

ВЛИЯНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАТИСТИЧЕСКОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕРЕФЛЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ.

ЧАСТЬ 1. ТЕСТОВАЯ СИМ-МОДЕЛЬ

Ваулина К.В., Маслов О.Н.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: maslov@psati.ru

В первой части статьи представлена имитационная модель бизнес-процесса «Предоставление государственных и муниципальных услуг» Многофункционального Центра областного уровня. Эта модель выбрана в качестве тестового объекта для проведения дальнейших исследований. Приведены вербальная модель бизнес-процесса, моделирующий алгоритм и его программная реализация в среде имитационного моделирования AnyLogic.

Ключевые слова: нерелефторные системы, статистическое имитационное моделирование, метод Димова-Маслова, неопределенность исходных данных, тестовая модель

Введение

Статистическое имитационное моделирование (СИМ) по версии метода Димова-Маслова (МДМ) отличается от других подходов к созданию моделей сложных систем (СС) различного назначения (аналитические методы; агрегативное моделирование; системная динамика; агентное моделирование; нелинейная динамика и т.п.) уже на стадии постановки целей и задач моделирования. Помимо исследования процессов функционирования СС в статике и динамике, МДМ направлен на совершенствование управления СС и адаптирован для решения широкого круга связанных с этой целью задач. Методика СИМ по МДМ предусматривает проведение следующих действий:

- содержательное описание объекта (реальной СС) в интересах СИМ с учетом особенностей рассматриваемой предметной области;
- определение состава случайных величин (СВ), отражающих воздействие на СС (объект СИМ, моделируемый бизнес-процесс) стохастических факторов по результатам ее описания;
- определение состава исходных данных, необходимых для проведения СИМ, применительно к условиям работы моделируемой СС;
- комплексное (в том числе статистическое) исследование СС как объекта СИМ;
- идентификация законов распределения СВ, признанных наиболее важными для СИМ рассматриваемой СС;
- разработка математических моделей, соответствующих описанию частей СС (подсистем и элементов) и СС в целом;

- разработка моделирующего алгоритма, реализующего полученные математические модели;
- разработка компьютерных программ для моделирования СС;
- разработка и описание задач управления СС, решаемых с помощью СИМ по МДМ;
- разработка и реализация плана компьютерного эксперимента, проводимого с СИМ-моделью;
- обработка, анализ и интерпретация выходных данных СИМ, а также любые другие необходимые варианты практического применения полученных результатов.

Существенно также, во-первых, что МДМ предполагает применение наиболее развитых (по сравнению с другими подходами) способов повышения эффективности управления СС на основе моделирования динамики их функционирования с учетом случайных факторов (в том числе различного рода неопределенностей), влияющих на принятие управленческих решений. Во-вторых, что ключевое значение имеют операции, предваряющие математическое моделирование объекта – непосредственным образом связанные с его исследованием и формированием исходных данных для проведения СИМ.

Цель первой части статьи – представление СИМ-модели бизнес-процесса «Предоставление государственных и муниципальных услуг» Многофункционального Центра (МФЦ) областного уровня, выбранной в качестве тестового объекта для проведения дальнейших исследований. Цель второй части статьи – анализ на примере выбранной тестовой модели влияния неопределенности

и кумулятивности (под которой понимается свойство минимального объема информации быть максимально полезной для достижения поставленной цели) исходных данных СИМ на его эффективность.

Принципы СИМ нерелефторных СС

Различие между релефторными (преимущественно технического типа) и нерелефторными (организационно-техническими, социально-экономическими, экологическими, медицинскими, военными и др.) иерархическими СС впервые определил Н.Н. Моисеев: реакция релефторных СС на внутренние и внешние возмущения однозначна, изучение процессов управления ими сводится к задачам оптимизации на основе принципа максимума Понтрягина без учета особенностей поведения звеньев (подсистем, элементов) СС [1]. Изучение нерелефторных СС, напротив, требует от лиц, принимающих решения (ЛПР), введения гипотез относительно поведения указанных звеньев: поскольку они способны самостоятельно максимизировать (ввиду наличия «человеческого фактора», делегирования полномочий «сверху – вниз» и т.п.) свои функционалы качества при воздействии возмущений, что ведет к конфликтным ситуациям и невозможности использовать принцип максимума Понтрягина при управлении ими [2]. Иерархичность и нерелефторность возникают в СС естественным путем – по мере роста, развития и усложнения любой простой системы.

Случайные возмущения при этом можно рассматривать как фактор неопределенности знаний ЛПР, которая осложняет его действия – ввиду отсутствия необходимой информации, присутствия помех, наличия нескольких целей и неопределенности намерений самого ЛПР, а также противодействия ему со стороны конкурента или злоумышленника, отсутствии согласованного взаимодействия с партнерами. Поскольку знания ЛПР могут быть как верифицированными, так и аксиологическими, последние представляют наибольший интерес при организации управления нерелефторными СС, так как предоставляют гипотезы поведения звеньев, которые выдвигают ЛПР [1].

Согласно теории управления СС, в основу принятия решений могут быть положены экспертные, теоретико-вероятностные, вероятностно-статистические и статистические методы и модели [3-4]. Применительно к проектированию систем управления (СУ) СС экспертные методы представляются слишком «слабыми», а статистические – слишком «жесткими». Наилучшее

предлагаемое решение – это СИМ по МДМ, сочетающее достоинства теоретико-вероятностного и статистически-вероятностного подходов, а также компьютерную технологию метода Монте-Карло (ММК) [5-6]. Сегодня СИМ является одним из универсальных и эффективных средств исследования СС: математики используют его при проведении компьютерных экспериментов, призванных проверить и подтвердить аналитические выкладки. Прикладные специалисты видят в СИМ средство конкретных решения задач, не решаемых другими способами [9]. Системные аналитики применяют СИМ, когда объем знаний об иерархии подсистем и элементов в СС существенно меньше знаний о них [7; 12]. Менеджеры заинтересованы в управлении бизнес-процессами с помощью СИМ. Предложение использовать СИМ по МДМ при проектировании СУ СС отвечает указанной тенденции в полной мере.

Идеология любого моделирования (мысленного, вербального, физического, математического, компьютерного имитационного и т.д.) СС состоит в том, чтобы после выполнения ряда первоначальных действий перейти из реальной среды в виртуальную, где исследуются свойства моделей СС и СУ, а затем полученные результаты «вернуть» из виртуальной среды в реальную. Эффективность и практическая значимость данного возвращения зависят от точности и адекватности используемых моделей, а также от соответствия их параметров характеристикам реальной СС. В этом смысле кумулятивность СИМ-модели предполагает также отсутствие у нее управляемых параметров, которые не имеют себе аналогов на реальном объекте – что обнаруживает ряд недостатков вероятностных моделей, наиболее часто применяемых при проектировании и управлении СС.

Отечественные специалисты в области СИМ полагают, что проведение полноценного статистического исследования объекта необходимо, так как это способствует эффективности работы будущей СУ [3]. Школа Форрестера-Медоуза, напротив, не считает препятствием для проведения СИМ отсутствие надежных и достоверных исходных данных, хотя неопределенности знаний ЛПР могут быть существенно большими [4]. Вместе с тем проведение трудоемких предварительных исследований и преодоление сложностей, возникающих при моделировании конкретных СС, явно не оправдывают себя, если итог сводится к выбору из двух-трех типовых моделей, которым примерно в равной мере лишь не противоречат – например в соответствии с критери-

ем Пирсона – полученные экспериментальные данные.

Неопределенность исходных и промежуточных данных при проведении СИМ по МДМ в значительной мере компенсируется путем применения технологии ММК, однако детали этой компенсации представляются неясными, если речь идет о моделировании конкретных объектов. В то же время имеется возможность максимально упростить и автоматизировать первоначальные этапы СИМ, что обусловлено следующими причинами [8; 11]:

- на рынке сегодня присутствуют высоко-профессиональные программные продукты, предназначенные как для обработки статистических данных, так и для идентификации соответствующих им законов распределения с оценкой параметров этих законов;

- для обширного класса устойчивых (робастных) СС результаты СИМ не должны (и не будут на практике) в критической мере зависеть от правильности действий ЛПР на предварительных этапах моделирования;

- неопределенность исходных и промежуточных данных в рамках СИМ обычно означает неполноту верифицированных знаний о СС, но не их отсутствие, а тем более недостаток аналогичных аксиологических знаний [12], даже с учетом их неизбежной неопределенности – что дает новые потенциальные возможности для повышения эффективности МДМ.

Учет неопределенности знаний при моделировании случайных факторов

Перспективная СУ является открытой СС, которая обеспечивает решение поставленных перед ней задач так, что это, во-первых, в разной степени, но устраивает всех заинтересованных ЛПР, а во-вторых, допускает возможность в дальнейшем «усилить» режим работы СУ. Системный подход диктует проектировщику необходимость прежде всего уяснить роль и место СУ, ее влияние на все аспекты работы СС. Одновременно возникает вопрос о методах и средствах преодоления неопределенностей, сопровождающих процесс проектирования СУ. «Когда речь идет о любой реальной системе: технической, экономической, военной, – то процесс ее проектирования никогда не может быть четко сформулирован и сведен к решению какой-либо одной задачи или даже цепочки математических задач. Противоречивость требований к конструкции и наличие ряда других неопределенностей, с которыми неизбежно

сталкивается человек, проектирующий систему, приводит к тому, что неформальный анализ, поиск компромисса занимает значительное место в процессе проектирования» [1].

На практике ЛПР необходимо определиться с выбором разных знаний, поскольку совместное использование верифицируемых (объективных, строго научных, многократно проверенных и подтвержденных) и аксиологических (субъективных, интуитивных, иррациональных, гипотетических) знаний ведет к применению при проведении СИМ наряду с математическими моделями онтологических моделей, основанных на упрощенных соотношениях и логических правилах. Правомерность выбора, а также области применения знаний разного типа подтверждаются комплексным тестированием разработанных СИМ-моделей, а также проверкой фрагментов СУ путем обработки полученных экспериментальных и эксплуатационных данных.

Сложность этой проблемы известна разработчикам СУ нерелевантными СС достаточно хорошо. «Как ни труден отбор надежных данных в физике, гораздо сложнее собрать обширную информацию экономического или социологического характера, состоящую из многочисленных серий однородных данных... В этих обстоятельствах безнадежно добиваться слишком точных определений величин, вступающих в игру. Приписывать неопределенным по самой своей сути величинам какую-то особую точность бесполезно и нечестно, и, каков бы ни был предлог, применение точных формул к этим слишком вольно определяемым величинам есть не что иное, как обман и пустая трата времени» [10].

В то же время: «Многие не признают потенциальной пользы модели, основываясь на том, что у нас нет достаточных данных для моделирования. Они уверены, что первым шагом должен быть широкий сбор статистических сведений. Верно же как раз обратное». И далее: «Мнение о том, что математическая модель не может быть построена, пока не будут полностью известны каждая константа и функциональная зависимость, является недоразумением» [4]. Принимая во внимание эти и другие имеющиеся (в чем-то схожие, в чем-то противоречащие друг другу) точки зрения, МДМ предлагает схему учета и моделирования неопределенностей в интересах формирования исходных данных для проведения СИМ, показанную на рис. 1.

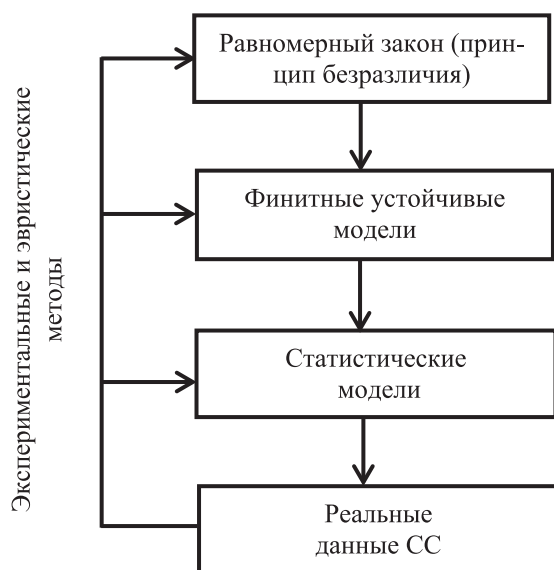


Рис. 1. Схема учета и моделирования неопределенностей по МДМ

Согласно рис. 1, методы учета влияния неопределенности знаний ЛПР (СВ, моделирующих случайные факторы) на результаты СИМ последовательно ведут разработчиков СУ от модели в виде равномерного закона согласно принципу безразличия (что соответствует максимальной неопределенности знаний ЛПР) к финитным устойчивым моделям (включая нормальный закон) в условиях применимости предельных теорем классической теории вероятностей и далее – к статистическим моделям, полученным в результате идентификация законов распределения СВ (см. методику проведения СИМ) и предложению использовать реальные данные, полученные при обследовании объекта СИМ, если такая возможность имеется – что соответствует минимальной и неустранимой неопределенности знаний. Во всех этих случаях задачей предварительного исследования объекта остается определение оценок числовых параметров СВ, осуществляемое экспериментальными и эвристическими методами. Более подробно разделение случайных факторов на основные и второстепенные, а также другие вопросы, связанные с анализом влияния неопределенности и кумулятивности исходных данных на эффективность СИМ, будут рассмотрены во второй части статьи.

Вербальная модель тестового бизнес-процесса

Схема выбранного в качестве тестовой СИМ-модели бизнес-процесса «Предоставление государственных и муниципальных услуг» МФЦ представлена на рис. 2. Бизнес-процесс начинается с поступления заявки на оказание услуги в МФЦ

– интенсивность поступления заявок обозначена на рис. 2 как СВ23, это случайная величина, которая изменяется согласно расписанию интенсивностей, так как число заявителей в час зависит от временного периода в течение дня (напомним, что для краткости все случайные величины именуются СВ).

По приходе в МФЦ заявитель попадает к регистратору, который принимает у него необходимый для оказания услуги комплект документов (КД). Длительность приема КД составляет СВ2 – поскольку услуги бываю разные и, соответственно, в КД входит разное число документов, которые нужно принять и при необходимости сканировать копии. Далее регистратор делает вывод о полноте КД, который может быть полным (если заявитель принес все обязательные документы) или неполным (если в КД не хватает ряда документов – см. СВ16). Если КД неполный, то заявителя отправляют за недостающими документами и МФЦ ожидает эти документы – время ожидания есть СВ2, так как заявитель может принести эти документы либо в этот же день, либо в течение нескольких рабочих дней. После того как заявитель предоставит в МФЦ недостающие документы, регистратор принимает их – длительность приема является СВ3.

Затем регистратор проверяет КД на предмет того, соответствуют ли данные КД требованиям предоставления услуги – длительность составляет СВ4, после этого он принимает решение, сможет ли МФЦ оказать услугу или вынужден отказать заявителю (см. СВ17). Если состоялось решение в пользу оказания услуги, регистратор передает КД контролеру для дальнейшего анализа длительностью СВ5 о необходимости межведомственных запросов (МВ-запросов) в соответствующие органы государственной власти (ОГВ) – эти запросы могут быть промежуточными (для получения промежуточных документов, которые необходимы для предоставления услуги) и результирующими (для получения итогового результата предоставления услуги), механизм отправки промежуточных и результирующих (итоговых) запросов является одинаковым. Если необходимости в отправке МВ-запроса в ОГВ нет, процесс переходит на этап формирования результата предоставления услуги; если есть – контролер готовит документы для отправки запроса. Обычно для отправки МВ-запроса требуются не все документы из КД, а только некоторые, и суть подготовки заключается в определении их перечня в соответствии с требованиями ОГВ – длительность подготовки документов для отправки МВ-запроса в ОГВ является СВ6.

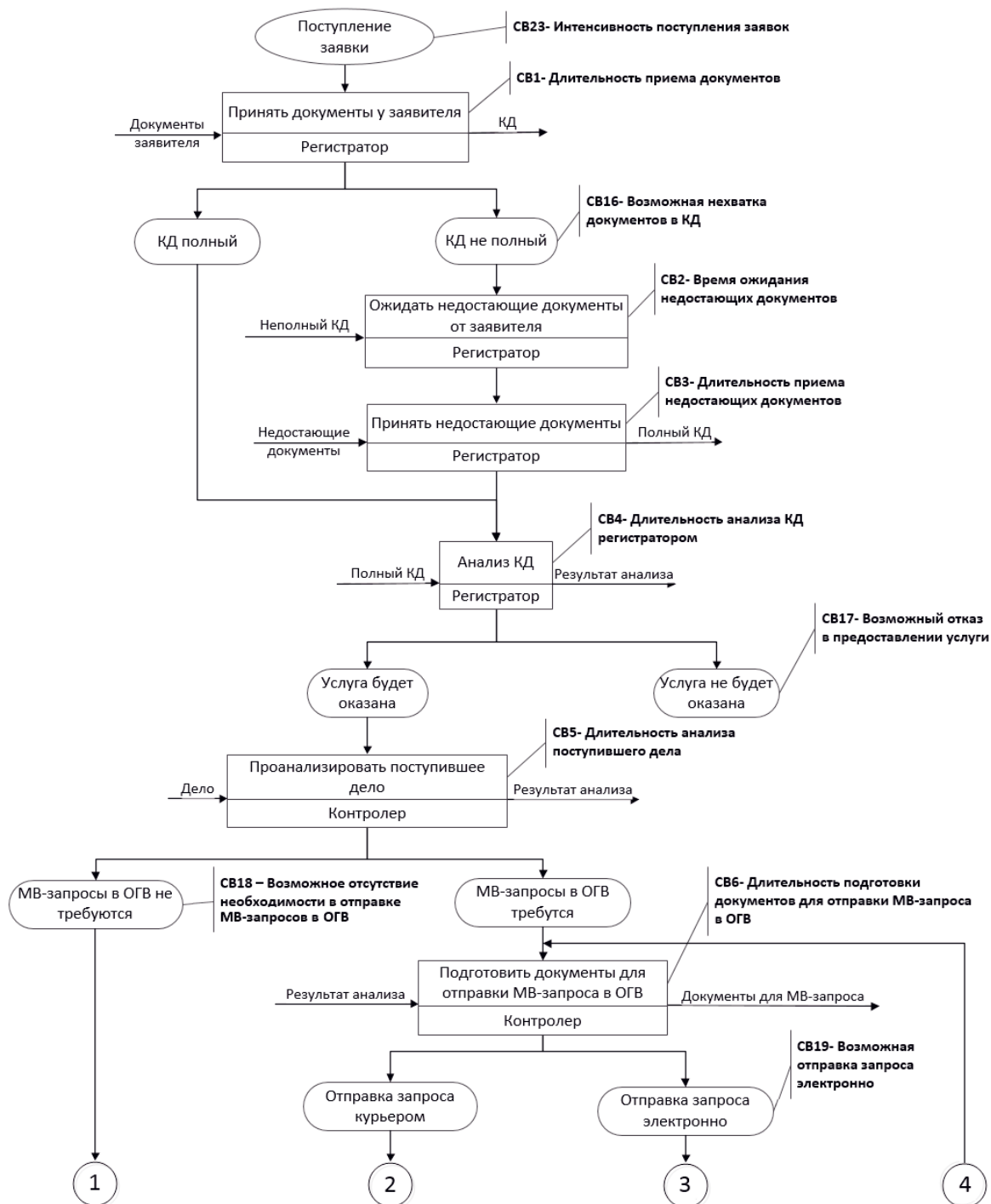


Рис. 2. Схема тестового бизнес-процесса
«Предоставление государственных и муниципальных услуг» МФЦ

В зависимости от специфики и содержания МВ-запросы могут быть отправлены в ОГВ электронным способом (см. СВ19) или курьером. Запрос отправляется электронным способом, если в автоматизированной информационной системе МФЦ имеется соответствующая интеграция с ОГВ – в этом случае сотруднику МФЦ необходимо определить параметры, которые у каждого запроса свои, и отправить его в ОГВ. Длительность подготов-

ки электронного запроса есть СВ7; запрос может быть успешно выполнен или не выполнен – см. СВ20. В случае выполнения запроса контролер получает его результат, в случае невыполнения – отправляет запрос с курьером.

Для отправки запроса с курьером контролер готовит посылку с документами в ОГВ – длительность подготовки составляет СВ8, после чего курьер доставляет ее в ОГВ – длительность достав-

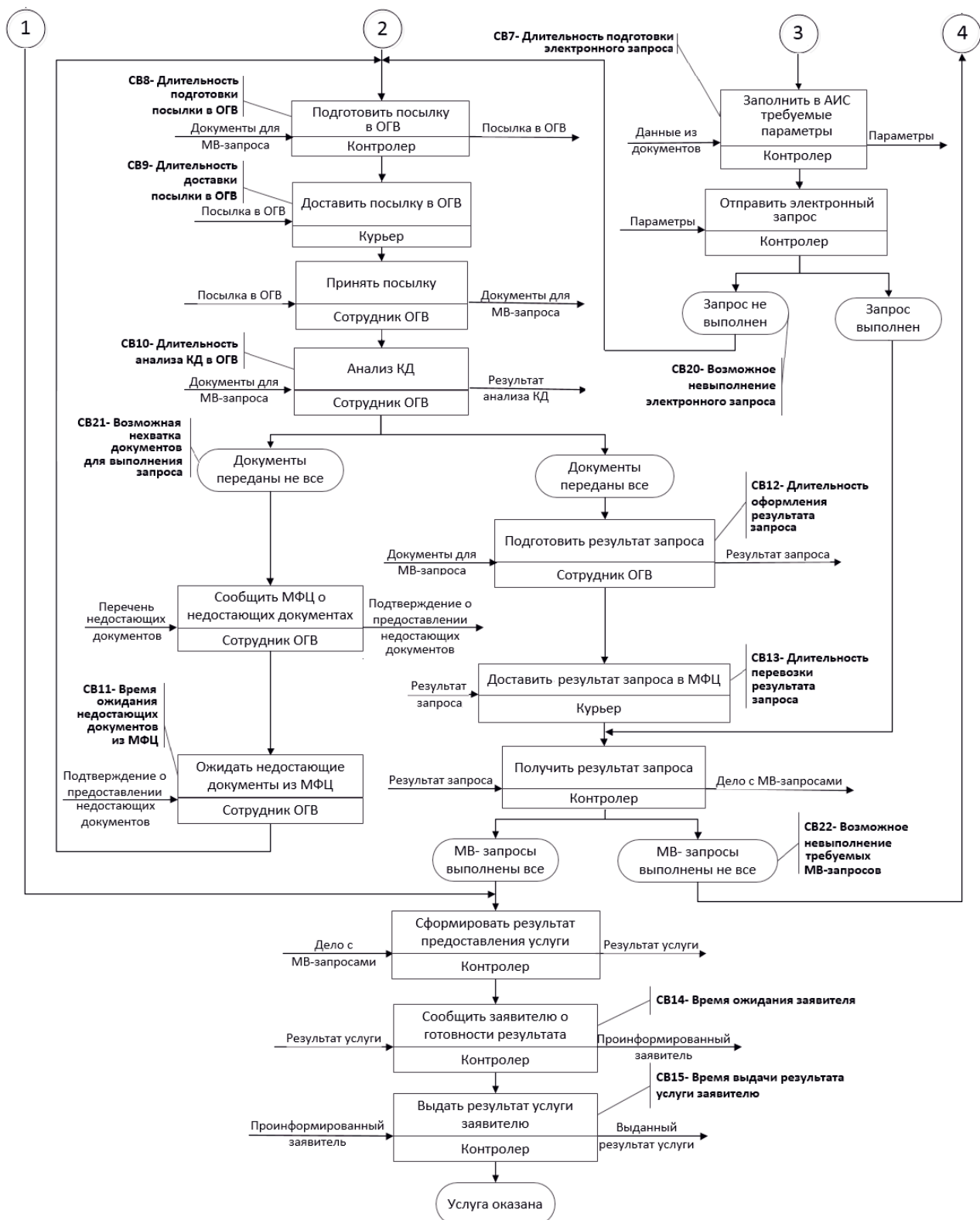


Рис. 2. (окончание)

ки СВ9. Получив КД, сотрудник ОГВ принимает его и приступает к анализу (СВ10), по результатам которого делает вывод, все ли документы, необходимые для выполнения запроса, у него на руках – см. СВ21. В случае отсутствия необходимых документов сотрудник ОГВ сообщает МФЦ об

этом – время ожидания недостающих документов из МФЦ соответствует СВ11, после чего процесс возвращается на этап подготовки посылки в ОГВ. При наличии всех требуемых документов сотрудник ОГВ формирует результат запроса – длительность оформления результата составляет СВ12.

Далее курьер доставляет результат запроса в МФЦ – длительность доставки результата запроса есть СВ13.

Если МВ-запрос был выполнен (электронным способом или курьером), процесс переходит на этап получения контролером МФЦ результата запроса. Если осталась необходимость в отправке МВ-запросов (см. СВ22), процесс переходит на этап подготовки документов для отправки МВ-запросов в ОГВ до тех пор, пока каждый запрос в рамках данной услуги не будет выполнен. Если в рамках данной услуги нет необходимости в отправке МВ-запросов в ОГВ (отсутствуют промежуточные запросы, а типовой вариант результата услуги имеется в МФЦ) или все МВ-запросы были выполнены, то процесс переходит на этап формирования результата предоставления услуги, целью которого является подготовка итогового документа для выдачи заявителю. Далее контролер сообщает заявителю о готовности результата услуги – время ожидания заявителя составляет СВ14. В завершение сотрудник МФЦ выдает результат услуги заявителю (время выдачи результата услуги СВ15), после чего услуга считается оказанной.

Моделирующий алгоритм бизнес-процесса

Моделирующий алгоритм является ядром СИМ-модели, благодаря которому имитируется (воспроизводится) функционирование моделируемого объекта подобно тому, как это происходит в реальности. Известны два типа моделирующих алгоритмов: с детерминированным шагом и со случайным шагом. Независимо от типа алгоритм раскладывает процесс моделирования на простейшие шаги, последовательность выполнения которых формирует соответствующую СИМ-модель: алгоритм должен быть прост и понятен, логично выстроен и подробно описан.

Для тестового бизнес-процесса выбран механизм продвижения модельного времени со случайным шагом. Первоначально составляется обобщенный моделирующий алгоритм, «раскладывающий» имитацию на ряд укрупненных блоков, логично следующих друг за другом. Далее блоки укрупненного алгоритма детализируются, образуя более подробный, детальный алгоритм.

Моделируемый бизнес-процесс предоставления услуги можно представить как работу системы массового обслуживания (СМО), где происходит поступление и обслуживание заявок. Поступление заявок реализуют приходящие в МФЦ заявители, их поток задается расписанием интенсивностей (см. СВ23), затем эти заявки обслуживаются и

покидают СМО: либо удовлетворив потребности заявителей, либо нет (см. СВ17).

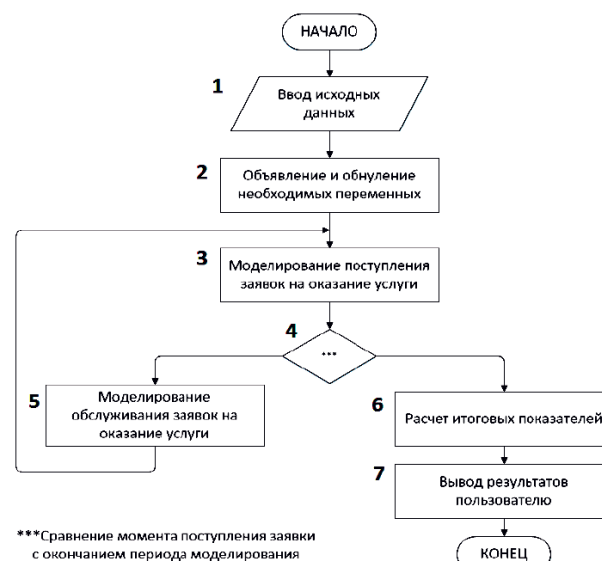


Рис. 3. Укрупненный алгоритм моделирования

В укрупненном виде моделирование тестового бизнес-процесса можно разделить на два этапа: моделирование поступления заявок и моделирование обслуживания заявок. При поступлении в СМО заявки срабатывает блок сравнения, где осуществляется проверка, закончен период моделирования T (то есть готова ли СМО обслужить ее) или нет. Также необходимы вспомогательные блоки, реализующие следующие процедуры: ввод исходных данных; объявление и обнуление переменных; расчет итоговых показателей; вывод результатов пользователю. Полученный укрупненный алгоритм приведен на рис. 3.

Алгоритм начинается с ввода исходных данных пользователем – это блок 1, где необходимо ввести значения параметров СИМ-модели, с помощью которых пользователь может менять условия моделирования, а также параметры законов распределения СВ. Блок 2 предназначен для объявления и обнуления переменных, используемых в модели, – эти переменные будут менять свои значения в процессе моделирования, а к моменту окончания должны содержать итоговые значения, необходимые пользователю. Далее следует блок 3, это один из основных блоков, предназначенный для моделирования поступления заявок в СМО согласно закону распределения вероятностей, а также для учета этих заявок. В блоке 4 происходит сравнение времени поступления очередной заявки с периодом моделирования T – если время не выходит за пределы моделирования, то заявка передается блоку 5 для последующей обработки. Если же время

выходит за период T , то осуществляется переход к блоку 6. Блок 5 моделирует обслуживание заявки и передает управления блоку 3 для моделирования поступления новой заявки. Переход к блоку 6 означает окончание периода моделирования T – здесь производится расчет итоговых показателей, характеризующих функционирование процесса в течение заданного времени. Заключительным шагом является срабатывание блока 7, который отвечает за вывод результатов пользователю.

Детальный алгоритм моделирования показан на рис. 4. Он также начинается в блоке 1 с ввода в СИМ-модель следующих исходных данных:

- период моделирования T ;
- вероятность отсутствия документов в КД Pnehdockd;
- вероятность отказа в предоставлении услуги Potkus;
- вероятность отсутствия МВ-запросов в ОГВ Potszap;
- вероятность отсутствия документов для выполнения запроса Pnehdoczap;
- вероятность невыполнения электронного запроса Pnelzap;
- вероятность невыполнения требуемых МВ-запросов Pnvzap;
- вероятность отправки запроса электронно Potelzap;
- параметры законов распределения CB1-CB15.

В блоке 2 происходит объявление и обнуление следующих переменных СИМ-модели:

- текущее модельное время t ;
- время поступления последней заявки на оказание услуги $tpost$;
- текущее число поступивших заявок на оказание услуги $kpost$;
- текущее число оказанных услуг $kokaz$;
- текущее число отказов $kotk$;
- текущее число МВ-запросов в ОГВ $kzapogv$;
- текущее число невыполненных электронных запросов в ОГВ $knelzap$;
- текущее число выполненных электронных запросов в ОГВ $kvelzap$;
- текущее число отправленных запросов в ОГВ курьером $kzapkur$.

Блок 3 моделирует поступление очередной заявки – для этого генерируется CB23, которая прибавляется к времени поступления последней заявки $tpost = tpost + CB23$. В блоке 4 поступление последней заявки сравнивается с периодом моделирования: если $tpost \leq T$, то управление передается в блок 5, где счетчик поступления заявок $kpost$ увеличивается на единицу. Если же $tpost >$

T , то осуществляется переход к блоку 38. Далее в блоке 6 осуществляется моделирование длительности приема документов CB1 и модельное время продвигается на соответствующую величину: $tpost = tpost + CB1$. В блоке 7 моделируется возможное отсутствие документов в КД (см. CB16), и блок 8 осуществляет сравнение смоделированного значения CB16 с исходно заданным параметром: если $CB16 \leq Pnehdockd$, то в КД не хватает обязательных документов и алгоритм передает управление в блок 9, где моделируется время ожидания недостающих документов и модельное время продвигается на соответствующую величину: $t = t + CB2$. Если же $CB16 > Pnehdockd$, что соответствует наличию всех документов в КД, управление сразу переходит к блоку 12, где моделируется CB17.

Блок 10 моделирует длительность приема недостающих документов CB3 и обеспечивает продвижение модельного времени на величину $t = t + CB3$. Блок 11 моделирует длительность анализа КД CB4 и обеспечивает продвижение модельного времени на величину $t = t + CB4$. В блоке 12 моделируется возможный отказ в предоставлении услуги CB17; в блоке 13 смоделированное значение CB17 сравнивается с исходно заданным параметром: если $CB17 \leq Potkus$, что означает отказ заявителю в предоставлении услуги, алгоритм передает управление блоку 3, где моделируется поступление новой заявки.

Если $CB17 > Potkus$, то есть услуга будет оказана заявителю, алгоритм передает управление блоку 14, где моделируется длительность анализа поступившего дела CB5 и осуществляется продвижение модельного времени на величину $t = t + CB5$.

В блоке 15 моделируется возможное отсутствие необходимости в отправке МВ-запроса в ОГВ CB18; в блоке 16 осуществляется сравнение смоделированного значения CB18 с исходно заданным параметром: если $CB18 \leq Potszap$ (это означает, что необходимость МВ-запросов в ОГВ отсутствует), алгоритм передает управление в блок 36, где осуществляются моделирование срока ожидания заявителем CB14 и продвижение модельного времени на величину $t = t + CB14$. В противном случае, при $CB18 > Potszap$, есть необходимость в отправке МВ-запросов в ОГВ и алгоритм передает управление в блок 17, где увеличивается счетчик числа МВ-запросов в ОГВ $kzapogv = kzapogv + 1$.

Блок 18 моделирует длительность подготовки документов для отправки МВ-запроса в ОГВ CB6 и обеспечивает продвижение модельного времени на величину $t = t + CB6$. В блоке 19 моделируется возможная отправка запроса элек-

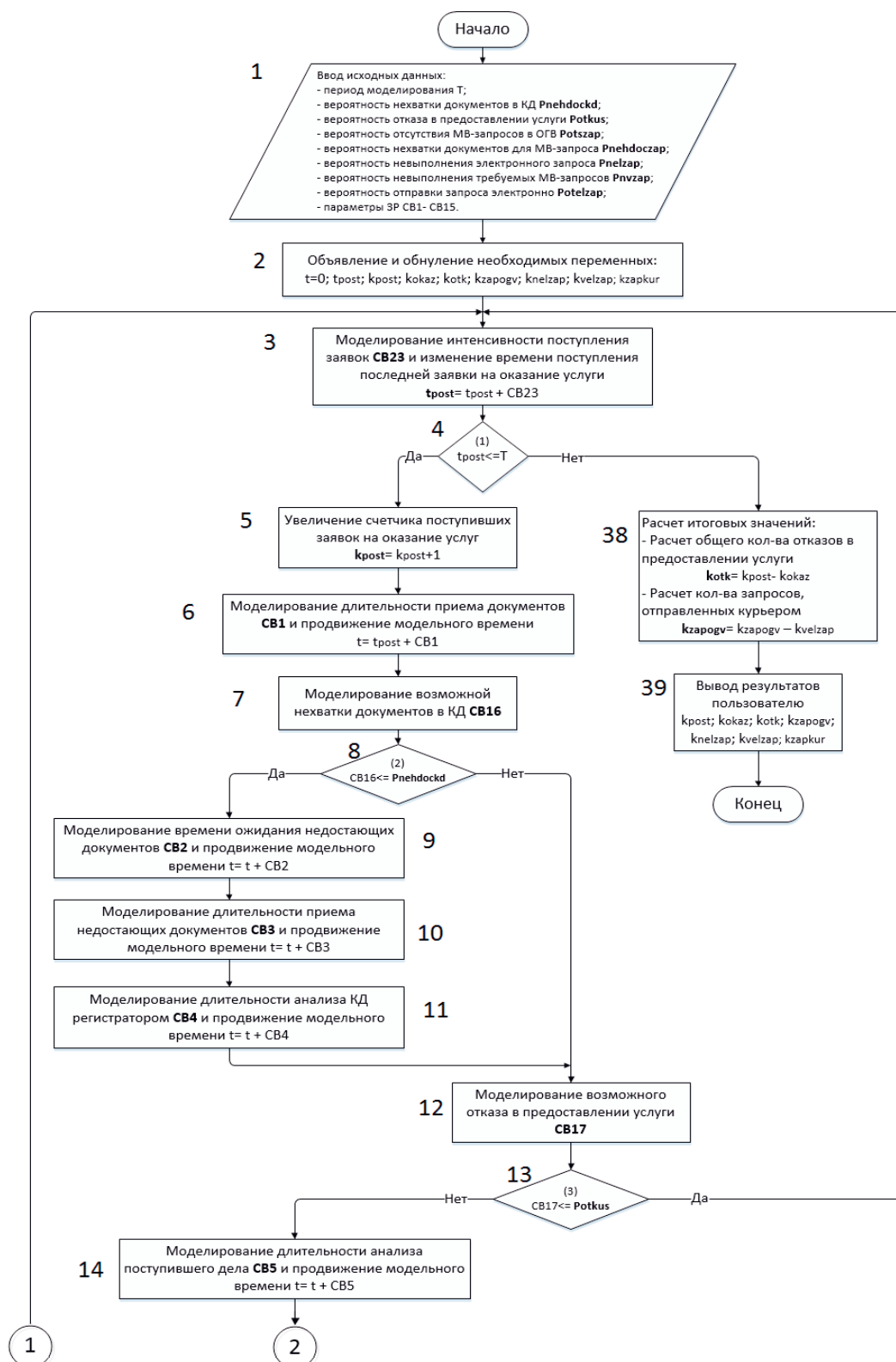


Рис. 4. Детальный алгоритм моделирования

тронным способом (см. СБ19); блок 20 сравнивает смоделированное значение СБ19 с исходно заданным параметром: если $CB19 \leq Potelzap$, это означает, что осуществляется отправка запроса электронным способом и алгоритм передает управление в блок 21, где моделируется

длительность подготовки электронного запроса СБ7. В противном случае, при $CB19 > Potelzap$, что соответствует необходимости отправки МВ-запроса с курьером, алгоритм передает управление блоку 26. Блок 21 моделирует длительность подготовки электронного запроса СБ7 и обеспе-

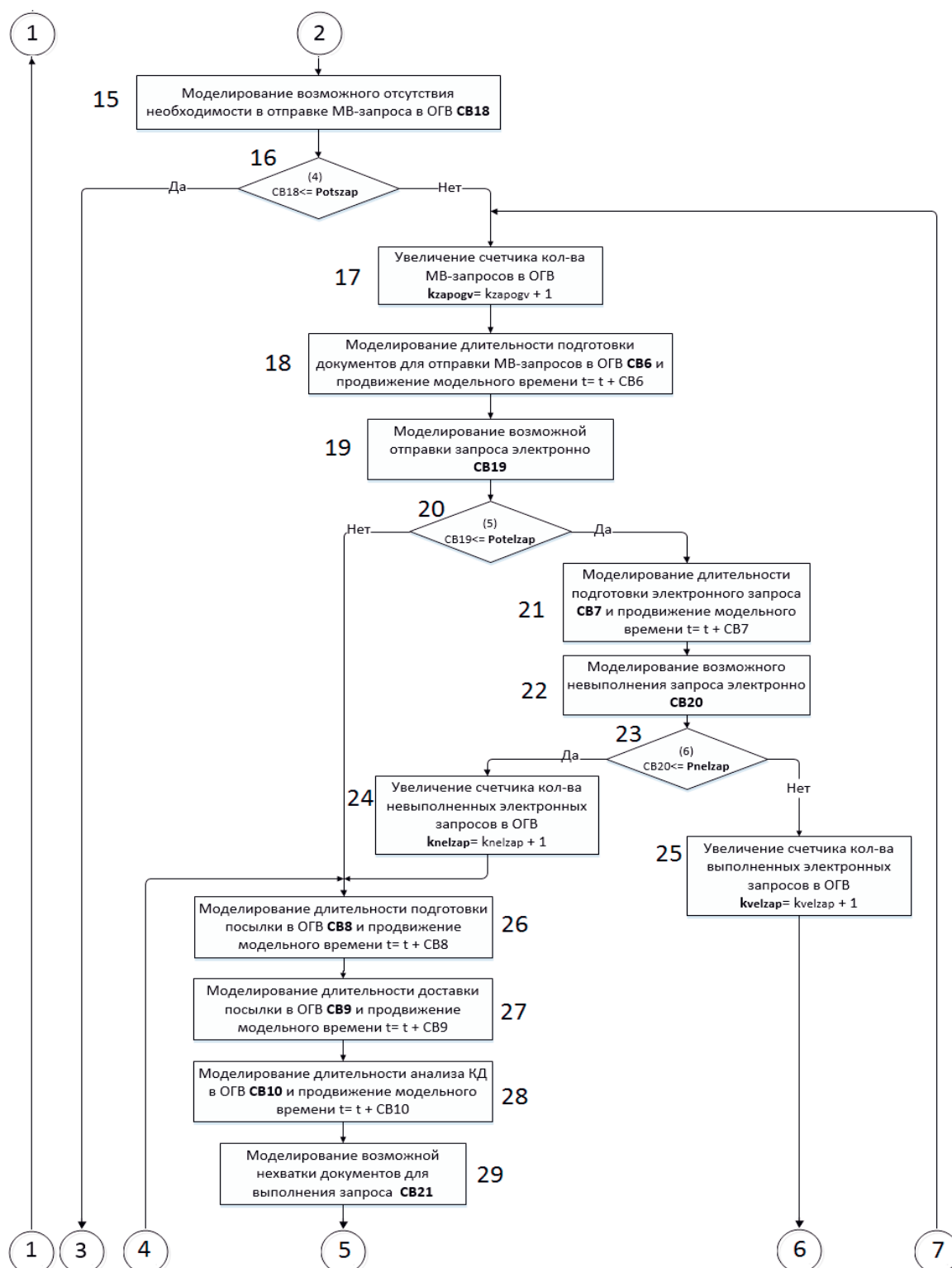


Рис. 4 (продолжение)

чивает продвижение модельного времени на величину $t = t + CB7$.

Блок 22 моделирует возможное невыполнение запроса электронным способом СВ20, в блоке 23 осуществляется сравнение смоделированного значения СВ20 с исходно заданным параметром: если $CB20 > Pnelzip$, это означает, что электронный запрос успешно выполнен и алгоритм пере-

дает управление блоку 25, где срабатывает счетчик числа выполненных электронных МВ-запросов в ОГВ: $kvelzip = kvelzip + 1$, после чего управление переходит в блок 34. В противном случае, при $CB20 \leq Pnelzip$, то есть электронный запрос не был успешным, управление переходит в блок 24, где срабатывает счетчик числа невыполненных электронных запросов в ОГВ: $knelzip = knelzip + 1$.

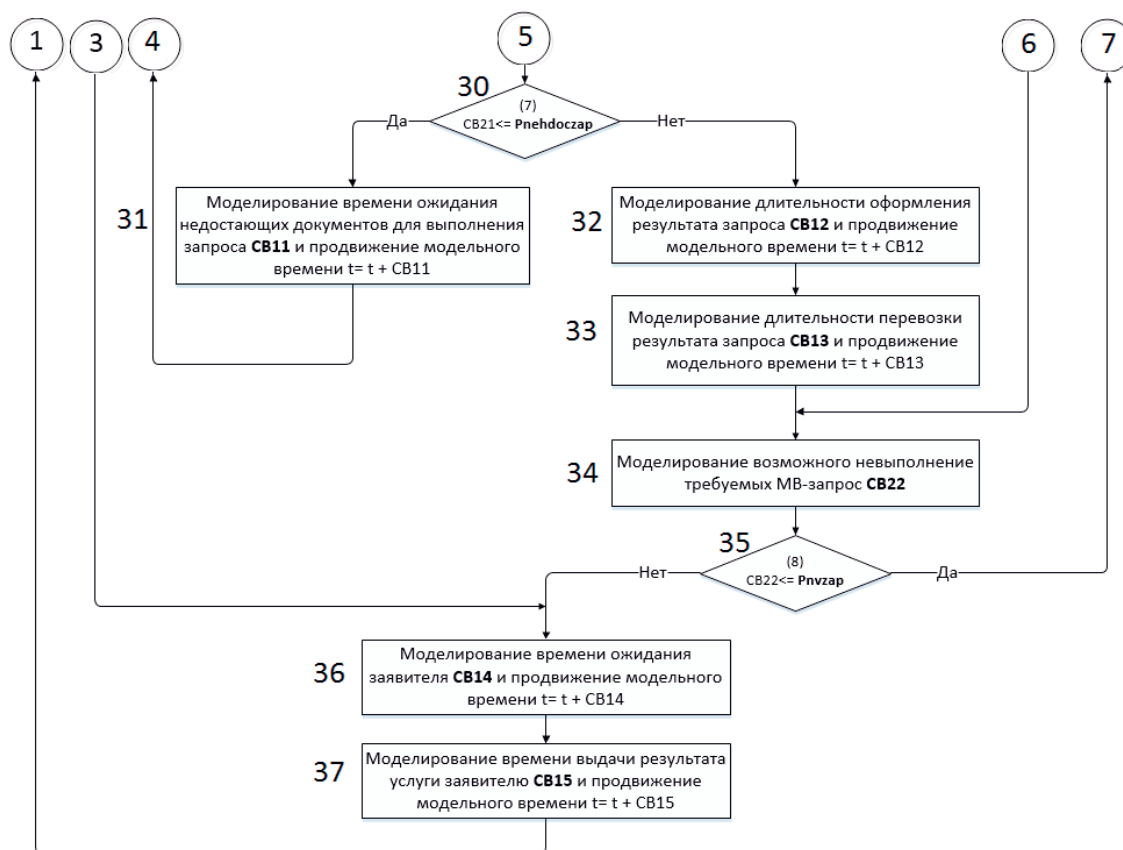


Рис. 4 (окончание)

Блок 26 моделирует СВ8 – длительность подготовки посылки в ОГВ и продвигает модельное время на величину $t = t + СВ8$. В блоке 27 осуществляются моделирование СВ9 – это длительность доставки посылки в ОГВ, а также продвижение модельного времени на величину $t = t + СВ9$. Блок 28 моделирует СВ10 – длительность анализа КД в ОГВ и обеспечивает продвижение модельного времени $t = t + СВ10$. В блоке 29 моделируется возможная нехватка документов для выполнения запроса СВ21; блок 30 сравнивает смоделированное значение СВ21 с исходно заданным параметром: если $СВ21 \leq Pnehdoczap$ (это означает, что в КД не хватает обязательных документов для выполнения запроса), алгоритм передает управление блоку 31, где осуществляется моделирование СВ11 и продвижение модельного времени $t = t + СВ11$. Затем управление передается блоку 26 для доставки из МФЦ в ОГВ недостающих документов – в противном случае, если $СВ21 > Pnehdoczap$, то есть в КД присутствуют все обязательные документы, управление передается блоку 32, который моделирует длительность оформления результата запроса СВ12 и продвижение модельного времени $t = t + СВ12$.

Блок 33 моделирует длительность доставки результата запроса СВ13 и обеспечивает продвижение модельного времени на величину $t = t + СВ13$. В блоке 34 моделируется возможное невыполнение требуемых МВ-запросов СВ22; блок 35 сравнивает смоделированное значение СВ22 с исходно заданным параметром: если $СВ22 \leq Pnvzap$ (это означает, что невыполненные МВ-запросы остались), управление передается блоку 17, и эта процедура будет продолжаться до тех пор, пока по всем МВ-запросам не будут получены результаты. В противном случае, если $СВ22 > Pnvzap$, то есть МВ-запросы выполнены все, управление передается блоку 36, где моделируется время ожидания заявителя СВ14 и осуществляется продвижение модельного времени $t = t + СВ14$.

Блок 37 моделирует время выдачи результата услуги заявителю СВ15 и обеспечивает продвижение модельного времени на величину $t = t + СВ15$, после чего управление передается блоку 3. Завершают алгоритм срабатывание блока 38, в котором производится расчет итоговых значений $kotk$ и $kzapkogv$, и блок 39 – осуществляющий вывод пользователю результатов моделирования в виде текущих значений $kpost$; $kokaz$; $kotk$; $kzapogv$; $knelzap$; $kvelzap$; $kzapkogv$.

Программная реализация моделируемого бизнес-процесса

Среда имитационного моделирования AnyLogic [8; 11] – это первый и единственный пока программный инструмент отечественной разработки, объединивший методы системной динамики, «процессного» дискретно-событийного и агентного моделирования в одном языке Java и в одной среде разработки СИМ-моделей. Гибкость AnyLogic позволяет отражать динамику сложных и разнородных экономических и социальных систем на любом желаемом уровне абстракции; среда поддерживает множество разнообразных типов экспериментов с моделями: простой прогон, сравнение прогонов, варьирование параметров, применение метода Монте-Карло (ММК), анализ чувствительности, калибровка (тестирование) и оптимизация СИМ-модели, а также проведение эксперимента по сценарию пользователя. Имитационная модель, построенная в среде AnyLogic, позволяет наглядно и убедительно выявлять узкие места бизнес-процесса, а затем устранять их, повышая уровень удовлетворенности клиентов, а также прогнозировать оптимальное время работы СМО на каждом этапе реализации бизнес-процесса.

Модель тестового бизнес-процесса строится с «нуля»: принимается, что МФЦ представляет собой СМО, построение СИМ-модели которой выполняется при помощи элементов библиотеки AnyLogic, где в качестве агентов фигурируют за-

явки на оказание услуг и для построения СИМ-модели используются следующие элементы:

- Source – создает агентов (заявки в СМО);
- Queue – моделирует очередь агентов, ожидающих приема объектами;
- Service – «захватывает» для агента заданное количество ресурсов, задерживает их, а затем освобождает захваченные им ресурсы;
- ResourcePool – задает набор ресурсов, которые могут захватываться и освобождаться агентами с помощью объекта Service (моделирует узел обслуживания с использованием ресурсов);
- Delay – задерживает агентов на заданный период времени (моделирует узел обслуживания без использования ресурсов);
- SelectOutput – этот объект направляет входящие заявки в один из двух выходных портов в зависимости от выполнения заданного (детерминистического или вероятностного) условия;
- Sink – принимает отработанные заявки, используется в качестве конечной точки потока агентов;
- TimeMeasureStart и TimeMeasureEnd – пара объектов, позволяющая измерить время, проведенное агентами между двумя точками диаграммы процесса, в данном случае они используются для измерения среднего времени предоставления услуги;
- Batch – преобразует заданное число поступающих в объект агентов в одного агента-пар-

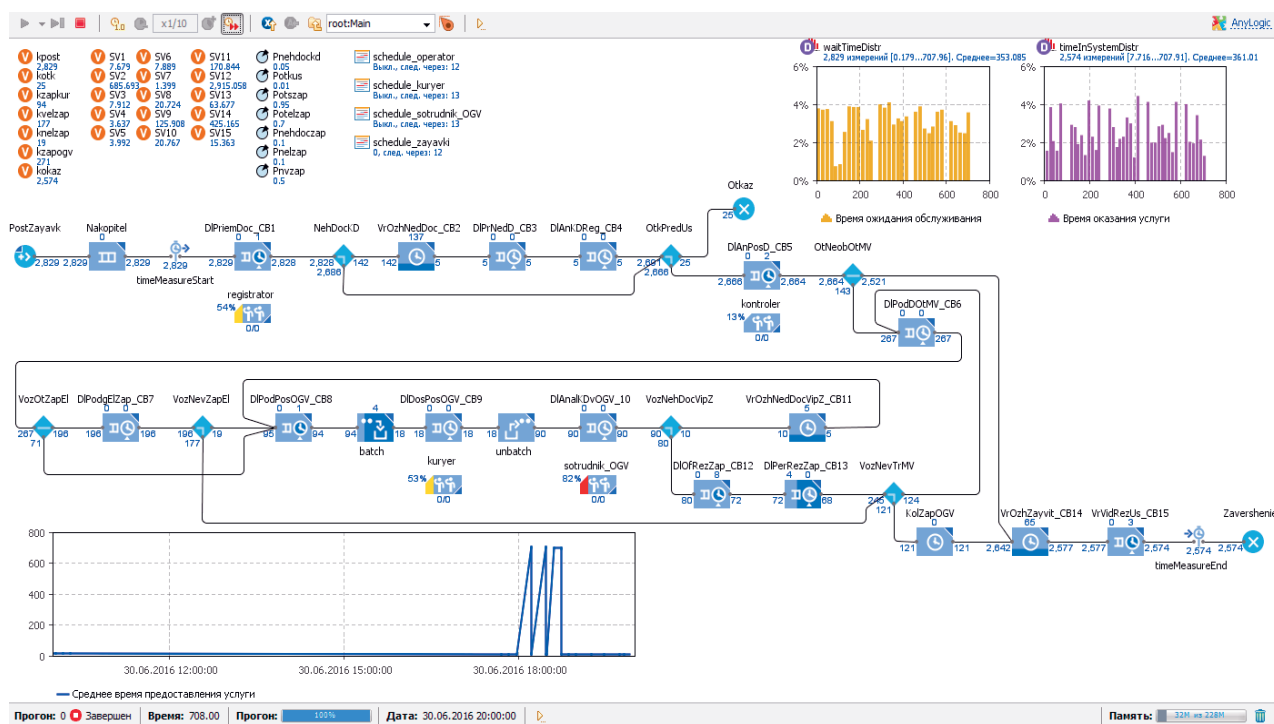


Рис. 5. Схема тестового бизнес-процесса «Предоставление государственных и муниципальных услуг» в среде AnyLogic

тию, объект используется для накопления документов для групповой отправки в ОГВ;

– Unbatch – извлекает всех агентов, содержащихся в поступающем агенте (который представляет собой партию агентов), и пересылает их далее поочередно через выходной порт, со-

храняя порядок, в котором они хранились в партии.

Элементы среды AnyLogic, задействованные в схеме моделирования тестового бизнес-процесса, а также дополнительные сведения о них, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Элементы AnyLogic в схеме бизнес-процесса

Имя объекта	Элементы библиотеки AnyLogic	Наименование случайной величины	Переменные, параметры	Дополнительные сведения
PostZayavk	Source	CB23 – интенсивность поступления заявок (чел/час)	kpost	Моделирует заявки согласно расписанию интенсивностей и ведет подсчет числа поступивших заявок на оказание услуги: $kpost = kpost + 1$
Nakopitel	Queue	–	–	
DIPriemDoc_CB1	Service	CB1 – длительность приема документов	SV1	Тип ресурса: registrator (регистратор)
registrator	ResourcePool	–	–	Количество ресурсов 6 чел. задано расписанием доступности
NehDocKD	SelectOutput	CB16 – возможное отсутствие документов в КД	Pnehdockd	Задается параметром Вероятность отсутствия документов в КД Pnehdockd
VrOzhNedDoc_CB2	Delay	CB2 – время ожидания недостающих документов	SV2	
DIPrNedD_CB3	Service	CB3 – длительность приема недостающих документов	SV3	Тип ресурса: registrator (регистратор).
DIAnKDRReg_CB4	Service	CB4 – длительность анализа КД регистратором	SV4	Тип ресурса: registrator (регистратор).
OtkPredUs	SelectOutput	CB17 – возможный отказ в предоставлении услуги	Potkus	Задается параметром Вероятность отказа в предоставлении услуги Potkus
Otkaz	Sink	–	kotk	Используется в качестве конечной точки потока агентов, если $CB17 \leq Potkus$; ведет подсчет числа отказов $kotk = kotk + 1$
DIAnPosD_CB5	Service	CB5 – длительность анализа поступившего КД	SV5	Тип ресурса: kontroler (контролер).
OtNeobOtMV	SelectOutput	CB18 – возможное отсутствие необходимости в отправке МВ-запросов в ОГВ	Potszap	Задается параметром Вероятность отсутствия МВ-запросов в ОГВ Potszap
DIPodDOTMV_CB6	Service	CB6 – длительность подготовки документов для отправки МВ-запроса в ОГВ	SV6	Тип ресурса: kontroler (контролер).
VozOtZapEl	SelectOutput	CB19 – возможная отправка запроса электронным способом	Potelzap	Задается параметром Вероятность невыполнения электронного запроса Pnelzap
DIPodgElZap_CB7	Service	CB7 – длительность подготовки электронного запроса	SV7	Тип ресурса: kontroler (контролер).
VozNevZapEl	SelectOutput	CB20 – возможное невыполнение электронного запроса	Pnelzap knelzap kvelzap	Задается параметром Вероятность невыполнения электронного запроса Pnelzap; ведет подсчет числа невыполненных электронных запросов в ОГВ: $knelzap = knelzap + 1$; ведет подсчет числа выполненных электронных запросов в ОГВ: $kvelzap = kvelzap + 1$

DIPOsOGV_CB8	Service	CB8 – длительность подготовки посылки в ОГВ	SV8	Тип ресурса: kontroler (контролер).
DIPOsOGV_CB9	Service	CB9 – длительность доставки посылки в ОГВ	SV9	Тип ресурса: kuryer (курьер).
kuryer	ResourcePool	–	–	Количество ресурсов 1 чел. задано расписанием доступности
DIAnalkDvOGV_10	Service	CB10 – длительность анализа КД в ОГВ	SV10	Тип ресурса: sotrudnik_OGV (сотрудник ОГВ)
sotrudnik_OGV	ResourcePool	–	–	Количество ресурсов 10 чел. задано расписанием доступности
VozNehDocVipZ	SelectOutput	CB21 – возможное отсутствие документов для выполнения запроса	Pnehdoczap	Задается параметром Вероятность нехватки документов для выполнения запроса Pnehdoczap
VrOzhNedDocVipZ_CB11	Delay	CB11 – время ожидания недостающих документов из МФЦ	SV11	
DIOfRezZap_CB12	Service	CB12 – длительность оформления результата запроса	SV12	Тип ресурса: sotrudnik_OGV (сотрудник ОГВ)
DIPerRezZap_CB13	Service	CB13 – длительность перевозки результата запроса	SV13	Тип ресурса: kuryer (курьер).
VozNevTrMV	SelectOutput	CB22 – возможное невыполнение требуемых МВ-запросов	Pnvzap	Задается параметром Вероятность невыполнения требуемых МВ-запросов Pnvzap
KolZapOGV	Delay	–	kzapogv	Объект имеет нулевое время задержки, так как он необходим только для подсчета промежуточного значения – числа запросов в ОГВ: $kzapogv = kzapkur + kvelzap$
VrOzhZayvit_CB14	Delay	CB14 – время ожидания заявителя	SV14	
VrVidRezUs_CB15	Service	CB15 – время выдачи результата услуги заявителю	SV15 kokaz	Тип ресурса: registrator (регистратор); ведет подсчет текущего числа оказанных услуг: $kokaz = kokaz + 1$
Zavershenie	Sink	–	–	Используется в качестве конечной точки потока агентов, когда услуга считается предоставленной

Заключение

В первой части статьи представлена СИМ-модель тестового бизнес-процесса «Предоставление государственных и муниципальных услуг» МФЦ областного уровня, необходимая для исследования кумулятивности исходных данных, оказывающей влияние на эффективность СИМ сложной системы нерефлекторного типа.

Литература

1. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем. М.: Наука, 1975. – 528 с.
2. Лотов А.В., Моисеев Н.Н., Петров А.А. Некоторые вопросы моделирования программного метода управления социально-экономической системой // Модели и алгоритмы программно-
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. – 380 с.
4. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика). Пер. с англ. М.: Прогресс, 1971. – 310 с.
5. Димов Э.М., Маслов О.Н., Пчеляков С.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Ч. 2. Имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. – 350 с.
6. Ануфриев Д.П., Димов Э.М., Маслов О.Н. и др. Статистическое имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в социально-

го метода планирования сложных систем. М.: Изд. ВЦ АН СССР, 1279. – С. 4-10.

- экономических системах. Астрахань: Изд-во АСТИСИ, 2015. – 366 с.
7. Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Снижение неопределенности выбора управленческих решений с помощью метода статистического имитационного моделирования // Информационные технологии. №6, 2014. – С. 51-57.
 8. Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Выбор средств программного обеспечения статистического имитационного моделирования // Информационные технологии. Т.21, №2, 2015. – С. 132-139.
 9. Димов Э.М., Маслов О.Н., Раков А.С. Управление информационной безопасностью корпорации с применением критериев риска и ожидаемой полезности // Информационные технологии. Т.22, №8, 2016. – С. 620-627.
 10. Винер Н. Творец и робот. Пер. с англ. М.: Прогресс, 1996. – 104 с.
 11. Ануфриев Д.П., Димов Э.М., Маслов О.Н., Халимов Р.Р. Сравнительная эффективность методов и средств информационной поддержки управленческих решений // ИКТ. 12, №1, 2014. – С. 54-67.
 12. Маслов О.Н. Моделирование неопределенностей // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. №9, 2014. – С. 79-84.
- Получено 20.10.2016*

Ваулина Кристина Владимировна, магистрант Кафедры экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. (8-846) 228-00-36, 8-927-016-98-11.

Маслов Олег Николаевич, д.т.н., профессор, заведующий Кафедрой ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-902-371-06-24. E-mail: maslov@psati.ru

INITIAL DATA UNCERTAINTY INFLUENCE ON EFFECTIVENESS OF NON-REFLECTIVE SYSTEM STATISTICAL SIMULATION. PART 1. TEST STATISTICAL SIMULATION MODEL

Maslov O.N., Vaulina K.V.

Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russian Federation

E-mail: maslov@psati.ru

This work is concerned with problem of analysis of initial data uncertainty influence on statistical simulation results. We researched a complex hierarchical non-reflective system. The uncertainty of the initial data is taken into account during formation of random numerical values by modeling of stochastic factors, which have an influence on the non-reflective system operation. The first part of work presents statistical simulation model for business process of Tyumen region Multifunctional center for provision of public and municipal services that was selected as the test object. We propose verbal model for testing both business process and simulation algorithm with its implementation by software AnyLogic. Second part of work will present analysis by the example of selected test models to estimate influence of initial data uncertainties on statistical simulation model effectiveness.

Keywords: non-reflective systems, statistical simulation, Dimov-Maslov method, initial data uncertainty, test model

DOI: 10.18469/ikt.2016.14.4.07

Maslov Oleg Nikolayevich, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; the Head of Department of Economic Information Systems, Doctor of Technical Science, Professor. Tel.: +79023710624. E-mail: maslov@psati.ru

Vaulina Kristina Vladimirovna, Povolzhsky State University of Telecommunications and Informatics, 23 Lev Tolstoy str., Samara 443010, Russian Federation; student. Tel.: +78462280036, +79270169811

References

1. Moiseev N.N. *Elementy teorii optimal'nyh system* [Elements of the optimal systems theory]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 528 p.

2. Lotov A.V., Moiseev N.N., Petrov A.A. Nekotorye voprosy modelirovaniya programmnoy metoda upravleniya social'no-ehkonomicheskoy sistemoy [Some questions of modeling of program control method of socio-economic system]. *Modeli i algoritmy programmnoy metoda planirovaniya slozhnykh sistem*. Moscow, VC AN SSSR Publ., 1979. pp. 4-10.
3. Buslenko N.P. *Modelirovanie slozhnykh sistem* [Modeling of Complex Systems]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 380 p.
4. Forrester J. *Urban Dynamics*. Productivity Press, 1969. (Russ. ed. Forrester J. Osnovy kibernetiki predpriyatiya (industrial'naya dinamika). Moscow, Progress Publ., 1971. 310 p.)
5. Dimov E.M., Maslov O.N., Pcheljakov S.N., Skvorcov A.B. *Novye informacionnye tehnologii: podgotovka kadrov i obuchenie personala. Ch. 2. Imitacionnoye modelirovanie i upravlenie biznes-processami v infokommunikacijah* [New information technologies: personnel training. P.2. Simulation modelling and management of business processes in infocommunications]. Samara, SNC RAN Publ., 2008, 350 p.
6. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. *Statisticheskoye imitacionnoye modelirovanie i upravlenie biznes-processami v social'no-ekonomicheskikh sistemah* [Statistical simulation modeling and business process management in the socio-economic systems]. Astrahan, AstISI Publ., 2015. 366 p.
7. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. Snizhenie neopredelennosti vybora upravlencheskikh peshenij s pomoshh'yu metoda statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya [Reducing Uncertainty in a Choice of Management Decisions Using Statistical Simulation]. *Informacionnye tehnologii*, 2014, no. 6, pp. 51-57.
8. Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Ju.V. Vybory sredstv programmnoy obespecheniya statisticheskogo imitacionnogo modelirovaniya [Choice of the means of statistical software simulation] *Informacionnye tehnologii*, 2015, vol. 21, no. 2, pp. 132-139.
9. Dimov E.M., Maslov O.N., Rakov A.S. Upravlenie informacionnoy bezopasnost'yu korporatsii s primeneniem kriteriev riska i ozhidaemoy poleznosti [Information Security Management Corporation using of risk criteria and the expected utility] *Informacionnye tehnologii*, 2016, vol. 22, no. 8, pp. 620-627.
10. Viner N. *Tvorec i robot*. Russ. ed. Moscow, Progress Publ., 1996. 104 p.
11. Anufriev D.P., Dimov E.M., Maslov O.N., Halimov R.R. Sravnitel'naya ehffektivnost' metodov i sredstv informacionnoy podderzhki upravlencheskikh reshenij [Comparative efficiency of methods and tools to inform the management decisions]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2014, vol. 12, no. 1, pp. 54-67.
12. Maslov O.N. Modelirovanie neopredelennostey [Uncertainty modeling]. *Nejrokompyutery: razrabotka, primeneniye*, 2014, no. 9, pp. 79-84.

Received 20.10.2016

УДК 519.872.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОПУЛ В СТАТИСТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ТРАФИКА

Карташевский И.В.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ
E-mail: ivk@psuti.ru

В статье рассматривается использование копула-функций для анализа сильно коррелированного самоподобного трафика мультисервисных сетей, а также моделирования двумерных плотностей вероятности коррелированных случайных величин. Приводится определение копула-функций, а также коэффициентов ранговой корреляции Кендалла и Спирмена, учитывающих более тонкую структуру зависимости между отсчетами трафика. В качестве примера рассматривается построение копул Гумбеля, Клейтона, а также копул семейства Фарли-Гумбеля-Моргенштерна для двумерного логнормального распределения. Устанавливается связь между ранговыми коэффициентами корреляции и коэффициентом корреляции Пирсона.

Ключевые слова: копула, ранговая корреляция, двумерное логнормальное распределение, самоподобие, телекоммуникационный трафик

Введение

Как известно [1], современный трафик мультисервисных сетей обладает самоподобными свойствами. Свойство самоподобия означает, во-

первых, что отсчеты трафика обладают сильными корреляционными связями, во-вторых, что одномерные плотности вероятностей отсчетов трафика имеют так называемые «тяжелые» хвосты