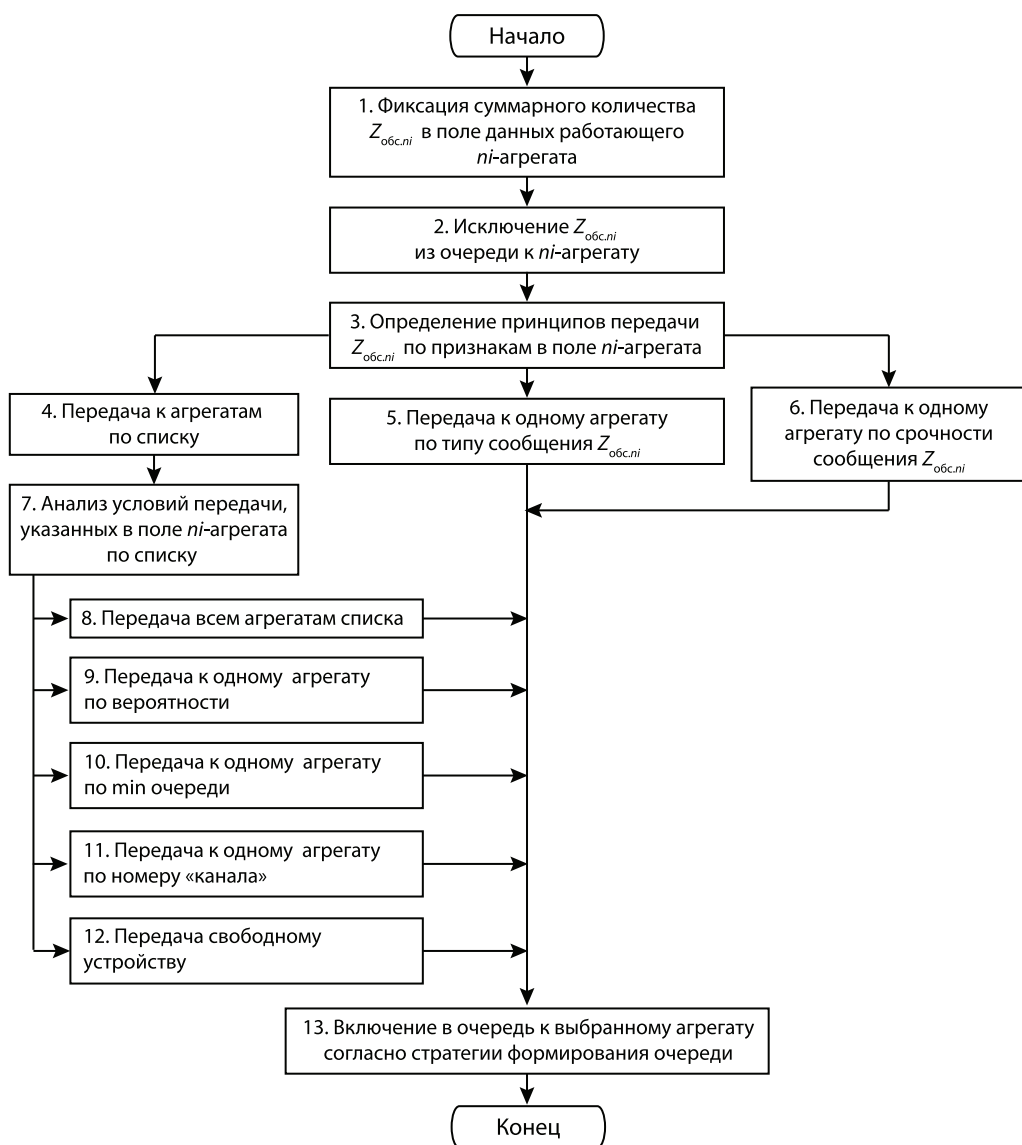
При передаче сообщения по списку возможны следующие случаи:

а) передача ко всем агрегатам списка (операторы 7, 8). При этом просматриваются все элементы списка, основным содержанием которого является номер устройства и номер агрегата для передачи. Если элементов списка $k > 1$, в этом случае сообщение тиражируется по количеству элементов списка (выделяются сегменты памяти и записываются параметры сообщения) и далее – включение сообщения к агрегатам по списку;

б) передача к одному агрегату по вероятности (оператор 9). При этом получаем случайное число ξ . Анализируем вероятности передачи к агрегату P_k , указанные в k -м элементе списка. Если $\xi < P_k$ – происходит передача сообщения, в противном случае корректируется $\xi := \xi + P_k$ и сравнивается $\xi < P_k + 1$;

в) передача к одному агрегату списка по критерию минимальной очереди (оператор 10). При этом из списка выбираются номера устройства и агрегата, имеющие минимальную входную очередь;

г) передача по номеру «канала» (оператор 11). Из списка выбирается номер агрегата, имитирующий прием сообщения от канала, указанного в элементе списка. В структуре сообщения указан номер входного агрегата (канала), по которому оно поступило;



Р и с . 4.7. Алгоритм определения дальнейшего маршрута и передача сообщения

д) передача свободному устройству (оператор 12). При этом по списку устройств на передачу осуществляется поиск свободного устройства (не занятого обработкой). Если есть свободное устройство – осуществляется передача, если нет – сообщение снова включается в очередь, корректируется длина очереди, в сообщении фиксируется время поступления в очередь, корректируется количество обслуженных и переданных сообщений в агрегате.

Алгоритм включения сообщения в очередь к агрегату заключается в следующем. Определяются стратегии включения сообщения $z_{\text{обс.}ni}$ в очередь. Очередь может быть организована:

- с упорядочиванием по времени поступления (последнее поступившее сообщение становится в конец очереди или поступившее сообщение становится в начало очереди);
- с упорядочиванием по времени поступления и срочности;
- с упорядочиванием по специальному признаку или метке в сообщении.

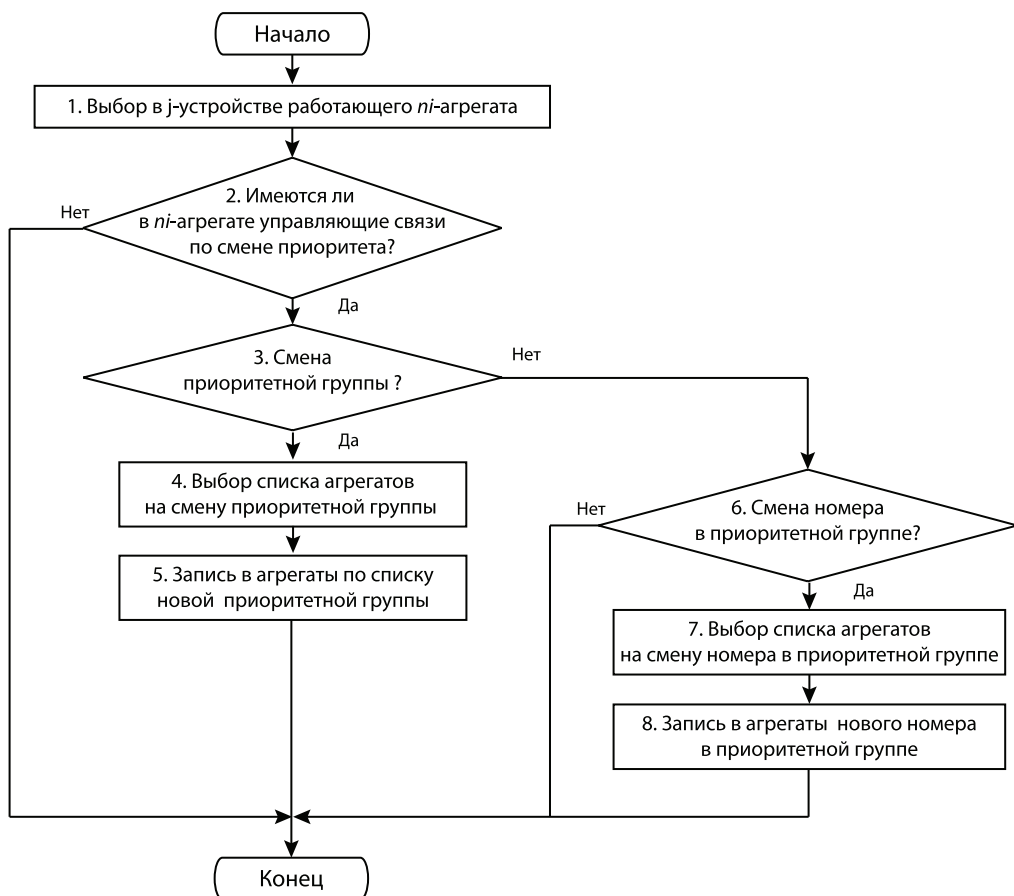
При работе агрегата выбирается на обслуживание всегда первое сообщение в очереди.

В случае включения сообщения в его поле данных фиксируется время поступления сообщения $t_{\text{пост.}i} = \tau_{\text{тек}}$, корректируются ассоциативные связи агрегатов в списке и длина очереди lz сообщений, выставляется признак готовности к работе устройства.

Алгоритм изменения приоритетности агрегатов реализует механизм смены номеров приоритетных групп агрегатов и номеров агрегатов в приоритетных группах в динамике моделирования. Такая смена может быть осуществлена в момент времени $\tau_{\text{тек}}$ по результатам работающего ni -агрегата путем последовательного просмотра и изменения приоритетности устройств и агрегатов.

Алгоритм изменения приоритетов агрегатов представлен на рис. 4.8. Он работает следующим образом. Для каждого устройства определяется работающий ni -агрегат (оператор 1), который может иметь или не иметь управляющие связи по смене приоритетов. Если такие связи существуют, определяется вид этих связей. Различаются связи по смене приоритетных групп и связи по смене номера агрегата в приоритетной группе. Определяются списки агрегатов, которым надлежит сменить приоритетную группу (операторы 2, 3, 4) или номера в приоритетных группах (операторы 2, 3, 6, 7).

Для каждого элемента списка агрегатов определяется и в его поле данных записывается новый номер приоритетной группы (оператор 5) или номер агрегата в приоритетной группе (оператор 8).



Р и с . 4.8. Алгоритм изменения приоритетности агрегатов

4.4. АЛГОРИТМЫ СБОРА, ОБРАБОТКИ И ВЫДАЧИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

4.4.1. АЛГОРИТМ СБОРА И ОБРАБОТКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Алгоритм сбора и обработки статистических данных представляет собой набор стандартных подпрограмм, реализующих определенные задачи математической статистики, которая рассматривает вопросы разработки методов сбора, описания и обработки результатов экспериментов с целью изучения различных случайных явлений.

Большинство параметров, характеризующих процессы таможенного контроля, являются случайными величинами или случайными функциями. Определить набор параметров, установить законы распределения и определить числовые (вероятностные) характеристики процесса с целью определения эффективности исследуемой системы таможенного контроля – основная задача алгоритма сбора и обработки статистических данных – результатов моделирования. Для оценки эффективности функционирования системы таможенного контроля используются показатели, конкретный вид которых определяется состоянием системы и задачей исследования. Так, например, при исследовании системы на соответствие требованиям по временным параметрам наиболее употребительными показателями эффективности являются: вероятность решения задач за заданное время, время (минимальное, максимальное среднее) обслуживания и ожидания обслуживания сообщения в очередях, длины очередей и т. п. При исследовании надежности характеристик системы важными показателями эффективности являются: число обслуженных и уничтоженных (или) получивших отказ в обслуживании сообщений, вероятность отказа в обслуживании. Этот показатель определяет, в какой степени система таможенного контроля способна удовлетворить поступающий поток сообщений с учетом надежности средств (технических, программных, информационных, методических) системы. К показателям эффективности по данному направлению следует также отнести суммарное время работы агрегатов, имитирующих неисправность технических и программных средств, и несостоятельность методического обеспечения для конкретных проблемных ситуаций таможенного контроля. Степень загрузки системы таможенного контроля и ее элементов характеризуется длинами очередей на обработку, временами работы и простоя устройств, агрегатов и др.

Исследователь в зависимости от цели исследования выбирает конкретные показатели, планирует сбор и соответствующую обработку статистических данных в процессе имитационного эксперимента.

Учитывая специфику исследований, на которую ориентирована специализированная СИМ, для оценки эффективности таможенного контроля в системе моделирования может быть предусмотрен сбор и обработка следующих статистических данных:

- а) по моделируемой системе таможенного контроля в целом:
 - общее количество сообщений, поступивших ($n_{\text{пост}}$), обслуженных ($n_{\text{обс}}$) и получивших отказ в обслуживании системой ($n_{\text{отк}}$);
 - общее количество сообщений k -го типа, поступивших ($n_{\text{пост}}^k$), обслуженных ($n_{\text{обс}}^k$) и получивших отказ в обслуживании системой ($n_{\text{отк}}^k$);
 - время обслуживания сообщений в системе – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{обс.min}}, t_{\text{обс.max}}, t_{\text{обс}}$);
 - время обслуживания сообщений k -го типа в системе – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{обс.min}}^k, t_{\text{обс.max}}^k, t_{\text{обс}}^k$);

- время ожидания обслуживания сообщений в системе – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{ож.обс. min}}, t_{\text{ож.обс. max}}, t_{\text{ож.обс}}$);
- время ожидания обслуживания сообщений k -го типа в системе – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{ож.обс. min}}^k, t_{\text{ож.обс. max}}^k, t_{\text{ож.обл}}^k$);
- время ожидания передачи на обслуживание сообщений в системе – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{ож.пер. min}}, t_{\text{ож.пер. max}}, t_{\text{ож.пер}}$);
- время ожидания передачи на обслуживание сообщений k -го типа в системе – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{ож.пер. min}}^k, t_{\text{ож.пер. max}}^k, t_{\text{ож.пер}}^k$);
- б) по каждому j -му устройству (процессу, функции таможенного контроля):
 - время работы ($t_{\text{раб.}j}$) и простоя ($t_{\text{прос.}j}$);
 - время, затрачиваемое на обслуживание прерываний агрегатами j -го устройства ($t_{\text{пр.}j}$);
 - в) по каждому i -му агрегату j -го устройства (операции, фазе, этапу процесса):
 - количество сообщений, поступивших ($n_{\text{пост.}ij}$), обслуженных ($n_{\text{обс.}ij}$) и получивших отказ в обслуживании агрегатом ($n_{\text{отк.}ij}$);
 - количество сообщений k -го типа, поступивших ($n_{\text{пост.}ij}^k$), обслуженных ($n_{\text{обс.}ij}^k$) и получивших отказ в обслуживании агрегатом ($n_{\text{отк.}ij}^k$);
 - время обслуживания сообщений агрегатом – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{обс.}ij}^{\text{min}}, t_{\text{обс.}ij}^{\text{max}}, t_{\text{обс.}ij}$);
 - время обслуживания сообщений k -го типа агрегатом – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{обс. min.}ij}^k, t_{\text{обс. max.}ij}^k, t_{\text{обс.}ij}^k$);
 - длины очередей на обслуживание к агрегату;
 - времена работы ($t_{\text{раб.}ij}$) и простоя ($t_{\text{прос.}ij}$) агрегата;
 - общее количество прерываний по агрегату ($n_{\text{пр.}ij}$);
 - время ожидания обслуживания сообщений в очереди к агрегату – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{ож.обс.}ij}^{\text{min}}, t_{\text{ож.обс.}ij}^{\text{max}}, t_{\text{ож.обс.}ij}$);
 - время ожидания обслуживания сообщений k -го типа в очереди к агрегату – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{ож.обс. min.}ij}^k, t_{\text{ож.обс. max.}ij}^k, t_{\text{ож.обс.}ij}^k$);
 - время ожидания передачи на обслуживание сообщений к агрегату – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{ож.пер. min}}, t_{\text{ож.пер. max}}, t_{\text{ож.пер}}$);
 - время ожидания передачи на обслуживание сообщений k -го типа к агрегату – минимальное, максимальное, среднее ($t_{\text{ож.пер. min.}ij}^k, t_{\text{ож.пер. max.}ij}^k, t_{\text{ож.пер.}ij}^k$).

Для случайных величин, характеризующих времена обслуживания, ожидания обслуживания и ожидания передачи на обслуживание сообщений как по системе в целом, так и на отдельных агрегатах (операциях), могут быть решены задачи определения:

- а) закона распределения случайных величин;
- б) числовых (вероятностных) оценок случайных величин.

Для решения задачи определения закона распределения случайной величины x необходимо построить статистический ряд случайных величин, который позво-

лит получить статистическую плотность распределения $\varphi(x)$, график которой называется гистограммой.

Построение гистограммы осуществляется следующим образом. По оси абсцисс в некотором масштабе откладываем выбранные интервалы изменения случайной величины $x_{\min}, x_{\max}$ и на каждом из них, как на основании, строим прямоугольник, площадь которого равна частоте попадания полученных результатов измерений в данный интервал. Для этого частоту попадания делим на длину соответствующего интервала и полученное число принимаем за высоту прямоугольника, которую в том или ином масштабе откладываем по оси ординат. Таким образом, статистическая плотность распределения представляет собой функцию, ординаты которой в пределах интервалов разбиения результатов измерений постоянны и определяются соотношением:

$$\varphi(x_i) = \frac{p_i}{\Delta x},$$

где p_i – частота попадания полученных результатов измерений в i -й интервал;
 Δx – длина интервала.

Графически гистограмма представляет собой столбчатую диаграмму. Здесь необходимо удачно выбрать диапазон разбиения результатов измерения при составлении статистического ряда. Неудачное разбиение наглядно проявляется при построении гистограммы: она либо будет иметь провалы, либо будет невыразительной. Число интервалов должно быть не слишком большим (иначе частоты p_i будут проявлять незакономерные колебания), но и не слишком малы (иначе статистический ряд будет грубо представлять действительное распределение случайной величины). Учитывая это, обычно диапазон полученных результатов измерений разбивают на 10–20 интервалов одинаковой длины (хотя это не является обязательным).

Построение статистической функции распределения или гистограммы является первым этапом решения задачи определения закона распределения исследуемой случайной величины.

Следующим этапом решения данной задачи является аппроксимация полученных функций непрерывными кривыми, т. е. приближенное представление закона распределения в аналитическом виде. Отметим, что в базовой версии СИМ решение такой задачи не предусматривается.

Определение математического ожидания M_x (как среднего статистического значения) случайной величины x осуществляется следующим образом:

$$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

где n – количество реализаций случайной величины x ;
 x_i – значение случайной величины i -й реализации.

Используя данные статистического ряда (гистограммы) математическое ожидание M_x можно представить следующим образом (упрощенный способ):

$$M_x = \sum_{j=1}^m x_{\text{срj}} \times p_j ,$$

где m – число интервалов;

p_j – частота попадания результатов измерения случайной величины x в j -й интервал:

$$p_j = \frac{n_j}{n} \text{ (здесь } n \text{ – общее число реализаций, } n_j \text{ – число реализаций в } j\text{-м интервале);}$$

$x_{\text{срj}}$ – координата середины j -го интервала.

Определение дисперсии D_x (среднего квадратичного отклонения) случайной величины x определяется следующим образом. Для n независимых реализаций случайной величины x , которая в каждой реализации принимает значение $x_1, x_2, \dots, x_n$, значение дисперсии D_x равно:

$$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 ,$$

где M_x – математическое ожидание случайной величины x .

Однако область применения этой формулы для D_x ограничена и применима, когда математическое ожидание исследуемых случайных величин известно заранее. В наиболее типичных для практики задачах математические ожидания оказываются неизвестными. Так как блок обработки статистики базового варианта СИМ позволяет строить статистические ряды неизвестных величин (гистограммы), то может быть применен упрощенный способ определения дисперсии и математического ожидания случайной величины x . Сущность способа заключается в том, что результаты группируем по интервалам, т. е. представляем их в виде статистического ряда, а искомые числовые характеристики определяем следующим образом:

$$M_x = \sum_{j=1}^m x_{\text{срj}} \times p_j ,$$

$$D_x = \sum_{j=1}^m (x_{\text{срj}} - M_x)^2 \times p_j = \sum_{j=1}^m x_{\text{срj}}^2 \times p_j - M_x^2 ,$$

где m – число интервалов;

p_j – частота попадания результатов измерения в j -й интервал;

$x_{\text{срj}}$ – координата середины j -го интервала.

Построение гистограмм случайных величин, выраженных временами обслуживания, ожидания обслуживания, ожидания передачи сообщений, а также определение их числовых (вероятностных) оценок в СИМ производятся в процессе моделирования, а выдача результатов моделирования осуществляется в соответствии с алгоритмом, представленным ниже.

Сбор и обработка статистических данных по устройству и агрегату (времена работы и простоя, длины очередей, количество обслуженных и необслуженных сообщений, количество прерываний и т. п.) производятся в процессе моделирования и корректируются всякий раз после определения временного кванта системы ΔT_c и текущего времени моделирования $\tau_{\text{тек}}$.

Для анализа работы исследуемой системы по статистическим данным устройств, агрегатов целесообразно проводить временные сечения состояния системы с интервалом ΔT_m .

Выдача результатов моделирования осуществляется по специальному алгоритму выдачи результатов моделирования в зависимости от заданных режимов выдачи.

4.4.2. АЛГОРИТМ ВЫДАЧИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

При моделировании предусмотрены следующие режимы выдачи результатов (рис. 4.9):

- режим слежения;
- режим выдачи сечений исследуемого процесса;
- обычный режим выдачи результатов.

Первый режим (режим слежения) предусматривает выдачу данных о течении процесса по «особым состояниям» моделируемой системы. Данный режим предполагает полную выдачу сведений о состоянии системы (устройств и агрегатов), в том числе состоянии информационных и управляющих воздействий, направленных на изменение состояния других агрегатов (операторы 1, 2, 3, 13). Такой режим, как правило, применяется при отладке комплекса программных средств СИМ в режиме «прокрутки» и пробных прогонах модели для установления начальных условий модели и иных ее параметров.

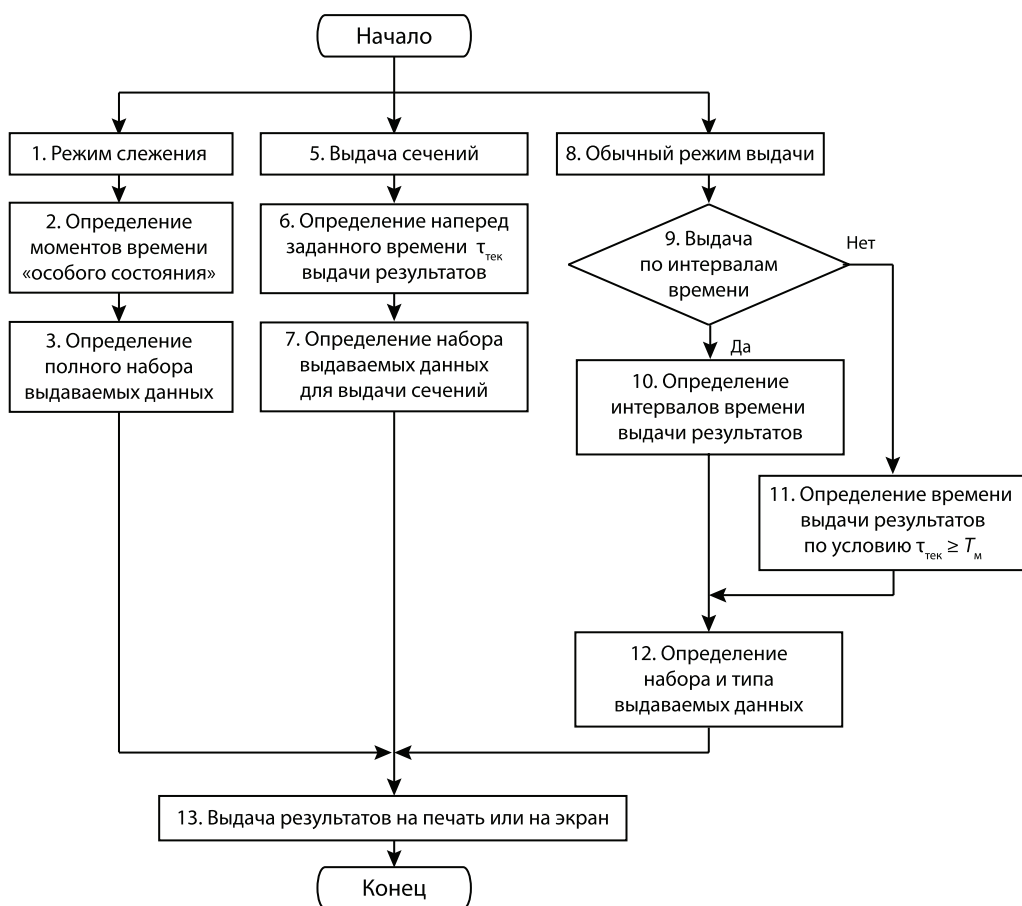
Режим выдачи сечений предусматривает полную выдачу сведений о состоянии исследуемой системы на определенное, наперед заданное время $\tau_{\text{тек}}$ моделирования (операторы 5, 6, 7, 13).

Обычный режим предусматривает выдачу заданного набора результатов моделирования в процессе (оператор 8, 9, 10, 12, 13) или по окончании моделирования системы при $\tau_{\text{тек}} \geq T_m$ (операторы 11, 12, 13).

В данном режиме предусмотрены два типа выдачи результатов: полная выдача и выдача в виде гистограмм (операторы 12, 13).

Таким образом, рассмотренные алгоритмы и их апробация при построении частных имитационных моделей технологий таможенного контроля [5] показывают, что разработанные алгоритмы могут быть использованы при создании программного комплекса специализированной системы имитационного моделирования процессов таможенного контроля. Ее использование в науке и практике таможенного контроля должно обеспечить:

- системный подход к решению вопросов организации системы таможенного контроля;



Р и с . 4.9. Алгоритм выдачи результатов моделирования

- четкую координацию и увязку выполнения процессов и операций таможенного контроля по ресурсам, срокам и исполнителям;
- простоту и точность управления процессом таможенного контроля и выполнения его задач;
- возможность оперативной корректировки форм, методов и средств таможенного контроля в зависимости от складывающейся обстановки.

Все это определяет важность создания специализированных инструментальных средств имитационного моделирования процессов таможенного контроля и их применение для решения проблем повышения эффективности таможенного контроля.

Глава 5

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

5.1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ В СРЕДЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В системных исследованиях сложных объектов имитационное моделирование достаточно успешно применяется в случаях:

- если идет процесс изучения поведения объекта, однако еще не существует законченная постановка задачи исследования (имитационная модель в этой ситуации служит средством познания объекта или явления);
- если кроме оценки влияния параметров объекта на результат его деятельности возникает необходимость наблюдения за поведением объекта или его элементов в течение определенного периода времени (имитационная модель позволяет «сжать» масштаб времени и получить требуемые данные);
- если изучаются новые ситуации в сложной системе, о которых мало что известно или неизвестно ничего (в этом случае имитация служит для предварительной проверки новых стратегий и правил принятия решений перед проведением экспериментов на реальной системе);
- если необходимо определить и исследовать «узкие места» или другие проблемы в функционировании системы.

Исследование системы таможенного контроля методом имитационного моделирования представляет собой итерационный процесс построения и корректировки модели, исследования и определения параметров и показателей модели системы, оценки ее поведения с точки зрения поставленной цели. Методологическая схема имитационного моделирования процессов таможенного контроля с использованием

аппарата специализированной системы имитационного моделирования включает ряд этапов, последовательность которых представлена на рис. 5.1.

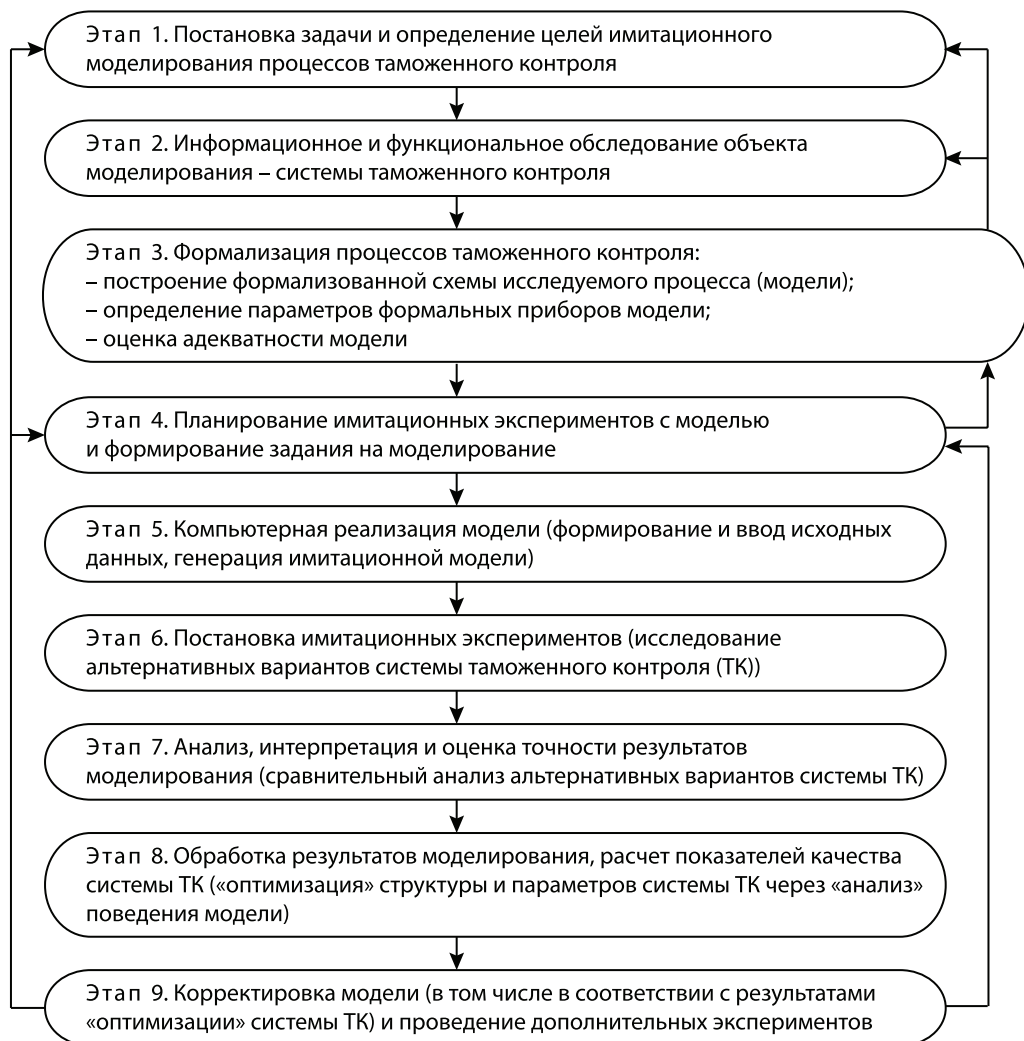


Рис. 5.1. Методологическая схема имитационного моделирования процессов таможенного контроля в среде специализированной системы имитационного моделирования

Рассмотрим содержание работ на этапах моделирования.

Этап 1. Постановка задачи и определение целей моделирования. Вербально общую постановку задачи моделирования процессов таможенного контроля сформулируем следующим образом.

Для заданных вариантов технологий таможенного контроля, параметров ВЭД, целей, задач и функций таможенного контроля, управляющих и информационных

связей между элементами системы (процессами, операциями), информационно-технических, технологических и методических ресурсов системы, *необходимо* построить имитационную модель и осуществить ее экспериментальное исследование, *с целью* определения количественных и качественных параметров и показателей технологии таможенного контроля, характеризующих его качество в конкретных условиях (внешних и внутренних).

Э т а п 2. Информационное и функциональное обследование системы таможенного контроля. В процессе обследования системы определяются релевантные факторы, параметры, процессы и операции (т. е. наиболее существенные с точки зрения поставленной цели), связи и характер взаимодействия между ними, а также релевантные взаимодействия с внешней средой (внешние информационные и управляющие элементы и связи). На этом этапе осуществляется содержательное описание исследуемых процессов таможенного контроля. Здесь же решается вопрос об уровне детализации модели в соответствии с поставленной целью моделирования и целесообразностью дальнейшей детализации исследуемых процессов.

Следует обратить внимание, что вопрос об уровне детализации модели имеет особое значение и встает в связи с постановкой цели исследования объекта. Содержательное описание процесса таможенного контроля может быть проведено на макро- и микроуровнях. Макроуровень связан с решением задач эффективности таможенного контроля и определением реакции системы на внешние условия (например, экономическая и политическая ситуация в стране, таможенная политика в области таможенного регулирования и др.). Микроуровень соответствует тактике деятельности таможенных органов по реализации процессов и операций таможенного контроля. На этом уровне, как правило, проводятся исследования с целью совершенствования методов, форм и операций таможенного контроля с учетом, как правило, ограниченных ресурсов таможенных органов.

Э т а п 3. Формализация процессов таможенного контроля и построение формализованной схемы исследуемого процесса, т. е. структурной имитационной модели. Для проведения таких работ предлагается использовать инструмент формализации процессов таможенного контроля на базе агрегатного подхода по схеме «система – устройство – агрегат». При этом определяются параметры формальных приборов обслуживания.

Для «системы» определяются функции и процессы таможенного контроля. Здесь под процессом понимается тесная связь закономерно следующих друг за другом операций (фаз обработки сообщений), представляющих непрерывное единое движение к достижению цели (выполнению функций, задач) таможенного контроля.

Для «устройств» устанавливаются условия и приоритетность включения агрегатов (т. е. приоритетность выполнения операций в процессе) по комбинированной схеме.

Для «агрегатов» определяются информационные и управляющие параметрические связи, условия включения и выключения (формируются ключевые слова),

времена обслуживания агрегатов или условия их получения в модели, способы и дисциплины обслуживания, способы формирования очередей и принципы выборки из них. Определяются связи формальных приборов с окружающей средой. В соответствии с принятым агрегатным подходом к формализации процессов таможенного контроля при построении моделирующего алгоритма в качестве механизма имитации процессов таможенного контроля предлагается использовать рассмотренный метод повременного моделирования со случайным шагом (моделирование по «особым» состояниям). На этом этапе задаются параметры входных сообщений. Здесь под «сообщением» будем понимать определенное количество информации, поступающее в систему таможенного контроля, проходящее через нее и требующее «обслуживания» (сведения о товаре, о транспортном средстве, об участниках ВЭД, сведения о ресурсах (нормативная правовая база, методы, средства, формы таможенного контроля и др.). Обязательным условием является включение «отрицательных» воздействий (сбои, отказы, торможение и т. п.) на процесс таможенного контроля в виде сообщений.

В результате выполнения указанных выше работ получаем агрегатную модель исследуемого процесса с заданными свойствами. Далее необходимо осуществить оценку адекватности и точности агрегатной модели.

Оценка адекватности и точности моделей, следовательно, достоверности моделей любого типа является важнейшей задачей моделирования, так как любые исследования на недостоверной модели теряют смысл. Для обеспечения точности и достоверности результатов моделирования необходима проверка адекватности и (или) верификация модели. Целью названных процедур является установление идентичности в определенном смысле (по определенным качествам) модели и оригинала или двух моделей.

Рекомендации по оценке адекватности, точности и верификации имитационных моделей процессов таможенного контроля рассматриваются в п. 5.4 настоящей монографии.

Следует отметить, что затраты на проверку адекватности и на верификацию моделей увеличивают затраты на моделирование. Но если не произвести оценку адекватности и (или) верификацию моделей, то могут быть допущены серьезные ошибки, существенно возрастает риск использования результатов моделирования.

Э т а п 4. Планирование имитационных экспериментов при исследовании процессов таможенного контроля. Планирование экспериментов осуществляется в соответствии с поставленными целями и задачами моделирования процессов таможенного контроля. Эта деятельность осуществляется с целью целенаправленного и эффективного получения требуемых результатов. При этом определяются условия проведения эксперимента, время моделирования (продолжительность эксперимента), количество реализаций, требуемых для получения необходимой точности результатов моделирования, осуществляется выбор начального состояния модели, режимов выдачи, объема и содержания отчетов результатов

моделирования, формы их выдачи, определяется количество исследуемых параметров и последовательность их варьирования.

Ввиду важности этого этапа моделирования рекомендации по планированию имитационных экспериментов рассмотрены отдельно в п. 5.3 настоящей монографии.

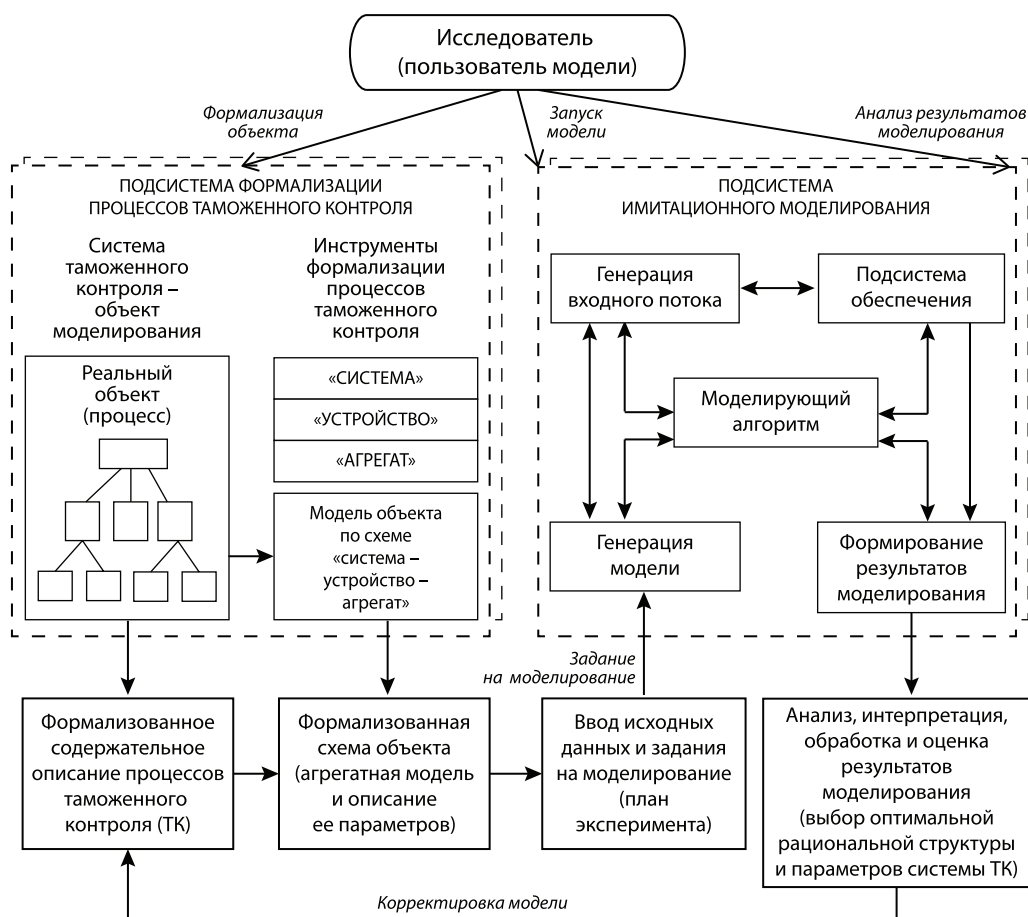
Следует подчеркнуть, что перечень планируемых мероприятий проведения имитационного эксперимента, в первую очередь, определяется целями и задачей исследования процессов таможенного контроля. В результате планирования эксперимента также формируется задание на моделирование процессов таможенного контроля.

Э т а п 5. Компьютерная реализация имитационной модели. Процесс имитационного моделирования заключается в построении компьютерной модели и проведении имитационных экспериментов. В соответствии с предложенными инструментами формализации процессов таможенного контроля по схеме «система – устройство – агрегат», механизмом повременного моделирования процессов по «особым состояниям» и базовой структурой системы имитационного моделирования построение имитационной модели в среде СИМ осуществляется по схеме, представленной на рис. 5.2.

В результате формализованного описания исследуемого объекта по схеме «система – устройство – агрегат» и описания параметров формальных элементов (рис. 5.2) получаем структурную модель исследуемого объекта – формализованную схему. Такая схема несет в себе исходные данные для построения компьютерной модели. Исходные данные могут быть представлены в табличном или графическом виде. Выбор способа и разработка языка представления исходных данных являются отдельной задачей имитационного моделирования, которая, как правило, решается специалистами математиками-программистами, осуществляющими разработку программных средств системы имитационного моделирования.

Построение компьютерной модели осуществляется автоматически путем ввода исходных данных структурной модели и задания на моделирование. По команде исследователя «запуск модели» осуществляется генерация входного потока сообщений к входным агрегатам и далее в соответствии с формализованной схемой исследуемого объекта осуществляется имитация исследуемого процесса и фиксация поведения его элементов (т. е. фиксация переменных состояния исследуемого процесса таможенного контроля и формирование результатов моделирования).

Э т а п 6. Постановка имитационных экспериментов. Компьютерная имитация исследуемого процесса таможенного контроля и фиксация поведения системы и ее элементов в соответствии с планом эксперимента составляют содержание данного этапа работ. Управление процессом моделирования и выдача результатов осуществляются соответствующими средствами СИМ автоматически по сформированному заранее плану эксперимента и заданию на моделирование.



Р и с. 5.2. Информационная схема построения и исследования имитационной модели процессов таможенного контроля

Э т а п 7. Анализ, интерпретация и оценка точности результатов моделирования. Предметом анализа являются количественные оценки потоков сообщений в модели и их качественные преобразования и характеристики, временные параметры обслуживания сообщений и их статистические оценки математического ожидания и дисперсии.

В прикладном аспекте интерпретация результатов моделирования может быть представлена в виде следующих показателей:

- объем (количество) материального потока (например, юридических и (или) физических лиц, товарных партий, международных почтовых отправлений, транспортных средств, топлива, припасов, валюты), прошедшего таможенные формальности при ввозе и (или) вывозе, транзите в пунктах пропуска, в том числе перемещаемого на различных видах транспорта;

– время (минимальное, максимальное, среднее) таможенного контроля в пунктах пропуска (таможне), например, в вариантах по видам ВЭД (импорт, экспорт, транзит), видам транспорта, категориям товара, участникам ВЭД, по отдельным операциям и (или) процедурам таможенного контроля и др.;

– время работы и (или) время простоя системы таможенного контроля и ее элементов (рабочих мест, отдельных информационно-технических средств таможенного контроля и др.);

– количество прерываний работы системы таможенного контроля и ее элементов (в том числе, прерываний по отдельным признакам, например при отказе информационно-технических средств, отсутствие каналов доступа, отсутствие ресурсов и др.);

– время, затрачиваемое на обработку (устранение) прерываний системы таможенного контроля и ее элементов;

– длины очередей на обслуживание по системе в целом и по отдельным ее элементам;

– количество выявленных нарушений таможенных правил по системе в целом и (или) по отдельным ее элементам (операциям) на этапах таможенного контроля, по формам и методам таможенного контроля и т. п.

Оценка результатов моделирования осуществляется на предмет их точности. *Точность* результатов моделирования рассматривается через совокупность различного рода погрешностей. Следует отметить, что погрешности являются следствием возникновения систематических и случайных ошибок при моделировании. Способы их определения рассматриваются в п. 5.4.4 настоящей монографии.

Э т а п 8. Обработка результатов моделирования, вычисление показателей качества системы таможенного контроля.

В результате имитационного эксперимента получаем статистические данные (выходные данные) для исследуемого варианта структуры и параметров системы таможенного контроля:

– количество поступивших $n_{ki}^{\text{пос}}$ и обслуженных $n_{ki}^{\text{обс}}$ в системе сообщений k -го типа, на i -х фазах обработки, за время $t \leq t_{\text{доп}}$, $t = T_m$, в течение интервалов времени T_0 (здесь $t_{\text{доп}}$ – допустимое время обработки сообщения, T_m – время моделирования);

– времена (минимальные, максимальные, средние) обслуживания $t_{\text{обс}}$ и ожидания обслуживания $t_{\text{ож.обс}}$ в системе сообщений k -го типа на i -х фазах обработки;

– времена работы t_p и простоя $t_{\text{пр}}$ агрегатов, длины очередей l_i на i -х фазах обработки.

В процессе обработки статистических (выходных) данных вычисляем основные показатели, характеризующие качество процесса таможенного контроля:

а) вероятность обслуживания сообщений k -го типа (вероятность решения задачи, выполнения запроса и (или) реализации функции таможенного контроля) за время, не превышающее допустимое, $P_k (t \leq t_{\text{доп}})$;

б) динамические $\delta^d(t_0, t)$ и интегральные $\delta^n(0, t)$ пропускные способности по сообщениям (задачам, запросам, функциям) k -го типа для отдельных операций, для процесса и (или) системы в целом;

в) коэффициент загрузки агрегатов (средств) системы K_3 ;

г) вероятность $P_k(t)$ нахождения системы в состоянии, характеризующем способность выполнения требуемых действий – контрольно-проверочных мероприятий (коэффициент готовности K_r).

Методические рекомендации по вычислению указанных показателей приведены в п. 3.6.2 настоящей монографии.

В результате обработки (вычисления) показателей исследуемой системы таможенного контроля формулируются выводы относительно поведения системы, выдвигаются гипотезы и предложения относительно качества и (или) эффективности системы.

Оценка адекватности имитационной модели, оценка точности результатов моделирования, анализ параметров и показателей исследуемой модели позволяют сделать вывод о необходимости корректировки модели.

Э т а п 9. Корректировка модели и проведение дополнительных экспериментов осуществляются по результатам моделирования. Корректировка модели может осуществляться на этапах постановки задачи (этап 1), формализованного описания исследуемого процесса (этап 3), планирования экспериментов (этап 4) и компьютерной реализации модели (этап 5).

В результате итерационного процесса построения и корректировки модели, анализа и оценки ее поведения определяем множество рациональных вариантов структуры системы таможенного контроля для конкретных внешних и внутренних условий, в рамках которых осуществляется деятельность таможенных органов.

На практике построение имитационной модели представляется как итеративный процесс усовершенствования системы моделей, а следовательно исследование модели (объекта) осуществляется до тех пор, пока это считается разумным. Технологические возможности средств специализированной системы имитационного моделирования позволяют практически реализовать такие итеративные процедуры с минимальными затратами.

Таким образом, предложенная методология имитационного моделирования процессов таможенного контроля может быть использована в качестве инструментария при выборе оптимальной стратегии таможенного контроля, его форм, методов и инструментов для конкретных условий внешнеэкономической деятельности и с учетом имеющихся ресурсов таможенных органов.

5.2. МЕТОДОЛОГИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Как уже было показано, современная система таможенного контроля представляет собой сложную организованную совокупность информационно-технических, технологических и методических средств, обеспечивающих контроль за соблюдением таможенного законодательства ТС, законодательства государств – членов ТС, международных договоров и соглашений при перемещении товаров и транспортных средств через таможенную границу ТС. Такая система характеризуется: множеством взаимосвязанных процессов, операций и явлений; вероятностным характером результатов контрольно-проверочных мероприятий на различных видах транспорта (авиационный, железнодорожный, автомобильный, морской, трубопроводный) и в различных видах внешнеэкономической деятельности (экспорт, импорт, транзит); по различным категориям перемещаемых материальных потоков (пассажиры, товар, почта, транспортные средства, топливо, валюта и др.); по различным категориям товара (ценный, опасный, скоропортящийся, флора, фауна и т. д.); с различными видами участников внешнеэкономической деятельности (экспортерами и импортерами, экспедиторами и перевозчиками, брокерами, банками и др.).

При исследовании подобных систем одной из проблемных задач является задача структурной и параметрической оптимизации. Ее решение во многом определяет стратегию, формы и методы таможенного контроля в конкретных условиях. Научным инструментом для постановки и решения задачи структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля является методология.

Как правило, предварительным этапом любой оптимизации параметров является их количественная оценка и всесторонний анализ факторов и параметров, в рамках которых проводится оптимизация. Для оптимизации структуры и параметров системы таможенного контроля это не является исключением.

Предлагаемая методология решения задачи структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля представлена на рис. 5.3. Она включает три группы системных исследований:

- оперативно-стратегические;
- технико-экономические;
- системотехнические.

При *оперативно-стратегических исследованиях* определяются проблемы, цели и задачи, место и роль системы таможенного контроля в общей структуре

государственного контроля внешнеэкономической деятельности, формируются показатели и критерии оценки деятельности таможенных органов по реализации функции таможенного контроля, а также условия воздействия внешней среды (состояние ВЭД, информационные и материальные потоки, международные нормы, таможенное и национальное законодательство и др.). Для проведения оперативно-стратегических исследований используются, как правило, методы обследования объекта, экспертные методы, тренинги, методы статистического анализа.



Р и с . 5.3. Методологическая схема решения задачи структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля

Технико-экономические исследования проводятся с целью определения допущений и ограничений, в рамках которых осуществляется деятельность таможенных органов по реализации функции таможенного контроля с учетом товарной и транспортной специализации (т. е. с учетом вида транспортных средств, перемещаемых товар), особенностей ВЭД (импорт, экспорт, транзит), специфики

категорий перемещаемых товаров и участников ВЭД, а также с учетом имеющихся в распоряжении таможенных органов ресурсов (информационно-технических, технологических, методических, кадровых, финансовых, временных). Методической базой для проведения такого рода работ являются методы экспертного анализа различного рода нормативных документов, методы сравнения и аналогий, а также методы информационного и функционального обследования деятельности таможенных органов по реализации функций таможенного контроля.

В группу *системотехнических исследований* входят:

- разработка альтернативных вариантов технологий таможенного контроля, определение рациональной структуры и параметров системы таможенного контроля, обеспечивающих соответствующее качество и эффективность (результативность) таможенного контроля;

- оценка реализуемости задач и (или) функций для различных вариантов технологий таможенного контроля, например, с использованием предварительного информирования и электронного декларирования, автоматического и удаленного выпуска, технологий контроля по принципам «двойного коридора», «единого окна», с использованием таможенно-логистических терминалов (ТЛТ), в том числе по типу «сухих портов», таможенного контроля после выпуска товаров с использованием институтов уполномоченных экономических операторов (УЭО), особых экономических зон (ОЭЗ) и др. Такие оценки проводятся для вариантов, полученных из приемлемых («разумных») комбинаций указанных технологий таможенного контроля;

- определение «узких мест» в технологии таможенного контроля, предельных нагрузок информационных и материальных потоков, временных и (или) вероятностно-временных характеристик реализации операций таможенного контроля;

- оптимизация системы таможенного контроля в последовательности: система (технология) – функции – структура – параметры.

На этапе системотехнических исследований процессов таможенного контроля основным является метод математического моделирования и, в частности, имитационное моделирование.

Вербально постановку задачи можно сформулировать следующим образом.

Для заданных вариантов структуры системы таможенного контроля, параметров ВЭД, целей, задач и функций таможенного контроля, управляющих и информационных связей между элементами системы (процессами, операциями), информационно-технических, технологических и методических ресурсов системы следует:

- а) осуществить *построение имитационной модели* и ее *экспериментальное исследование* с целью определения множества параметров функционирования системы таможенного контроля, характеризующих его качество и результативность, в частности, времени реализации таможенных операций, длины очередей на обслуживание, загрузки рабочих мест (времена работы и простоев, в том числе вынужденных простоев), пропускные способности таможни, таможенно-

го поста и (или) отдельных трактов обработки заявок, «узкие» места в системе таможенного контроля, количество выявленных нарушений таможенных правил и др.;

б) *провести* сравнительный анализ, оценку и выбор рациональных вариантов структуры и параметров модели и системы таможенного контроля в соответствии с поставленной целью.

Решение задачи оптимизации структуры и параметров системы таможенного контроля методом имитационного моделирования представляет собой итерационный процесс построения и корректировки модели, исследования и оценки ее поведения, определения множества рациональных вариантов структуры и параметров модели с точки зрения поставленной цели. Методология применения метода имитационного моделирования для решения задачи структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля соответствует схеме, приведенной на рис. 5.1.

«Оптимизация» структуры и параметров системы таможенного контроля осуществляется через «анализ» поведения модели и сравнительный анализ ее альтернативных вариантов, результаты которых получаем путем варьирования параметров, корректировки модели и постановки новых имитационных экспериментов. Здесь же не исключается использование расчетных формул и (или) аналитических методов оптимизации. Указанные работы по оптимизации структуры и параметров системы таможенного контроля осуществляются на этапе 8 (см. рис. 5.1).

По результатам «оптимизационных» мероприятий (результатам моделирования) осуществляется корректировка модели и проведение дополнительных экспериментов (этап 9, см. рис. 5.1).

В результате итерационного процесса построения и корректировки модели, анализа и оценки поведения модели определяем множество рациональных вариантов структуры системы таможенного контроля для конкретных условий внешнеэкономической деятельности и ограничений, в рамках которых осуществляется деятельность таможенных органов.

С учетом многофакторности и многопараметричности исследуемой системы таможенного контроля такое множество может достигать большой размерности, что затрудняет процесс выбора и принятия решения относительно рациональных вариантов структуры и параметров системы таможенного контроля. Для уменьшения размерности задачи выбора и обоснования принятия решения можно применить метод выделения «паретовских» решений [20]. В основу метода положена идея парного сравнения альтернатив, в результате которого все худшие (заведомо невыгодные и (или) неконкурентоспособные) по всем показателям решения отбрасываются и остаются только доминирующие решения, так называемые «оптимальные по Парето» (не строго оптимальные, но приемлемые по ряду критериев). В результате такой «оптимизации по Парето» множество альтернатив, как правило, сильно уменьшается. Выбор, обоснование и принятие решений относительно

поставленной проблемы структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля осуществляется на базе методов принятия решений и является прерогативой системного анализа и управления.

Таким образом, предложенные методология решения задачи структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля, включающая три группы системных исследований (оперативно-стратегические, технико-экономические и системотехнические), и методическая схема имитационного моделирования как форма применения метода имитационного моделирования для решения задачи оптимизации структуры и параметров системы таможенного контроля могут быть использованы в качестве инструментария при выборе стратегии таможенного контроля, его форм, методов и инструментов для конкретных условий внешнеэкономической деятельности и с учетом имеющихся ресурсов таможенных органов.

5.3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ ИМИТАЦИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

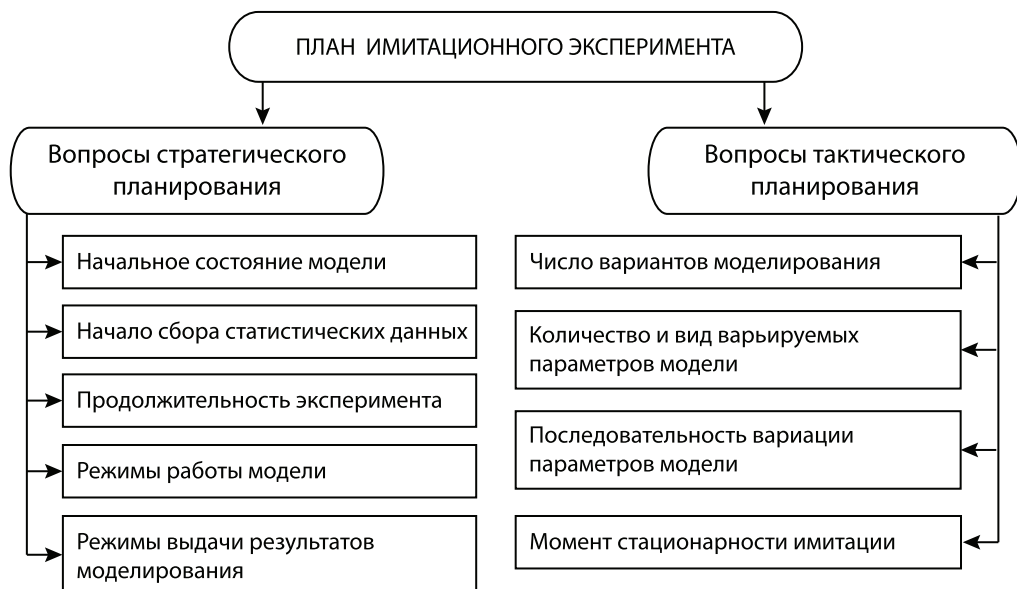
Как уже отмечалось, планирование эксперимента проводится с целью эффективного проведения эксперимента с моделью и получения необходимых результатов. Различают стратегическое и тактическое планирование эксперимента. Схема планирования и перечень планируемых мероприятий для проведения целенаправленных экспериментов с моделью приведены на рис. 5.4.

Стратегическое планирование – планирование эксперимента, который должен дать необходимую информацию. К вопросам стратегического планирования относятся вопросы определения условий эксперимента, а именно:

- выбор начального состояния моделируемой системы;
- выбор момента начала сбора статистических данных;
- определение продолжительности эксперимента;
- определение режимов работы модели и выдачи результатов моделирования.

Начальное состояние имитируемой системы задается следующим образом. Простейшим и чаще всего применяемым является состояние «пуст и свободен», при котором имитация начинается в условиях отсутствия в модели сообщений и свободного состояния всех формальных приборов обслуживания сообщений по формализованной схеме. Приемлемость подобного начального условия зависит от природы моделируемой системы, а также от того, какой из режимов функционирования нас интересует (переходной или установившийся). Под установившимся режимом функционирования понимается тот, при котором вероятностный механизм, описывающий разброс отклика имитационной модели, остается

неизменным и не подвержен воздействию начальных условий. Если же целью исследования является анализ установившегося режима системы, то начальные условия задаются на основе определения наиболее характерного для установившегося режима состояния системы, полученного в результате пробного прогона имитационной модели. Если же целью является анализ переходного режима, начальные условия должны отражать исходное моделируемое состояние системы.



Р и с . 5.4. Содержательная схема планирования эксперимента

Момент начала сбора статистических данных определяется следующим образом. Простейшим способом определения момента начала сбора статистических данных является их сбор с момента начала моделирования. Для уменьшения смещения оценок характеристик системы в установившемся режиме, вызванного воздействием начальных условий, начало сбора статистических данных необходимо задержать до момента завершения периода «разогрева» модели. Для этого определяется момент отсечения, указывающий, что собранные до него данные не учитываются при вычислении статистических оценок. Точка отсчета определяется по графику отклика, получаемого в результате пробного прогона имитационной модели. Момент времени отсечения выбирается так, чтобы значение отклика по графику можно было считать установившимся.

Продолжительность эксперимента задается одним из трех способов:

а) задается момент времени завершения моделирования; в этом случае размер выборки не предсказуем;

б) задается число сообщений, поступающих на вход модели; в этом случае можно управлять размером выборки;

в) задается число сообщений, обрабатываемых системой, т. е. число реализаций; в этом случае эксперимент не всегда может закончиться.

Число реализаций, которое необходимо получить в эксперименте, определяется исходя из соображения достижения заданного доверительного интервала для выходной переменной y по формуле [19]:

$$I = \left(\frac{t_{\alpha/2, I-1} \times S_y}{\xi} \right)^2,$$

где I – число реализаций в эксперименте;

$t_{\alpha/2, I-1}$ – величина, взятая из таблицы критических значений t -статистики с $I-1$ степенями свободы;

$\alpha/2$ – половина длины заданного доверительного интервала.

Практически этой формулой пользоваться следует так: устанавливают значение числа реализации I , проводят I реализаций имитационной модели. На основе проведенных прогонов модели вычисляют значения t и S_y , а затем применяют приведенную формулу для проверки достаточности начальных предложений или для определения необходимого числа дополнительных реализаций.

В случае исследования надежностных характеристик функционирования системы и ее элементов количество N реализаций имитационной модели определяется из условия [19]:

$$N \geq \frac{P(1-P) \times K^2(\alpha)}{\xi^2},$$

где P – определяемая величина вероятности безотказного функционирования системы (средств системы);

α – доверительный уровень расчетов;

$K(\alpha) = F^{-1} \left(\frac{1+\alpha}{2} \right)$ – расчетная табличная функция, которая может быть найдена по таблице квантилей нормального распределения [19];

ξ – допустимая ошибка в определении P .

Например, для $P = 0,99$ доверительного уровня $\alpha = 0,95$ и допустимой ошибки $\xi = 0,001$

$$N \geq \frac{0,99 \times 0,01 \times (1,9)^2}{(0,001)^2} = 35740.$$

Режимы работы модели и выдачи результатов моделирования задаются следующим образом. При начальных (пробных) прогонах компьютерной модели задается режим слежения, предусматривающий выдачу информации о моделируемом процессе через моменты времени Δt или по «особым состояниям» системы. Этот режим применяется с целью проверки правильности прохождения процесса

моделирования. Продолжительность таких прогонов не должна быть большой, но при этом быть достаточной для проверки работы всех формальных приборов (модулей) формализованной схемы. Указанная продолжительность, как правило, выбирается по интуиции исследователя.

При постановке основных экспериментов задается один из режимов выдачи результатов моделирования:

- выдача сечений информации об исследуемом процессе через определенные интервалы времени;
- выдача результатов по окончании моделирования.

Тактическое планирование эксперимента предполагает определение способа проведения каждого варианта моделирования, предусмотренного планом эксперимента. В результате тактического планирования определяется число вариантов моделирования, количество и последовательность варьируемых переменных модели и т. п. К числу варьируемых параметров, как правило, относятся параметры входных потоков сообщений, параметры формальных элементов модели, переменные параметры управления элементами модели.

Как показывает опыт моделирования, в процессе планирования эксперимента необходимо предусмотреть возможность и разработать тактику (способ) определения момента достижения стационарного режима моделирования. Стационарность режима моделирования характеризует собой некоторое установившееся равновесие процессов в модели системы, когда дальнейшая имитация бессмысленна, поскольку новой информации из модели уже получить невозможно и продолжение имитации практически приводит только к увеличению затрат машинного времени.

Следует отметить, что перечень планируемых мероприятий проведения имитационного эксперимента, в первую очередь, определяется целями исследования и поставленной задачей моделирования.

5.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ АДЕКВАТНОСТИ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ И ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Имитационные модели процессов таможенного контроля являются достаточно сложными как с точки зрения заложенного в них математического аппарата формализации процессов, так и в плане их реализации. При этом сложность любой модели, в том числе и имитационной, определяется двумя факторами: сложностью исследуемого объекта и точностью модели. При решении прикладных задач оптимизации системы таможенного контроля методом имитационного моделирования считается, что имитационная модель достаточно точно отражает реальное положение дел в исследуемой системе. Однако Р. Шеннон отмечает

очень важное в имитационном моделировании обстоятельство: «...мы не всегда в состоянии измерить степень неточности имитационной модели» [17]. Поэтому оценка точности имитационной модели представляет одну из наименее исследованных методологических проблем в теории моделирования.

5.4.1. АДЕКВАТНОСТЬ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Какой бы сложной и полной ни была модель, она, тем не менее, является приближенным отображением реального объекта и отражает его при определенных принятых допущениях. И до тех пор, пока не доказана адекватность модели реальному объекту, нельзя говорить о точности модели, так как нельзя с уверенностью утверждать, что с ее помощью получаем те результаты, которые действительно характеризуют состояние дел исследуемого объекта.

Следует отметить, что понятие адекватности модели не имеет количественного измерения: модель либо адекватна явлению, либо не адекватна (естественно, с точки зрения выносящего суждение – заказчика).

Оценка адекватности и точности моделей, следовательно, достоверности моделей любого типа является важнейшей задачей моделирования, так как любые исследования на недостоверной модели теряют смысл. Для обеспечения соответствующей точности и достоверности результатов моделирования необходима проверка адекватности и (или) верификация модели. Целью названных процедур является установление идентичности в определенном смысле (по целям, функциям, задачам, операциям, статическим и динамическим параметрам, показателям и т. п.) модели и реального объекта или установление идентичности двух моделей.

Проверка адекватности имитационной модели процессов таможенного контроля осуществляется как на этапе построения формализованной схемы процесса (структурной статической модели), так и на этапе ее компьютерной реализации (функциональной динамической модели). Проверки адекватности статической и динамической моделей таможенного контроля могут быть выполнены с использованием формальных и неформальных методов.

Одним из формальных методов является проверка с использованием формальных статистических критериев, например, статистической проверкой гипотез о принадлежности и реального процесса (операции), и модели (модели операции) к одному классу объектов. Такая проверка возможна при наличии надежных статистических оценок параметров как реальных операций таможенного контроля, так и модели.

Если такие оценки отсутствуют или их практически невозможно получить, то проверка адекватности структурной статической модели (формализованной схемы процесса таможенного контроля) осуществляется путем логического сравнения отдельных свойств реального процесса и модели в следующей последовательности (неформальный метод): вначале проверяется истинность входов (входных потоков), далее истинность реализуемых целей и функций, затем истинность

структуры и параметров процесса и далее истинность достигаемых показателей. Следует отметить, что оценка истинности положений, составляющих основу модели, является субъективной (как правило, доказательную часть выполняет исследователь, оценку осуществляет заказчик или пользователь модели).

Для оценки адекватности функциональной динамической модели системы таможенного контроля необходимо, помимо компьютерной модели, «иметь» реально функционирующий процесс таможенного контроля. На компьютерной модели осуществляется так называемое сопровождающее моделирование в режиме экспериментальной «прокрутки» модели. При этом путем слежения за переменными параметрами модели и сравнения их с изменениями в реальной системе таможенного контроля принимается решение заказчиком (пользователем модели) об адекватности имитационной модели.

Так как при имитационном моделировании процессов таможенного контроля практически всегда присутствуют стохастические факторы, а достоверных данных о виде и параметрах распределения случайных величин (входных потоков, параметров таможенных операций и др.), влияющих на результат, зачастую не имеется, то необходимо (и очень важно!) проверять результат моделирования на *робастность*. При этом определяется, является ли результат моделирования устойчивым (*робастным*) к возможным ошибкам в определении вида и параметров распределения случайных величин, характеризующих либо входные параметры, либо параметры таможенных операций. В случае если результат моделирования не является робастным, т. е. сильно зависит от вида и параметров случайных величин модели и ее элементов, то это может рассматриваться как свидетельство высокого риска при принятии решения по исследуемой проблеме (задаче).

5.4.2. ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ

Если проверка адекватности по тем или иным причинам невозможна (отсутствует реальный объект, отсутствует достоверная информация), то для заключения о сходстве свойств модели и реального объекта используется процедура верификации модели.

Верификация модели – это оценка функциональной полноты, точности и достоверности модели с использованием всей доступной информации. При этом можно использовать следующие известные методы верификации модели и результатов моделирования:

- прямая верификация модели – верификация путем разработки модели того же объекта с использованием другого математического метода;
- косвенная верификация модели – верификация путем сопоставления результатов, полученных с использованием данной модели, с данными, полученными из других источников;
- структурная верификация без экспериментальной проверки (эта процедура носит неформальный характер);

– верификация модели оппонентом или экспертом – верификация путем опровержения критических замечаний оппонента, эксперта (по характеру ситуации, по прогнозу и др.);

– верификация результатов моделирования путем аналитического или логического вывода прогноза из ранее полученных прогнозов.

Таким образом, если с использованием имитационной модели осуществляется диагностика «узких мест» в существующей технологии таможенного контроля, целесообразно проводить проверку адекватности моделей. Если исследуются новые, еще не существующие технологии таможенного контроля или осуществляется модернизация существующих технологий, то здесь рекомендуется использовать верификацию моделей.

Следует отметить, что затраты на проверку адекватности и на верификацию моделей увеличивают затраты на моделирование. Но если не произвести оценку адекватности и (или) верификацию моделей, то могут быть допущены серьезные ошибки в моделировании, при этом существенно возрастает риск использования результатов моделирования. Опыт моделирования показывает, что возникающий ущерб в результате реализации указанного риска может превышать затраты времени и средств на проверку адекватности и верификацию в сотни и более раз.

На практике построение имитационной модели представляется как итеративный процесс усовершенствования системы моделей, а, следовательно, проверка и исследование модели осуществляются до тех пор, пока это считается разумным. При этом правильность построения модели (адекватность) проверяется за счет повторения цикла «построение модели – прокрутка – проверка модели».

Если доказана адекватность имитационной модели, тогда можно далее говорить о количественной оценке точности компьютерной реализации имитационной модели, т. е. о точности результатов моделирования. При этом, естественно, предполагается, что программа, реализующая вычисления по имитационной модели, не содержит ошибок, исходные данные введены в компьютер правильно, а технические и программные средства моделирования в процессе имитационного эксперимента не имели сбоев в работе.

Точность реализации имитационной модели (точность модели, точность результатов моделирования) рассматривается через совокупность различного рода погрешностей.

5.4.3. ТОЧНОСТЬ МОДЕЛИ, ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Если классифицировать погрешности реализации «идеальной» компьютерной модели с точки зрения причин их возникновения, то можно выделить следующие основные группы:

1) погрешности моделирования, возникающие из-за неточного задания исходных данных (или незнания их природы);

2) погрешности моделирования, возникающие в результате упрощения исходной имитационной модели;

3) погрешности расчета переменных состояния и выходных параметров модели из-за дискретной реализации имитационной модели;

4) погрешности моделирования, обусловленные ограниченностью объема статистических данных или ограниченным числом случайных испытаний модели на компьютере.

Кратко рассмотрим отдельные группы погрешностей.

Погрешности моделирования, возникающие из-за неточного задания исходных данных. В общем случае по своей природе входные факторы имитационной модели можно разделить на управляемые переменные (выбираются исследователем), детерминированные, случайные и неопределенные. Учет в модели даже очень большого числа детерминированных факторов не приводит к существенным вычислительным трудностям и ошибкам. Включение в модель случайных факторов на два-три порядка увеличивает объем вычислений. Увеличение числа переменных и неопределенных факторов в оптимизационных имитационных моделях также существенно увеличивает объем вычислений по нахождению оптимальных решений. В некоторых случаях их большая размерность не позволяет отыскать оптимальное (рациональное) решение за допустимое время.

Для уменьшения объема вычисления исследователь, как правило, стремится рассматривать некоторые случайные и неопределенные факторы как детерминированные, внося тем самым ошибки в результаты моделирования. Кроме того, незнание априори сведений об объекте (или их неточность) приводят к тому, что численное задание исходных данных модели (исходные данные в виде констант) будет сделано с ошибками.

Оценка погрешностей такого типа, как правило, производится заранее. Исследователь должен знать цену той или иной замены. Для изучения влияния этих погрешностей на точность результатов моделирования, как правило, применяются специальные методы теории чувствительности.

Погрешности моделирования, возникающие в результате упрощения исходной имитационной модели. Исходную имитационную модель, как правило, упрощают для получения пусть приближенного, но аналитического решения, позволяющего быстро определить как область оптимальных параметров, так и влияние на эту область тех или иных факторов модели. Такие процедуры осуществляются, например, заменой нелинейных зависимостей линейными, полиномов высоких степеней полиномами низких степеней, негладких функций гладкими и т. д. Величина ошибки таких преобразований также должна быть рассчитана заранее.

Погрешности расчета переменных состояния и выходных параметров модели из-за дискретной реализации имитационной модели дают следующие виды ошибок:

– ошибки расчета переменных состояния и выходных параметров модели, связанные с реализацией механизмов имитации исследуемых процессов (выбор принципов построения моделирующих алгоритмов);

- ошибки округления промежуточных результатов;
- ошибки, связанные с заменой бесконечного вычислительного процесса конечным, например, производная заменяется конечной разностью, интеграл – суммой и т. п. (это методические погрешности обычных численных методов);
- ошибки, связанные с заменой непрерывных величин дискретными при численном исследовании процессов, погрешность зависит от шага дискретизации.

При разработке имитационных моделей необходимо выбирать такие методы дискретной реализации, которые на основании имеющихся сведений позволяют утверждать, что погрешности моделирования не будут превышать заданных величин.

Погрешности, обусловленные ограниченностью объема статистических данных, характерны для имитационных моделей, включающих в состав входных данных случайные факторы. Исследователь всегда имеет дело с ограниченной статистической выборкой в отличие от генеральной совокупности статистических данных. В этой связи форма и характеристики законов распределения будут различаться, величина этого расхождения (ошибки) зависит от объема статистической выборки.

Для имитационного моделирования результирующая погрешность зависит как от объема экспериментальных данных о значениях исследуемых случайных величин, так и от числа реализаций – прогонов модели для различных значений случайных величин. Мерой их количественного выражения является величина доверительного интервала тех или иных характеристик эксперимента (величина доверительного интервала рассчитывается и задается на этапе планирования имитационных экспериментов). Эти ошибки (погрешности), как правило, контролируются исследователем в том смысле, что в процессе планирования эксперимента, изменяя их в разумных пределах доверительного интервала, можно получить допустимую погрешность результатов моделирования.

5.4.4. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ МОДЕЛИ

Следует отметить, что указанные выше погрешности являются следствием возникновения при моделировании систематических и случайных ошибок. В этой связи количественное значение погрешности результатов моделирования выражается через сумму систематических и случайных ошибок. Чтобы правильно просуммировать систематические и случайные ошибки, необходимо сначала их разделить и далее оценить.

Систематические ошибки алгебраически суммируются для получения результирующей систематической ошибки $S_{\text{сис}}$:

$$S_{\text{сис}} = \sum_{i=1}^N s_i,$$

где s_i – систематическая ошибка i -го источника, $i = \overline{1, N}$, здесь N – количество источников систематических ошибок в модели.

Случайные ошибки суммируются в обычном среднеквадратичном смысле:

$$S_{\text{сл}} = \sqrt{\sum_{j=1}^M (s_{j\text{сл}})^2},$$

где $s_{j\text{сл}}$ – случайные индивидуальные j -ошибки, $j = \overline{1, M}$, здесь M – количество индивидуальных ошибок в модели.

Ошибки, вызванные одновременным присутствием систематической и случайной ошибок, определяются вычислением корня квадратного из суммы квадратов систематической и случайной ошибок:

$$R = \sqrt{S_{\text{сис}}^2 + S_{\text{сл}}^2},$$

где R – результирующая ошибка.

Необходимо иметь в виду, что изменение составляющих суммарные ошибки величин в тех случаях, когда они заметно меньше остальных, не приводит к существенному изменению суммарной ошибки. Например, если имитационная модель является грубой или часть информации, вводимой в модель, определена с большими ошибками (приближенно), то результаты моделирования получаем также весьма приближенно, независимо от применения достаточно точных методов расчета переменных параметров или показателей. При построении имитационной модели следует стремиться к тому, чтобы все составляющие результирующей ошибки были примерно одного порядка.

Поиск компромиссного соотношения между случайными и систематическими ошибками практически всегда связан с анализом допустимых упрощений как в исходных формальных элементах модели, так и в алгоритмах их взаимодействия. При построении имитационной модели процессов таможенного контроля способы анализа и оценки возможных упрощений могут быть различными, но главное при этом – обеспечить получение результатов моделирования в заданное время и достичь требуемой (допустимой) их точности. Следовательно, можно определить рациональную сложность имитационной модели процессов таможенного контроля, обеспечивающую минимальную величину результирующей погрешности при заданном времени моделирования. Во всех случаях построения имитационной модели необходимо выбирать оптимальное сочетание сложности модели и методов определения параметров и показателей модели (определяющих систематическую методическую погрешность) с точностью входной информации.

Таким образом, в имитационном моделировании сложных процессов таможенного контроля оценка адекватности и точности моделей является одним из важнейших и необходимых этапов работ, позволяющих правильно интерпретировать результаты моделирования и формулировать выводы относительно поведения модели системы таможенного контроля. Только оценка адекватности и анализ точности модели позволяют сделать вывод о необходимости корректировки

модели, а именно, необходимости учета новых факторов и элементов, перехода от линейных зависимостей к более гибким нелинейным, замены статических параметров динамическими, учета стохастичности и т. д. Корректировка имитационной модели обеспечивает замкнутый цикл моделирования и совершенствования модели системы таможенного контроля до тех пор, пока это будет необходимым и разумным.

5.4.5. ДОПУСКИ НА УПРАВЛЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛИ

Как правило, время, стоимость (затраты), организационные и информационно-технические возможности системы таможенного контроля в таможенных органах не позволяют требовать точного соответствия всех управляемых переменных параметров системы расчетным оптимальным и (или) рациональным значениям без каких-либо допусков. В реальных условиях функционирования системы таможенного контроля изменение ее параметров оказывается неизбежным из-за воздействия различных внешних условий, не учтенных в модели, а также из-за постепенного их изменения на протяжении срока функционирования системы (например, эксплуатационные характеристики информационно-технических средств таможенного контроля, параметры системы управления рисками и др.). По этой причине «наилучшие» значения переменных параметров системы таможенного контроля должны выбираться не для кратковременных «оптимальных» условий, которые могут быстро исчезнуть или даже практически не существовать, а с учетом таких изменений во времени и имеющихся допусков на параметры средств системы.

В этой связи для системы таможенного контроля, работающей в реальном масштабе времени, очень важны исследования процессов таможенного контроля на «допуск» параметров, т. е. исследование поведения системы в критических условиях (например, одновременное изменение ресурсов системы по всем направлениям: недостаточно кадрового потенциала, отказы информационно-технических и программных средств, отсутствие или недостаточность коммуникаций, инфраструктуры и др.), а также в условиях «пиковой» нагрузки (например, максимальной активности участников ВЭД).

Термин «допуск» употребляется для обозначения установленного допущения ошибки в параметре (требовании) и обозначает максимально допустимую ошибку в отличие от действительной ошибки в каждом конкретном случае. Когда связь между изменением входных характеристик и изменением переменных параметров системы известна и известны допуски на выходные характеристики (показатели) системы, можно определить величины допуска на значения параметров системы:

$$D_Y(X) = D_Y - \Delta_Y,$$

где D_Y – допуск на выходную характеристику системы Y (например, время подтверждения информации от иного контролирующего органа по определенному запросу).

Величина «допуска на ошибку» по данной характеристике устанавливается заказчиком в техническом задании на разработку математической модели;

Δ_Y – суммарная погрешность модели при расчете выходной характеристики Y ;

$D_Y(X)$ – суммарный «допуск» по выходной характеристике Y на значения управляемых переменных X модели.

Следует отметить, что проблема установления допусков имеет место в том случае, когда суммарная погрешность модели меньше величины допуска, т. е. $\Delta_Y < D_Y$.

При распределении суммарного допуска $D_Y(X)$ по управляемым переменным $X = \{x_i\}$ необходимо ответить на вопросы: как изменяется выходная характеристика при изменении каждой переменной и какова связь между допусками на отдельные переменные? Такие изменения и связи определить довольно трудно. Для определения допусков для отдельных переменных однозначного решения нет.

В связи этим окончательно величины допусков выбираются исследователем эвристически, исходя из необходимого условия: $D_Y(X) = D_Y - \Delta_Y$.

При создании математических имитационных моделей процессов таможенного контроля необходимо быть уверенным в том, что точность описания элементарных операций процесса обеспечит требуемую точность расчета выходных характеристик системы таможенного контроля. При известных (заданных) требованиях к точности результатов моделирования значительно упрощается обоснование выбора метода построения моделирующего алгоритма и способов формального описания элементарных операций процессов таможенного контроля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного в монографии анализа показано, что:

- таможенный контроль представляется сложной распределенной, многоуровневой, многофункциональной, многопараметрической, многокритериальной системой, для которой требуется адекватный по сложности инструмент исследования;

- имитационное моделирование является одним из эффективных методов исследования сложных объектов, процессов и явлений. Для облегчения использования методов имитационного моделирования создаются инструментальные средства – системы имитационного моделирования (СИМ);

- в практике исследования проблем таможенного контроля выявлен широкий спектр направлений исследований, требующих использования методов и средств имитационного моделирования для научного обоснования получаемых результатов;

- в современных условиях проведения исследований по проблемам таможенного дела для автоматизированного построения имитационных моделей процессов таможенного контроля и проведения на них целевых экспериментов представляется целесообразным создание специализированной системы имитационного моделирования, ориентированной на ее использование исследователями, не имеющими специальной подготовки в области программирования.

Основными новыми научно-практическими результатами работы являются:

1. Разработка концепции построения специализированной СИМ процессов таможенного контроля как комплекса математических, программных и языковых средств, позволяющих автоматизировать наиболее трудоемкие этапы моделирования – построение имитационных моделей и проведение компьютерных экспериментов (исследование модели). В концепции определены цели, задачи и функции специализированной системы имитационного моделирования, принципы ее построения, состав и структура СИМ, структура входных и выходных параметров и показателей СИМ, а также требования к имитационным моделям процессов таможенного контроля.

2. Разработка способов формализации процессов таможенного контроля на базе агрегатного подхода. В качестве универсального инструмента описания элементарных операций таможенного контроля определена формальная математическая схема – «агрегат». Для описания процессов таможенного контроля предложена многоуровневая схема формальных приборов «система –

устройство – агрегат». Предложенные инструменты формализации процессов таможенного контроля позволили создать универсальный механизм имитации на уровне логики процесса, не «закладывая» в него конкретные технологические решения. Конкретные характеристики операций и процессов таможенного контроля представляются в виде исходных данных на специальном языке описания данных.

3. Разработка метода имитации (моделирующего алгоритма) и механизмов управления процессом моделирования, в основу которых положен метод повременного моделирования со случайным шагом (моделирование по «особым состояниям»). Предложенный механизм имитации процессов таможенного контроля на основе метода «особых состояний» обеспечивает получение необходимой точности результатов моделирования, так как при достаточной степени детализации моделируемого процесса таможенного контроля он позволяет приблизить процесс моделирования к натурному эксперименту, т. е. к реальному процессу.

Предложенные инструменты формализации процессов таможенного контроля (математическая схема «агрегата» и схема обмена сигналами между «агрегатами») и механизм имитации процессов таможенного контроля (метод моделирования по «особым состояниям») позволяют унифицировать алгоритмы имитации и управления процессом моделирования, использовать структурную графику или простые табличные формы представления исходных данных и результатов моделирования, а также создают реальную базу для автоматизации построения и исследования моделей таможенного контроля.

4. Разработка на базе предложенных инструментов формализации процессов таможенного контроля и их имитации при моделировании, алгоритмов основных функциональных модулей и блоков, составляющих базовый вариант специализированной СИМ процессов таможенного контроля. В состав ее базового варианта включены следующие функциональные модули (блоки): блок генерации компьютерной модели (блок ввода исходных данных и генерации модели); блок управления ресурсами компьютера при формировании компьютерной модели; блок генерации входного потока; блок прогноза времени включения агрегатов; блок определения времени обслуживания сообщения агрегатом; блок определения кванта устройства; блок определения кванта системы; блок завершения обслуживания сообщений агрегатом; блок обработки и фиксации результатов моделирования; блок выдачи результатов моделирования; блок консервации модели.

Предложенные алгоритмы могут быть использованы для разработки программного комплекса специализированной СИМ процессов таможенного контроля.

5. Разработка предложений по использованию специализированной СИМ процессов таможенного контроля, включающих: методологическую схему имитационного моделирования процессов таможенного контроля в среде специализированной СИМ; методологию решения задачи структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля методом имитационного

моделирования; рекомендации по планированию имитационных экспериментов при исследовании процессов таможенного контроля; рекомендации по оценке адекватности имитационных моделей и точности результатов моделирования.

Предложенные структура, принципы и механизмы специализированной СИМ, подходы к реализации ее основных целей и задач, алгоритмы и рекомендации позволят создать инструментальные средства имитационного моделирования, обеспечивающие решение проблем исследования таможенного контроля.

Основные научно-практические результаты (концепция построения СИМ, инструменты формализации процессов таможенного контроля, методы и механизмы имитации, методология моделирования, алгоритмы работы основных функциональных модулей СИМ) могут быть использованы при подготовке технического задания на создание программного комплекса специализированной СИМ и информационной технологии моделирования процессов таможенного контроля.

Программный комплекс специализированной СИМ и информационная технология моделирования могут быть использованы научными сотрудниками, студентами и магистрантами, аспирантами и докторантами, а также другими специалистами таможенных органов, занимающимися проблемами совершенствования и повышения эффективности процессов таможенного контроля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Липатова Н.Г., Анисимов Е.Г., Черныш А.Я., Карпов А.Н.* Понятия и определения в области исследования проблем таможенного дела: монография. М.: Изд-во Российской таможенной академии, 2010. 92 с.
2. *Липатова Н.Г.* Моделирование информационных систем в таможенном деле: учебное пособие. М.: РИО РТА, 2006. 268 с.
3. Федеральный закон от 27.11.2010 № 311-ФЗ «О таможенном регулировании в Российской Федерации» (принят Государственной Думой 19.11.2010, одобрен Советом Федерации 24.11.2010).
4. Википедия. Свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0>.
5. *Бурдин В.Е., Зайцева Л.Д., Липатова Н.Г.* Моделирование современных технологий таможенного контроля: монография. М.: Изд-во Российской таможенной академии, 2014. 148 с.
6. *Попова Л.А., Липатова Н.Г.* Организационные и методические основы применения экономических инструментов таможенной проверки (контроля) участников внешнеэкономической деятельности: монография. М.: Изд-во Российской таможенной академии, 2014. 228 с.
7. Таможенный кодекс Таможенного союза. Договор о Таможенном кодексе Таможенного союза, принят Решением Межгосударственного совета Евразийского экономического сообщества (высшего органа Таможенного союза) на уровне глав государств от 27.11.2009 № 17 (в ред. Протокола от 16.04.2010).
8. Регулирование внешней торговли Таможенного союза в рамках ЕврАзЭС: учебное пособие / под общ. ред. С.Ю. Глазьева и Т.А. Мансурова. М.: Проспект, 2011. 416 с. Приложение 1. Глоссарий терминов и аббревиатур Таможенного союза в рамках ЕврАзЭС.
9. Таможенное регулирование в Таможенном союзе в рамках ЕврАзЭС: учебник / под общ. ред. д-ра экон. наук В.А. Шамахова и канд. юрид. наук Ю.А. Кожанкова. М.: СофтИздат, 2012. 952 с.
10. Таможенный контроль: учебник / под общ. ред. В.А. Шамахова. М.: СофтИздат, 2006. 288 с.
11. Стратегия развития таможенной службы Российской Федерации до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 28.12.2012 № 2575-р.

12. Международная конвенция об упрощении и гармонизации таможенных процедур, в редакции Брюссельского протокола 1999 г. (Киотская конвенция). Преамбула.
13. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Липатова Н.Г., Черныш А.Я.* Применение математических методов при проведении диссертационных исследований: учебник. М.: Изд-во Российской таможенной академии, 2011. 514 с.
14. *Липатова Н.Г.* Инструменты формализации процессов таможенного контроля и механизм их имитации при моделировании // Вестник Российской таможенной академии. 2014. № 2. С. 58–65.
15. *Липатова Н.Г.* Система имитационного моделирования для исследования процессов таможенного контроля // Вестник Российской таможенной академии. 2014. № 3. С. 131–139.
16. *Бусленко В.Н.* Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. М., 1977.
17. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем: искусство и наука. М.: Мир, 1978.
18. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Ведерников Ю.В., Матросов В.В., Черныш А.Я.* Модели и методы решения задач управления инновационными проектами: монография. М.: Изд-во Российской таможенной академии, 2009. 92 с.
19. *Прицкер А.* Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II. М.: Мир, 1987. 644 с.
20. *Анисимов Е.Г., Черныш А.Я., Липатова Н.Г.* Концептуальные основы развития теории таможенного дела // Вісник Академії митної служби України. Сер. «Державне управління». 2010. № 2(3). С. 12–18.
21. *Липатова Н.Г., Кожевникова В.В., Анисимов Е.Г., Барамзин С.В.* Таможенный контроль товаров: запреты и ограничения: монография. М.: Изд-во Российской таможенной академии, 2010. 80 с.
22. Тематика перспективных научных исследований Российской таможенной академии на 2014–2020 гг.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	3
Г л а в а 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКЕ И ПРАКТИКЕ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ.....	7
1.1. Общие положения исследования и моделирования процессов таможенного контроля	7
1.2. Методы моделирования и их применение в науке и практике таможенного контроля.....	13
1.3. Технология таможенного контроля как объект моделирования	19
1.3.1. Понятия, методы и формы, таможенные операции таможенного контроля.....	19
1.3.2. Таможенный контроль как системный объект и как функция управления.....	27
1.3.3. Особенности технологий таможенного контроля как объекта моделирования.....	36
1.4. Типовые задачи исследования и моделирования процессов таможенного контроля	38
Г л а в а 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	40
2.1. Основные понятия и сущность имитационного моделирования.....	40
2.1.1. Идея имитационного моделирования	40
2.1.2. Сущность имитационного моделирования.....	41
2.1.3. Структура имитационных моделей	46
2.1.4. Формализованная схема: основные понятия, реализация	47
2.1.5. Моделирующий алгоритм: принципы построения.....	48
2.2. Технология имитационного моделирования.....	52
2.2.1. Этапы имитационного моделирования	52
2.2.2. Принципы имитационного моделирования.....	65
2.3. Требования к имитационным моделям	68
2.4. Средства имитационного моделирования.....	69
2.5. Проблемы применения имитационного моделирования в науке и практике таможенного контроля.....	72

Глава 3. КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ	76
3.1. Принципы построения, цели, задачи и функции специализированной системы имитационного моделирования	76
3.2. Способы формализации процессов таможенного контроля	82
3.3. Методы и механизмы имитации и управления процессом моделирования.....	89
3.4. Структура специализированной системы имитационного моделирования процессов таможенного контроля	92
3.5. Структура данных специализированной системы имитационного моделирования процессов таможенного контроля	96
3.5.1. Перечень и характеристики входных потоков (исходных данных).....	96
3.5.2. Перечень и характеристики выходных потоков (результатов моделирования)	98
3.6. Генерация входных потоков и обработка выходных данных (результатов моделирования)	99
3.6.1. Способы генерации входных потоков сообщений.....	99
3.6.2. Методы обработки выходных данных (результатов моделирования).....	102
Глава 4. АЛГОРИТМЫ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОДСИСТЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	104
4.1. Алгоритм ввода исходных данных и построения имитационной модели	104
4.2. Алгоритм генерации входных потоков.....	107
4.3. Алгоритмы, реализующие механизмы имитации и управления процессом моделирования	109
4.3.1. Алгоритм прогноза времени включения агрегатов.....	110
4.3.2. Алгоритм определения времени обслуживания сообщения агрегатом	112
4.3.3. Алгоритм определения кванта устройства	113
4.3.4. Алгоритм определения кванта системы	118
4.3.5. Алгоритмы завершения обслуживания сообщений агрегатами.....	118

4.4. Алгоритмы сбора, обработки и выдачи результатов моделирования.....	124
4.4.1. Алгоритм сбора и обработки статистических данных	124
4.4.2. Алгоритм выдачи результатов моделирования	129
 Глава 5. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ.....	131
5.1. Методологическая схема имитационного моделирования процессов таможенного контроля в среде специализированной системы имитационного моделирования	131
5.2. Методология решения задачи структурной и параметрической оптимизации системы таможенного контроля методом имитационного моделирования	139
5.3. Рекомендации по планированию имитационных экспериментов при исследовании процессов таможенного контроля.....	143
5.4. Рекомендации по оценке адекватности имитационных моделей и точности результатов моделирования	146
5.4.1. Адекватность имитационных моделей	147
5.4.2. Верификация модели	148
5.4.3. Точность модели, точность результатов моделирования	149
5.4.4. Расчет погрешности модели	151
5.4.5. Допуски на управляемые параметры модели.....	153
 ЗАКЛЮЧЕНИЕ	155
 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	158

Научное издание

Надежда Григорьевна ЛИПАТОВА

ИМИТАЦИОННОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

Монография

Редактор

Л.П. Кузнецова

Компьютерная верстка

Н.В. Байковой

Дизайн обложки

Н.С. Тресковой

Подписано в печать 04.09.2015 г.
Формат 70×100/16. Усл. печ. л. 13,33.
Тираж 500 экз. (1-й завод – 1–45).
Изд. № 114. Заказ № 311

Изд-во Российской таможенной академии,
140009, г. Люберцы Московской обл.,
Комсомольский пр., 4.