

ДИНАМИКА РАЗРАБОТКИ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССА

Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В., Халимов Р.Р.

Статья посвящена описанию процесса разработки имитационных моделей для сложных и сложнейших экономических процессов в интересах повышения эффективности управления ими. Построение модели рассматривается на конкретном примере простого, но типизированного бизнес-процесса. Данная статья направлена на улучшение и расширение понимания зачастую очень сложного процесса создания имитационной модели бизнес-процессов социальных и экономических систем.

Ключевые слова: имитационное моделирование, имитационная модель, бизнес-процесс, социальная система, экономическая система, случайный фактор, случайная величина, алгоритм моделирования.

Введение

Основное достоинство метода статистического имитационного моделирования (СИМ) – его возможность учитывать случайные факторы, воздействующие на бизнес-процессы социальных и экономических систем и делающие результаты функционирования этих процессов слабо предсказуемыми. Создаваемая поведенческая модель бизнес-процесса учитывает влияние на него внутренних и внешних случайных факторов [4; 8]. К методу СИМ прибегают тогда, когда исследуемые процессы очень сложны и стохастичны. Поэтому важно формализовать описание бизнес-процесса в виде понятной, последовательной схемы, изображающей логику его функционирования. Также необходимо выделить случайные величины, которые необходимо будет учесть при моделировании процесса. Это и есть учет случайных факторов.

Заметим, что на этом этапе нужно найти оптимальную степень абстрагирования от несущественных деталей. С одной стороны, учет максимального числа случайных факторов сделает модель адекватной, точной и подробной, но наверняка перегруженной детальной информацией, поскольку результаты моделирования в этом случае будут, скорее всего, гораздо шире цели и конкретного запроса исследователя [4]. С другой стороны, если не будут учтены все необходимые для целей исследования случайные факторы, модель получится неадекватной, «игрушечной», непри-

годной для использования в экономической действительности, в частности – для поддержки лица, принимающего решения (ЛПР), в его работе.

Под бизнес-процессом, во-первых, может пониматься совокупность различных видов деятельности, в рамках которой «на входе» используются один или более видов ресурсов, и в результате этой деятельности «на выходе» создается продукт, представляющий ценность для потребителя [8-10; 14]. Применительно к сфере инфокоммуникаций большинство бизнес-процессов можно представить в виде функции выполнения заказов клиентов (заказчиков, абонентов, пользователей услуг, а в общем случае – требований на обслуживание), когда заказ (услуга, заявка) в широком случае рассматривается как то, что имеется «на входе» бизнес-процесса, а результатом будет являться исполнение заказа клиента (предоставление услуги, обслуживание заявки). Это и есть та ценность, которая создается данным бизнес-процессом [9].

Во-вторых, под бизнес-процессом можно понимать взаимосвязанную совокупность материальных, информационных, финансовых и (или) рабочих потоков, проходящих через взаимодействующие подразделения социальной или экономической системы и направленных на выполнение заказа клиента (предоставление услуги) [13]. Бизнес-процессы определяют прохождение потоков работ независимо от иерархии и границ подразделений, которые их выполняют, и представляют собой последовательность взаимосвязанных операций. В данном случае модель бизнес-процесса призвана иллюстрировать как направление потоков работ, так и бизнес-правила обработки событий, в зависимости от которых выполняются конкретные рабочие операции. Оба эти определения вполне подходят и к бизнес-процессам в социальной и экономической сфере, в том числе – в инфокоммуникациях.

Пример такого бизнес-процесса представлен на рис. 1: прямоугольниками показаны операции и указаны подразделения, которые их выполняют; скругленными прямоугольниками – события; стрелками, входящими и выходящими из операций, – обрабатываемые материальные, финансо-

вые, информационные объекты; кружками снизу от операций – используемые постоянные ресурсы; утолщенными стрелками – потоки управления.

Из рис.1 видно, что модель бизнес-процесса такого рода достаточно наглядно отражает присутствующие ему динамические потоки управления, информации и объектов.

Анализ бизнес-процесса

Рассмотрим бизнес-процесс выполнения заказа клиента. Это относительно простой процесс, но главное – типизированный для социальных и экономических систем. Поэтому динамика построения имитационной модели бизнес-процесса выполнения заказа клиента не

будет сильно отличаться в случае рассмотрения и анализа другого процесса. Действительно, большинство социальных и экономических процессов имеют похожую структуру, где «действующими лицами» являются работники различных подразделений предприятия, клиенты, продукты, услуги, оборудование, документы, денежные средства, разного рода ресурсы и другие элементы.

Ниже приведено содержательное описание бизнес-процесса выполнения заказа клиента, а также формализованное описание в виде схемы, иллюстрирующей управляющие и информационные потоки, исполнителей конкретных операций и используемые ресурсы.

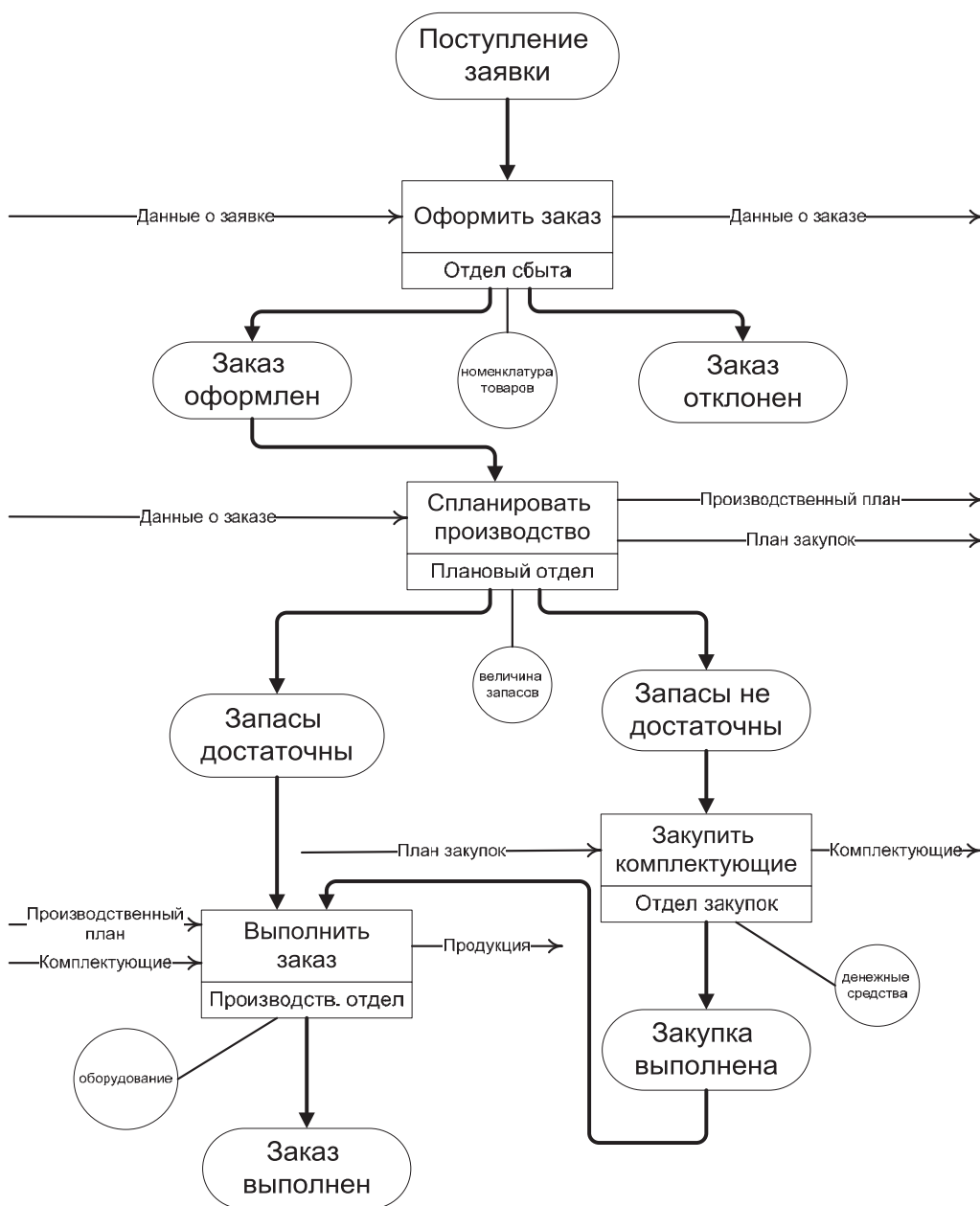


Рис. 1. Бизнес-процесс выполнения заказа клиента

Сразу обратим внимание на то, какие величины являются детерминированными, а какие случайными. Случайные величины (СВ) будем выделять и сразу нумеровать (например, СВ1, СВ2 и т.д.), чтобы после описания бизнес-процесса рассмотреть их более подробно.

Проведем анализ рассматриваемого бизнес-процесса в интересах имитационного моделирования и управления, то есть выполним под-

готовительный, концептуальный этап, который не может быть формализован, а потому требует особого подхода, учитывающего всю конкретику и особенности данного процесса. Бизнес-процесс выполнения заказа клиента является достаточно сложным в плане описания, формализации и моделирования. Это обусловлено прежде всего воздействием на него множества случайных факторов. В нем задействованы та-

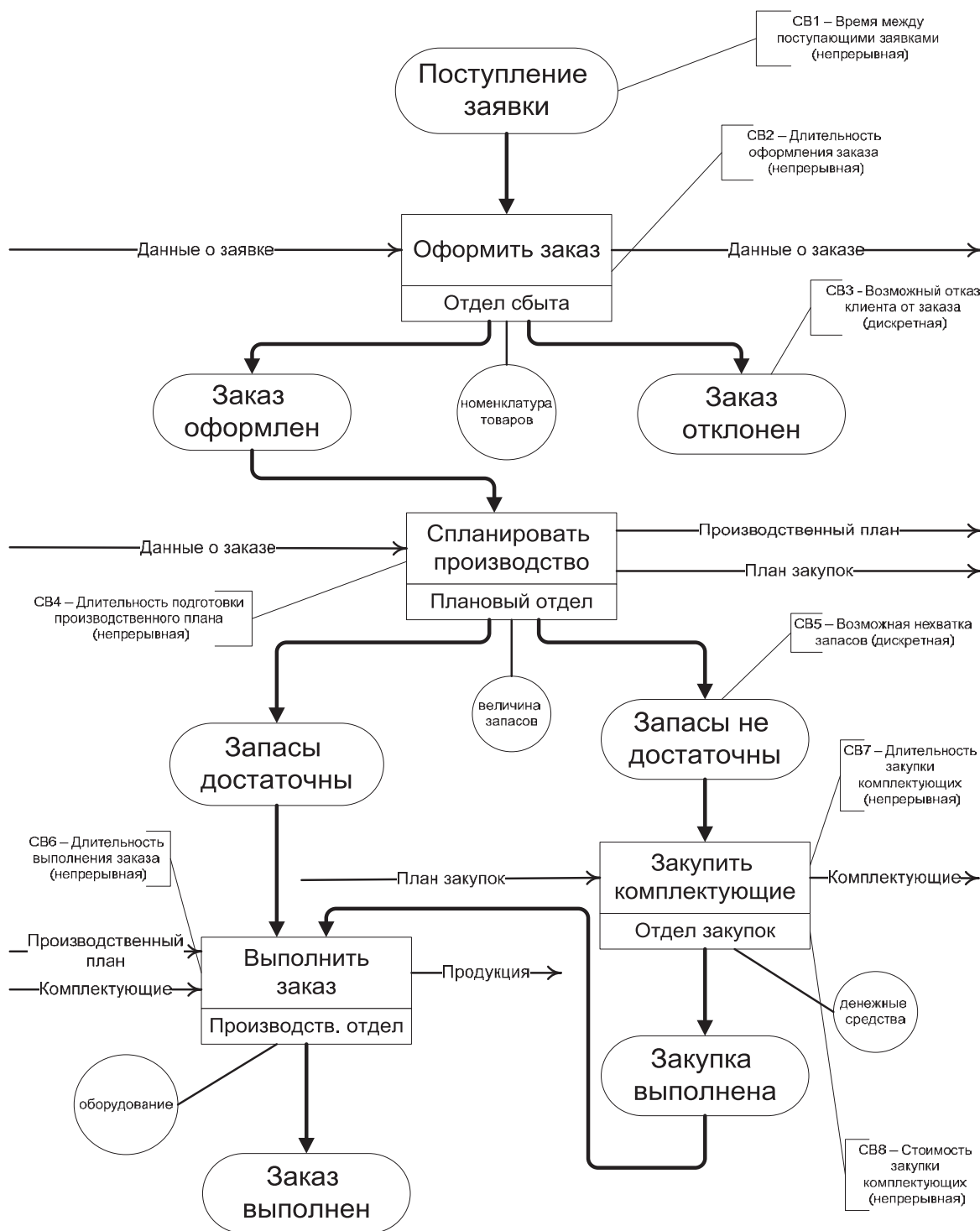


Рис. 2. Бизнес-процесс реализации заказа клиента со случайными величинами

кие крупные подразделения компании как отдел закупок, сбыта, плановый и производственный отделы. Также в бизнес-процессе задействованы и клиенты, которым реализуется продукция компании. Бизнес-процесс выполнения заказа клиента начинается с поступления заявки (см. рис. 2). Время между этими заявками случайно (СВ1), так как время появления следующего клиента предсказать достаточно сложно.

По приходе клиент попадает в отдел сбыта, где совместно с сотрудниками компании выясняются требования клиента, а также оцениваются возможности компании их удовлетворить. В качестве ресурса здесь выступает номенклатура товаров, которые предприятие может произвести. Если стороны находят взаимовыгодные условия, то составляется договор, содержащий данные о заказе, который затем передается в плановый отдел. Если же условия выполнения заказа фирмой клиента не устраивают, он покидает компанию необслуженным. Здесь случайно, во-первых, длительность оформления заказа (СВ2), так как в зависимости от индивидуальных условий оно может сильно варьироваться. Также результат этого этапа случаен, то есть будет ли заключен договор или же клиент не станет пользоваться предлагаемыми услугами (СВ3).

Далее плановым отделом выполняется планирование используемых ресурсов и производственных мощностей. Сотрудники опираются на данные об имеющихся запасах на складе. Длительность процесса планирования является случайной величиной (СВ4). В ситуации, когда запасов недостаточно для выполнения заказа, план закупок передается в соответствующий отдел. Возможная нехватка запасов также является случайной величиной (СВ5). Если же запасов достаточно, производственному отделу дается команда приступить к производству, и им передается соответствующий план.

Отдел закупок использует денежные средства компании для приобретения необходимых комплектующих. Длительность закупки (СВ7), а также сумма закупки (СВ8) величины непостоянные, то есть стохастические. Приобретенные комплектующие передаются в производственный отдел.

Когда все комплектующие есть в наличии, производственный отдел выполняет заказ клиента, отгружая ему в итоге готовую продукцию. Поскольку на процесс производства влияют случайные факторы, длительность этого этапа случайна (СВ6).

Учет случайных факторов

Одной из основных особенностей имитационного моделирования является учет случайных факторов, а точнее – их влияния на результаты протекания бизнес-процессов. Практически все бизнес-процессы социальной и экономической сфер подвержены воздействию случайных факторов, оказывающих негативное влияние на управление этими процессами. Задачей имитационного моделирования становится сбор и обработка статистических данных о случайных воздействиях на процессы и «формализация» этих воздействий, их моделирование в интересах управления.

Имитационное моделирование особенно практически полезно тогда, когда исследуемый процесс состоит из нескольких параллельно функционирующих во времени и взаимодействующих между собой этапов. Рассматриваемый бизнес-процесс такую особенность имеет, так как большинство его этапов выполняются одновременно. Например, пока клиент ожидает выполнения своего заказа, отдел сбыта работает с другими клиентами, в плановом отделе формируются планы производства и закупок, отдел закупок выполняет свои задачи, докупая необходимое сырье и комплектующие. Таким образом, в имитационной модели должен быть реализован параллельный или квазипараллельный механизм обработки событий.

Также необходимо выделить те аспекты бизнес-процесса, которые окажутся существенными при заданной цели имитационного моделирования, тем самым проигнорировав несущественные, которые могут усложнить проблему или сделать ее решение вовсе невозможным. Поскольку процесс выполнения заказа клиента довольно сложен, то следует попытаться с помощью такого абстрагирования от несущественных его аспектов ограничить эту сложность.

На бизнес-процесс выполнения заказа клиента влияет большое количество случайных факторов. Для того чтобы иметь возможность учесть влияние этих факторов с помощью метода имитационного моделирования, их необходимо формализовать и строго описать. Все факторы можно условно разделить на две группы. Первая группа описывается с помощью СВ с некоторыми законами распределения. Вторая группа может быть представлена случайными событиями (СС), которые могут возникать в определенные моменты времени. С учетом абстрагирования от несущественных деталей выделим следующие СВ и события:

1. Время между поступающими заявками (непрерывная СВ).
2. Длительность оформления заказа (непрерывная СВ).
3. Возможный отказ клиента от заказа (СС).
4. Длительность подготовки производственного плана (непрерывная СВ).
5. Возможная нехватка запасов (СС).
6. Длительность выполнения заказа (непрерывная СВ).
7. Длительность закупки комплектующих (непрерывная СВ).
8. Стоимость закупки комплектующих (непрерывная СВ).

Статистическое исследование

Для моделирования значений выделенных в предыдущем разделе СВ процесса необходимо произвести идентификацию законов распределения и оценку параметров распределения таких величин. Под идентификацией подразумевается определение для каждой СВ степени близости распределения эмпирических значений СВ (имеющейся по СВ статистической выборки) к известным и хорошо изученным законам распределения (нормальному, экспоненциальному, Пуассона и т.д.) и в результате определение закона, который наиболее точно описывает динамику значений СВ. Алгоритм моделирования СВ напрямую зависит от закона распределения, которому подчиняется данная величина, и значительно различается для различных законов распределения. В этой связи моделирование величин без предварительной идентификации их законов распределения невозможно.

Относительно простым и в то же время достаточно эффективным подходом к идентификации законов распределения СВ является подход, описанный в [2].

Данный подход предполагает выполнение следующих этапов идентификации:

1. Сбор и первичная обработка (расчет выборочного среднего, максимального и минимального значения выборки, размаха выборки) статистической выборки для каждой СВ.
2. Разбиение выборки на интервалы (например, с использованием формулы Стерджесса).
3. Построение гистограммы частот попадания значений непрерывной СВ в полученные интервалы и выдвижение на основе полученной гистограммы гипотезы о соответствии распределения значений СВ одному из известных законов распределения (нормальному, экспоненциальному и т.д.).

4. Проверка гипотезы одним из известных критериев согласия (Хи-квадрат Пирсона, критерий Колмогорова, Хи-квадрат Никулина, Андерсона-Дарлинга и т.д.). Опыт показывает, что наиболее простым в применении и в то же время достаточно эффективным для практических задач является критерий согласия Хи-квадрат Пирсона [5]. Если в результате применения критерия Хи-квадрат Пирсона возникают сомнения в определении закона распределения СВ (при близких альтернативах), необходимо использовать более мощные критерии, например Хи-квадрат Никулина или Андерсона-Дарлинга.

5. Принятие или опровержение выдвинутой гипотезы на основе рассчитанного значения критерия согласия.

6. Выдвижение новой гипотезы о соответствии распределения СВ одному из известных законов (в случае опровержения гипотезы на предыдущем шаге).

В рамках идентификации законов распределения также необходим расчет оценок параметров СВ – ее дисперсии, математического ожидания, среднеквадратического отклонения (СКО), которые впоследствии будут использованы при моделировании значений СВ.

Формализация бизнес-процесса

Определив законы распределения СВ процесса и оценки параметров таких величин, можно осуществить моделирование бизнес-процесса (строго говоря, значений СВ процесса) на основе (программных) алгоритмов, выбранных в соответствии с теми законами распределения, которым моделируемые величины подчиняются. Так как алгоритм моделирования СВ зависит непосредственно от ее закона распределения – то есть величина, имеющая определенный закон распределения, разыгрывается с помощью алгоритма, соответствующего такому закону, – такой алгоритм может быть различным для каждой СВ. В моделирующий алгоритм (реализованный в виде программного кода) подставляются параметры СВ процесса, и программный код выдает прогнозные значения СВ на заданный период.

Но для построения полноценной имитационной модели в моделирующий алгоритм помимо параметров СВ необходимо также ввести детерминированные параметры, такие, например, как период моделирования – интервал времени, на который необходимо получить прогнозные значения СВ (несколько часов, день, месяц, год и т.д.), стоимость ресурсов и т.д.

Относительно рассматриваемого в данной работе процесса можно выделить следующие параметры и переменные разрабатываемой имитационной модели:

- переменные, содержащие значения параметров распределения (полученных на этапе идентификации законов распределения) СВ1, – значения математического ожидания и/или СКО;
- переменные, содержащие значения параметров распределения СВ2, – значения математического ожидания и/или СКО;
- переменная, содержащая значение вероятности возможного отказа клиента от заказа (СВ3);
- переменные, содержащие значения параметров распределения СВ4, – значения математического ожидания и/или СКО;
- переменная, содержащая значение вероятности возможной нехватки запасов для выполнения заказа (СВ5);
- переменные, содержащие значения параметров распределения СВ6, – значения математического ожидания и/или СКО;
- переменные, содержащие значения параметров распределения СВ7, – значения математического ожидания и/или СКО;
- переменные, содержащие значения параметров распределения СВ8, – значения математического ожидания и/или СКО;
- параметр периода моделирования – задает длительность периода моделирования (или «горизонт прогноза»). Другими словами, это значение определяет то значение модельного времени T , до достижения которого будет повторяться алгоритм моделирования. После прогона модели на временном промежутке $(0, T)$ для удобства анализа бизнес-процесса ЛПР находятся обобщенные оценки – средние значения моделируемых СВ и величин, полученных на их основе;
- параметры, определяющие число повторений всего алгоритма (моделирования на промежутке $(0, T)$). Считается, чем больше таких итераций произведено при моделировании, тем точнее и достовернее будет результат. Существует фор-

мула, с помощью которой можно математически рассчитать необходимое число повторений для заданной точности результата. Она приведена, например, в [2; 7].

– параметры, определяющие затраты на каждый из этапов процесса. К таким параметрам в нашем случае относятся: часовая ставка специалиста, занимающегося оформлением заказов клиентов; часовая ставка специалистов, занимающихся подготовкой производственного плана; часовая ставка специалистов, задействованных в непосредственно выполнении заказа; часовая ставка специалистов, занимающихся закупкой необходимых для выполнения заказа комплектующих; часовые ставки прочих специалистов, участвующих в выполнении заказов клиентов. Данные значения (возможно, с учетом также и соответствующих премий в дополнение к почасовой оплате, а также стоимости расходных материалов и амортизации оборудования) умножаются на разыгранные в имитационной модели значения СВ длительности выполнения соответствующих этапов и в сумме дают общие затраты на выполнение процесса в целом.

Таким образом, определение параметров и переменных имитационной модели является важным этапом моделирования, так как именно от того, какие параметры и переменные будут использованы при моделировании процесса, зависит то, какие результаты получит ЛПР по завершении моделирования, а следовательно, и эффективность анализа такого моделируемого процесса и управления им.

После подробного содержательного описания бизнес-процесса, определения состава детерминированных и СВ, идентификации их законов распределения (с параметрами) необходима разработка математической схемы бизнес-процесса. Необходимость эта обусловлена тем, что моделирование бизнес-процесса на вычислительной машине возможно только при строгом описании бизнес-процесса, так как компьютер выполняет только четко определенные логические и вычис-

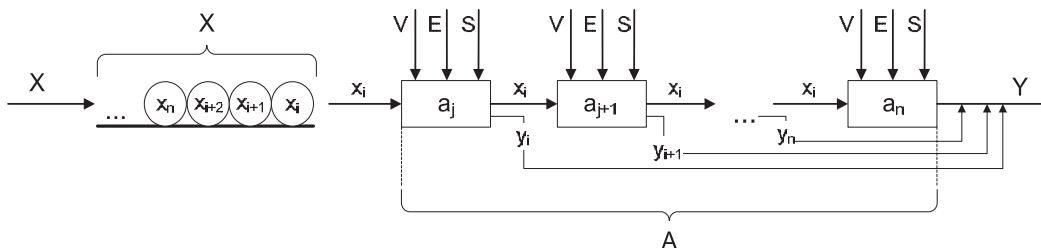


Рис. 3. Процесс обработки заявок клиентов в системе массового обслуживания

лительные операции. Таким образом, необходимо описать действия, связанные с моделированием бизнес-процесса в строгом, математическом виде.

На данном этапе существует два варианта разработки такого описания: взять одну из готовых, хорошо опробованных математических схем, наиболее подходящую к решению поставленных задач, или разработать новую математическую схему, описывающую данный, конкретный бизнес-процесс. Большинство социальных и экономических процессов хорошо описываются в терминах теории массового обслуживания [6]. Рассматриваемый нами бизнес-процесс можно также описать в виде многофазной системы массового обслуживания (СМО) с одним каналом обслуживания (см. рис. 3). Заявками на обслуживание будут являться клиенты (или их заказы), а каналами обслуживания – подразделения (отделы) предприятия, через которые проходят заказы клиента. В таком случае разработки новой математической схемы для данного процесса не потребуется.

Входящий поток заявок в рассматриваемом бизнес-процессе случаен и задается определенным законом распределения. Здесь имеет место так называемый простейший поток однородных событий [2]. Действительно, количество заявок в единицу времени распределено по закону Пуассона, а интервалы между ними (СВ1) – по показательному закону.

Дисциплина обслуживания показывает, в каком порядке требования поступают на обслуживание, являются ли эти заявки равноправными или же какие-то из них имеют преимущество перед остальными. В соответствии с установленной дисциплиной обслуживания заявка, заставшая все каналы занятыми, либо получает отказ, либо встает в очередь и ожидает обслуживания в течение определенного времени. В зависимости от этой величины различают СМО с отказами, с ожиданием и смешанные.

Иногда величина времени возможного ожидания является случайной и задается законом распределения. В процессе реализации заказа клиента все заявки являются равноправными, обслуживаются в порядке поступления. Будем считать, что данный бизнес-процесс представляет собой систему с ожиданием, то есть пришедшая заявка в любом случае дожидается начала обслуживания и может покинуть систему только после этапа оформления заказа (см. рис. 1).

Существенное значение для работы СМО имеют характеристики механизма обслуживания.

В общем случае механизм обслуживания состоит из одной или нескольких линий (каналов), способных одновременно и независимо друг от друга обслуживать заявки. Важной характеристикой канала является время обслуживания одной заявки, которое может быть детерминированным или случайным. Каналы обслуживания могут быть однотипными и разнотипными, а процесс обслуживания может состоять из нескольких фаз – такие системы называются многофазными. Бизнес-процесс реализации заказа клиента является многофазным, поскольку обслуживание каждой заявки состоит из нескольких этапов (фаз), каждая из которых представлена одним обслуживающим элементом (a_j). Сначала заявка проходит этап оформления заказа – время этого этапа случайно. Далее заявку «ждет» составление производственного плана, выполнение заказа и, в некоторых случаях, этап закупки необходимых комплектующих. Время выполнения каждого из этих этапов представляет собой СВ с определенным законом распределения. Все обслуживающие элементы в представленной нами СМО являются разнотипными.

Рассматриваемый нами бизнес-процесс может быть описан следующими множествами [12]:

- совокупность входных воздействий на процесс

$$x_i \in X, i = \overline{1, n_x}, \quad (1)$$

такими входными воздействиями для рассматриваемого в данной работе процесса являются, например, заявки, поступающие на обслуживание (строго говоря, случайное время поступления таких заявок), и различные характеристики таких заявок – их тип, объем заказа, соответствие заказа номенклатуре предоставляемых услуг и т.д.;

- совокупность внутренних детерминированных параметров процесса

$$v_l \in V, l = \overline{1, n_v}, \quad (2)$$

например: количество сотрудников, обслуживающих заявки на каждом этапе выполнения бизнес-процесса, продолжительность рабочего дня, количество рабочих дней в неделе, часовая ставка выполняющих обслуживание заявок специалистов и прочие расходы на выполнение процесса и т.д.;

- совокупность внутренних случайных характеристик процесса

$$s_k \in S, k = \overline{1, n_s}, \quad (3)$$

в числе таких случайных факторов для рассматриваемого бизнес-процесса можно выделить, например, случайную продолжительность оформления заказа, случайную длительность подготовки производственного плана, возможная нехватка запасов для выполнения заказа, случайная длительность выполнения заказа, случайная стоимость закупки комплектующих и т.д.;

- совокупность случайных воздействий внешней среды

$$\varepsilon_m \in E, m = \overline{1, n_E}, \quad (4)$$

например, возможный отказ клиента от заказа в процессе его выполнения, изменение стоимости необходимых для выполнения заказа комплектующих, внешние случайные факторы, влияющие на длительность закупки таких комплектующих (например, задержки на стороне поставщиков) и т.д.;

- совокупность выходных характеристик процесса

$$y_p \in Y, p = \overline{1, n_Y}. \quad (5)$$

Таковыми характеристиками являются, к примеру, смоделированные значения СВ бизнес-процесса, значения стоимости выполнения этапов бизнес-процесса, количество выполненных заказов, количество обслуженных клиентов – то есть все величины, получаемые в результате выполнения (а также моделирования) процесса.

В перечисленных подмножествах можно выделить управляемые и неуправляемые переменные. В общем случае $x_i, v_l, \varepsilon_m, s_k, a_j, y_p$ являются элементами непересекающихся подмножеств и содержат как детерминированные, так и стохастические составляющие.

При моделировании процесса входные воздействия (1), внутренние параметры бизнес-процесса, детерминированные и случайные (2) и (3), а также случайные воздействия внешней среды (4) являются независимыми (экзогенными) переменными, которые в векторной форме имеют вид

$$\begin{aligned} \bar{x}(t) &= (x_1(t), x_2(t) \dots x_{n_X}(t)); \\ \bar{v}(t) &= (v_1(t), v_2(t) \dots v_{n_V}(t)); \\ \bar{s}(t) &= (s_1(t), s_2(t) \dots s_{n_S}(t)); \\ \bar{\varepsilon}(t) &= (\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t) \dots \varepsilon_{n_E}(t)), \end{aligned}$$

а выходные характеристики являются зависимыми (эндогенными) переменными и в векторной форме имеют вид

$$\bar{y}(t) = (y_1(t), y_2(t) \dots y_{n_Y}(t)).$$

Функционирование бизнес-процесса описывается во времени оператором F_p , который, в общем случае, преобразует экзогенные переменные в эндогенные в соответствии с отношением вида

$$\bar{y}(t) = F_p(\bar{x}, \bar{v}, \bar{s}, \bar{\varepsilon}, t). \quad (7)$$

Совокупность зависимостей выходных характеристик процесса от времени $y_p(t)$ для всех видов $p = \overline{1, n_Y}$ называется выходной траекторией $\bar{y}(t)$. Зависимость (7) является законом функционирования процесса и обозначается F_p . В общем случае этот закон функционирования может быть задан в виде функции, функционала, логических условий, в алгоритмической и табличной формах или в виде словесного правила соответствия.

Весьма важным для описания и исследования процесса (системы) является понятие алгоритма функционирования, под которым понимается метод получения выходных характеристик бизнес-процесса с учетом входных воздействий $\bar{x}(t)$, воздействий внешней среды $\bar{\varepsilon}(t)$ и собственных (случайных и детерминированных) параметров системы $\bar{s}(t)$ и $\bar{v}(t)$, соответственно. Очевидно, что один и тот же закон функционирования F_p может быть реализован с помощью различных алгоритмов функционирования $a_j \in A, j = \overline{1, n_A}$.

Соотношение (7) является математическим описанием функционирования процесса во времени t , то есть отображает его динамические свойства. Поэтому математические модели такого вида называют динамическими моделями [11].

Состояния системы обслуживания в момент времени $t_0 < t \leq T$ полностью определяются начальными условиями (начальным состоянием процесса обслуживания и системы обслуживания) $\bar{z}^0 = (z_1^0, z_2^0 \dots z_k^0)$, где $z_1^0 = z_1(t_0), z_2^0 = z_2(t_0) \dots z_k^0 = z_k(t_0)$, входными воздействиями $\bar{x}(t)$, внутренними (детерминированными и случайными) параметрами $\bar{v}(t)$ и $\bar{s}(t)$ и воздействиями внешней среды $\bar{\varepsilon}(t)$, которые имели место за промежуток времени $t^* - t_0$, с помощью двух уравнений

$$\bar{z}(t) = \Phi(\bar{z}^0, \bar{x}, \bar{v}, \bar{s}, \bar{\varepsilon}, t); \quad (8)$$

$$\bar{y}(t) = F(\bar{z}, t). \quad (9)$$

Первое уравнение по начальному состоянию \bar{z}^0 и экзогенным переменным $\bar{x}; \bar{v}; \bar{s}; \bar{\varepsilon}$ определяет вектор-функцию $\bar{z}(t)$ – эндогенные перемен-

ные на выходе системы $\bar{y}(t)$. Таким образом, цепочка уравнений объекта «вход – состояния – выход» позволяет определить конечные (искомые) характеристики процесса

$$\bar{y}(t) = F[\bar{\Phi}(z^{-1}, x, v, s, \varepsilon, t)], \quad (10)$$

где функция F , в нашем случае, задана множеством алгоритмов обработки заявок A , речь о которых шла выше.

Очень важным в имитационном моделировании является понятие модельного времени. В общем случае время в модели системы может рассматриваться на интервале моделирования $(0, T)$ как непрерывное или дискретное – квантованное на отрезки длиной Δt временных единиц каждый, когда $T = m\Delta t$, где $m = \overline{1, m_T}$ – число интервалов дискретизации [1].

В случае дискретного времени продвижение по оси модельного времени происходит равными отрезками (шагами) равными Δt . На каждом шаге «просматриваются» все элементы системы и моделируются все возможные изменения состояний.

При непрерывном времени шаг моделирования непостоянный и представляет собой СВ. На каждом шаге моделируются все изменения состояний системы, и время до ближайшего такого изменения становится величиной следующего шага. Поэтому при таком подходе элементы системы «просматриваются» только в моменты изменения их состояний.

Бизнес-процесс реализации заказа клиента может быть смоделирован с применением обоих подходов. Например, можно выбрать шаг моделирования равным одному дню. Тогда каждый модельный день будет сопровождаться расчетами: числа обслуженных клиентов, числа отказов, числа закупок, суммы закупок и т.д. Также можно использовать непрерывное время и случайный шаг, рассматривая ось модельного времени на промежутке $(0, T)$, где T может, например, равняться 40 ч, что представляет собой пять рабочих дней по 8 ч. Деление оси времени на дни будет неудобно в случае, когда большинство этапов процесса выполняются более одного дня или если работа предприятия круглосуточная. Остановимся на подходе с непрерывным временем и случайным шагом.

Приведенное в данном разделе математическое описание позволяет строго формализовать исследуемый бизнес-процесс на основе его представления в виде типовой СМО, где методы описания и исследования хорошо разработаны.

При решении задач с использованием теории массового обслуживания обычно используются аналитический метод и метод статистического имитационного моделирования. Аналитическое решение возможно лишь в том случае, когда каналы обслуживания имеют постоянные характеристики, а сама процедура обслуживания является однофазной. Исследуемый бизнес-процесс подвержен влиянию множества стохастических величин, а обслуживание представляет собой сложную, многофазную процедуру. Поэтому в данном случае метод имитационного моделирования позволяет более полно исследовать зависимость качества обслуживания от характеристик потока заявок и параметров СМО.

Нам предстоит синтезировать алгоритм моделирования, являющийся представлением искомой функции F согласно (10), позволяющей вырабатывать случайные реализации описанных в данном разделе потоков событий и процессов обслуживания в каналах, имитируя таким образом обработку заказов клиентов и определяя результаты обслуживания Y .

Алгоритм имитационного моделирования бизнес-процесса

После проведения статистического исследования бизнес-процесса и описания используемых математических схем можно переходить к построению моделирующего алгоритма. По сути, моделирующий алгоритм является ядром имитационной модели, ее стержнем. Поэтому построение алгоритма моделирования является крайне важным и сложным этапом. Моделирующий алгоритм не привязан к какой-либо среде программирования, он универсален и может быть реализован в любой из них.

Именно моделирующий алгоритм определяет и обеспечивает процесс моделирования. Благодаря алгоритму в течение периода моделирования имитируется (воспроизводится) функционирование процесса подобно тому, как он протекает в реальности.

Существует два основных типа моделирующих алгоритмов: с детерминированным шагом и со случайным шагом. Поскольку мы выбрали механизм продвижения модельного времени случайным шагом, то и алгоритм получится соответствующего типа. Но независимо от типа алгоритм раскладывает процесс моделирования на простейшие шаги, последовательность выполнения которых и формирует имитацию протекания бизнес-процесса [3].

Таким образом, моделирующий алгоритм должен быть прост и понятен, логично выстроен и

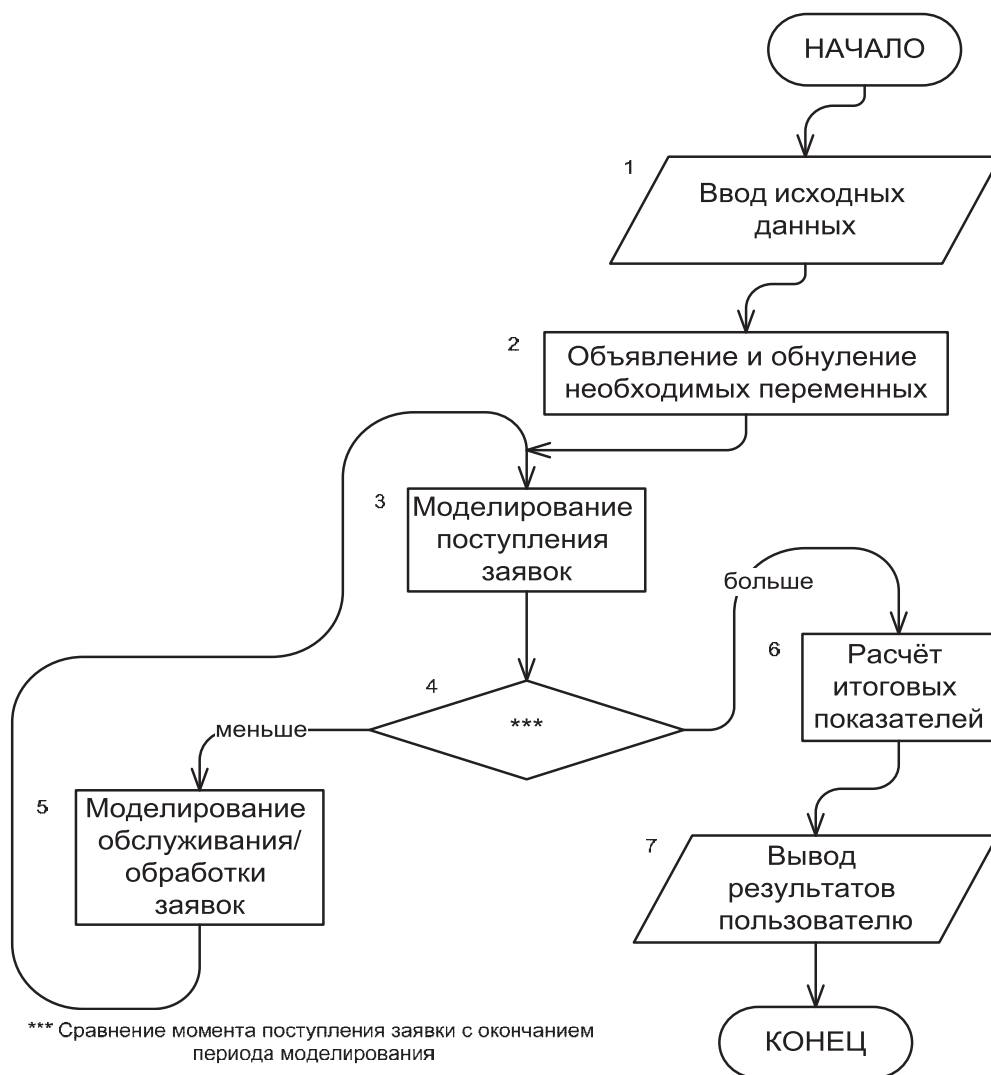


Рис. 4. Укрупненный алгоритм моделирования

подробно описан. Вначале составляется обобщенный, укрупненный алгоритм моделирования, «раскладывающий» имитацию на несколько основных крупных блоков, логично следующих друг за другом. Далее необходимые блоки укрупненного алгоритма детализируются, образуя подробный, детальный алгоритм.

Построим обобщенный моделирующий алгоритм для бизнес-процесса выполнения заказа клиента. Естественно, он связан с самим бизнес-процессом, так как предназначен для его моделирования. Бизнес-процесс можно представить как СМО, то есть поступление и обслуживание заявок. Поступление заявок в систему – это приходящие клиенты, намеренные реализовать свои потребности в продукции или услугах предприятия. Их поток случаен (СВ1). Далее эти заявки (клиенты) обслуживаются и покидают систему: либо удовлетворив свою потребность, либо нет (СВ3). Таким образом, укрупненно моделирование

данного бизнес-процесса можно представить как два этапа:

1. Моделирование поступления заявок.
2. Моделирование обслуживания заявок.

При поступлении заявки будет срабатывать блок сравнения, где осуществляется проверка, закончен период моделирования (T) или нет. Также необходимы следующие вспомогательные блоки (процедуры).

- блок ввода исходных данных;
- блок объявления и обнуления переменных;
- блок расчета итоговых показателей;
- блок вывода результатов пользователю.

Полученный укрупненный алгоритм приведен на рис. 4.

Алгоритм начинается с ввода исходных данных пользователем – блок 1. Здесь необходимо ввести значения параметров имитационной модели, с помощью которых пользователь может менять условия моделирования, а также параметры законов распределения случайных величин.

Блок 2 предназначен для объявления и обнуления переменных, используемых в модели. Эти переменные будут менять свои значения в процессе моделирования, а к моменту окончания будут содержать итоговые значения, представляющие интерес для пользователя.

Далее следует блок 3, один из основных блоков. Он предназначен для моделирования поступления заявок согласно закону распределения вероятностей и для учета этих заявок.

В блоке 4 происходит сравнение времени поступления очередной заявки с периодом моделирования. Если время не выходит за пределы моделирования, то заявка передается блоку 5 для последующей обработки. Если же время выходит за период, то осуществляется переход к блоку 6.

Блок 5 моделирует обслуживание заявки и передает управления блоку 3 для моделирования поступления новой.

Переход к блоку 6 означает окончание периода моделирования. Здесь происходит расчет итоговых показателей, характеризующих функционирование процесса в течение заданного периода.

Заключительным шагом является выполнение блока 7, который отвечает за вывод результатов пользователю.

Итак, основными функциональными блоками обобщенного алгоритма являются:

- моделирование поступления заявок;
- моделирование обслуживания заявок.

Вспомогательные блоки детализации в нашем случае не подлежат и переносятся в детальный алгоритм «как есть», так как уточнения не требуют.

Моделирование поступления заявок состоит в генерации случайного времени между поступлением заявок (CB1) и проверке каждого такого момента на принадлежность заданному периоду моделирования T . Если момент поступления очередной заявки не превышает границу периода, то будет осуществляться переход к ее обслуживанию. Если же момент выходит за границу периода, значит, период окончен, то есть следует выходить из цикла поступления и обслуживания заявок и переходить к расчету показателей и выводу их пользователю.

Моделирование обслуживания заявок можно разделить на этапы исходя из схемы бизнес-процесса. В нашем случае обслуживание происходит в несколько этапов и допускает несколько вариантов (вследствие влияния случайных факторов). Первый этап – оформление заказа в отделе сбыта. Тут необходимо смоделировать CB2, а также предусмотреть разветвление CB3 (возможный отказ

клиента) – в этом случае управление должно передаваться блоку моделирования поступления заявок для определения момента поступления новой заявки.

Следующий этап процесса обслуживания – планирование производства (генерация CB4). Здесь возможно разветвление (CB5), так как возможна ситуация с нехваткой запасов. Если их не хватает, то генерируется CB7 и CB8. Если ресурсов хватает, то сразу начинается процесс выполнения заказа (CB6).

В конце алгоритма также предусмотрены блоки расчета и вывода результатов.

Итоговый детализированный алгоритм представлен на рис. 5-6. Он начинается с ввода исходных данных (блок 1): периода моделирования T , вероятностей отказа клиента $P_{отк}$ и нехватки ресурсов $P_{нехв}$, а также параметров законов распределений CB1 (время между поступающими заявками), CB2 (длительность оформления заказа), CB3 (возможный отказ клиента от заказа), CB4 (длительность подготовки производственного плана), CB5 (возможная нехватка запасов), CB6 (длительность выполнения заказа), CB7 (длительность закупки комплектующих), CB8 (стоимость закупки комплектующих).

В блоке 2 происходит объявление и обнуление переменных модели, а именно: текущее модельное время t , время поступления последней заявки t_{post} , текущее количество поступивших заявок k_{post} , текущее количество обслуженных заявок $k_{обсл}$, текущее количество отказов $k_{отк}$, текущее количество закупок k_{zak} и текущая общая стоимость закупок $sumzak$.

Блок 3 моделирует поступление очередной заявки. Для этого генерируется CB1, и эта величина прибавляется к времени поступления последней заявки $t_{post} = t_{post} + CB1$.

Далее моделируется CB2 (блок 6). Модельное время продвигается на соответствующую величину $t = t_{post} + CB2$.

В блоке 4 время поступления последней заявки сравнивается с заданным периодом моделирования. Если $t_{post} \leq T$, то есть период еще не истек, то управление передается в блок 5, где счетчик поступивших заявок k_{post} увеличивается на единицу. Если же $t_{post} > T$, то есть период завершился, то осуществляется переход к блоку 16. После этого моделируется CB3 (блок 7).

Блок 8 осуществляет сравнение смоделированного значения CB3 с исходно заданным параметром. Если $CB3 \leq P_{отк}$, что означает отказ клиента от заказа, алгоритм передает управление блоку 3, где моделируется поступление новой

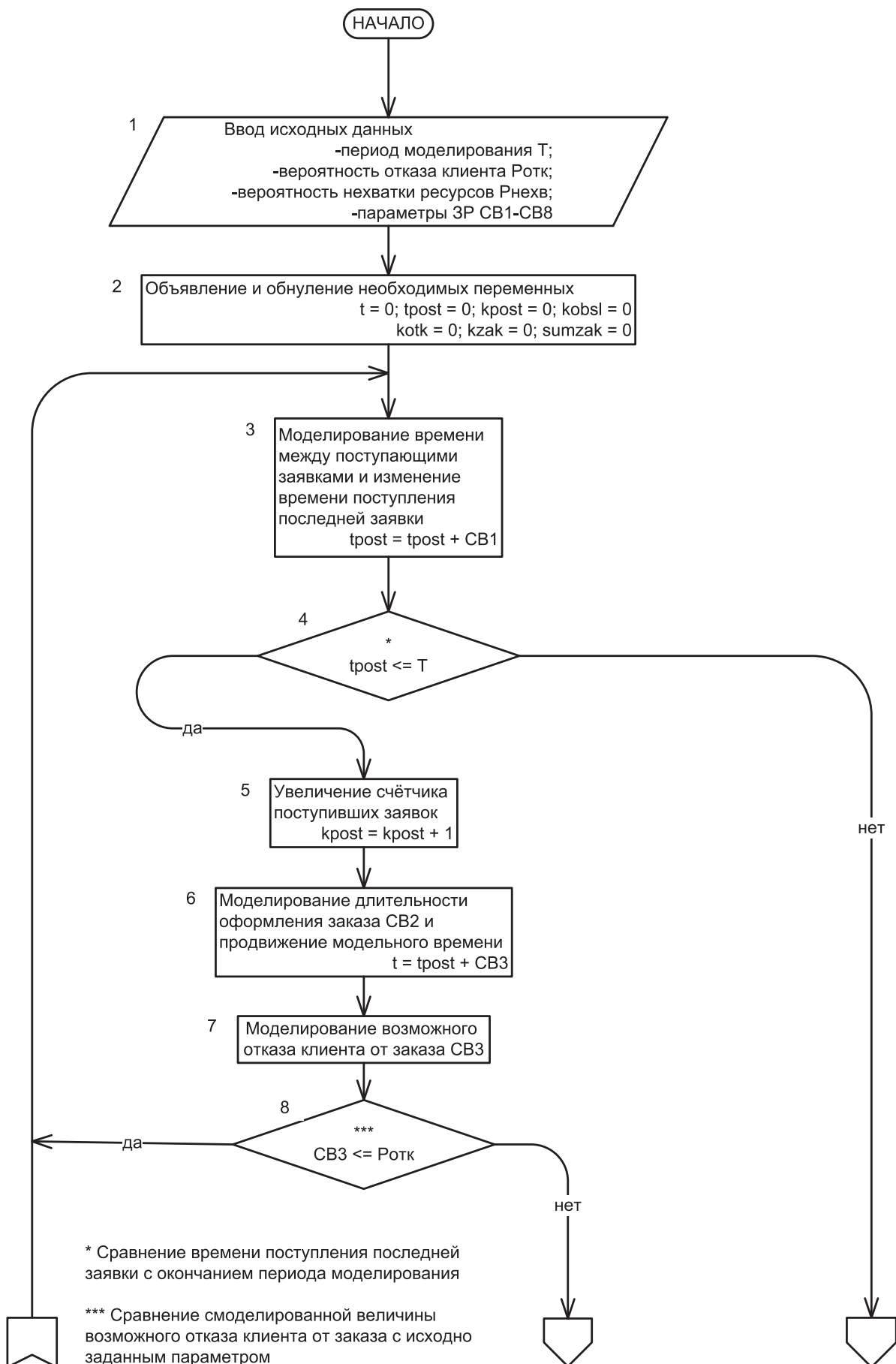


Рис. 5. Детализированный алгоритм моделирования (начало)

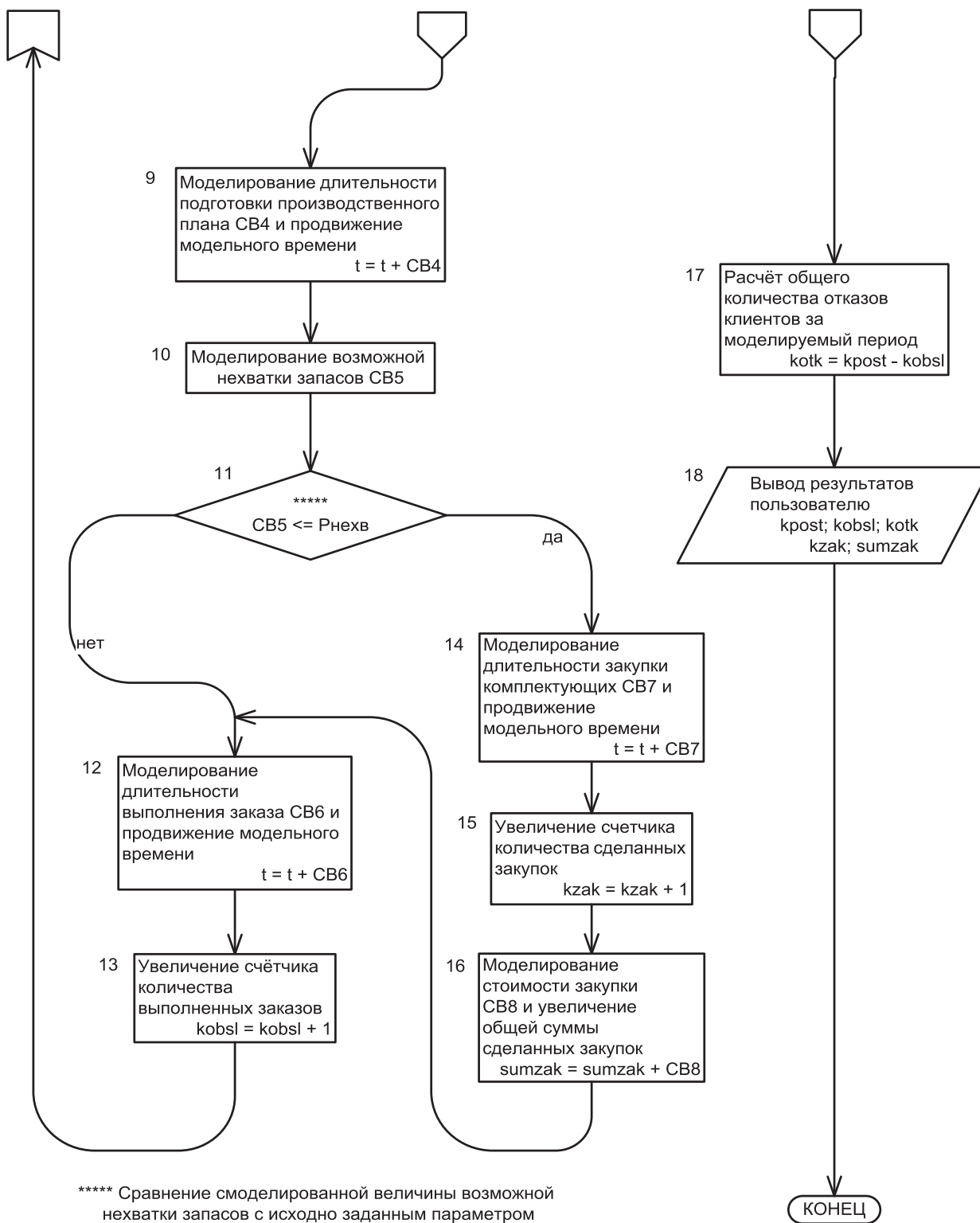


Рис. 5. Детализированный алгоритм моделирования (окончание)

заявки. Если же $CB3 > P_{отк}$, то есть клиент согласен с оформленным заказом, осуществляется переход к блоку 9.

Следующим шагом (блок 9) является моделирование $CB4$ и продвижение текущего модельного времени на соответствующую величину $t = t + CB4$. Затем моделируется $CB5$ (блок 10).

В блоке 11 осуществляется сравнение смоделированного значения $CB5$ с исходно заданным параметром. Если $CB5 > P_{нехв}$, что означает ситуацию, когда запасов достаточно, алгоритм передает управление блоку 12. В противном случае ($CB5 \leq P_{нехв}$ – ситуация нехватки запасов) происходит переход к блоку 14.

Блок 12 моделирует *CB6* и обеспечивает продвижение текущего модельного времени $t = t + CB6$.

В блоке 13 счетчик количества выполненных заказов *kobsl* увеличивает свое значение на единицу, так как очередной заказ становится выполненным. После этого управление передается блоку 3 для моделирования поступления следующей заявки.

Моделирование *CB7* происходит в блоке 14. Также здесь продвигается текущее модельное время на смоделированную величину $t = t + CB7$.

После этого (блок 15) счетчик количества сделанных закупок *kzak* возрастает на единицу. В блоке 16 моделируется *CB8* и к текущей общей стоимости закупок прибавляется смоделированная стоимость последней закупки $sumzak = sumzak + CB8$.

Заканчивается алгоритм (блок 17) выводом пользователю результатов моделирования – текущих значений *kpost*, *kobsl*, *kotk*, *kzak* и *sumzak*.

Результаты моделирования

Результаты моделирования, полученные в процессе функционирования моделирующего алгоритма, должны быть представлены в агрегированном, удобном для анализа виде [4]. Таким образом, необходимо еще до начала разработки моделирующего алгоритма предусматривать, значения каких именно величин должна выдать имитационная модель по завершении моделирования бизнес-процесса.

Список выходных данных имитационной модели является не таким уж очевидным. Можно подумать, что для анализа бизнес-процесса и принятия эффективного решения достаточно лишь вывести значения смоделированных СВ, однако это далеко не всегда именно так. К примеру, модель может содержать СВ, которые были взяты, скажем, для расчета на их основе значений каких-либо показателей, имеющих, если рассматривать их отдельно, неслучайную природу. Примером таких величин могут служить затраты на выполнение какого-либо из этапов бизнес-процесса, которые рассчитываются в виде произведения времени, затраченного на этап, и стоимости единицы такого времени для выполняющего этот этап сотрудника. В данном примере значение интересующей нас величины (затрат на этап обслуживания) рассчитывается на основе детерминированного (известная постоянная часовая ставка сотрудника) и случайного (случайное время выполнения этапа, которое может различаться для различных заявок клиентов) значений. И вы-

водить значение затраченного на этап времени, если таких этапов большое множество, а для анализа бизнес-процесса очень важны значения финансовых затрат, не всегда целесообразно. К тому же если СВ много, а период моделирования длительный, то по окончании моделирования получается огромный массив данных, анализ которого, а тем более принятие эффективного решения на основе такого массива в короткий срок (как правило, время на принятие управленческих решений существенно ограничено) не представляется возможным – массив требует дополнительной обработки, возможно, с помощью сторонних программ. Очевидно, что обработка результатов моделирования в таком случае существенно усложняется. Описанные моменты следует учитывать еще на этапе построения моделирующего алгоритма имитационной модели.

Также необходимо заранее определить, в каком виде будут представлены результаты моделирования – табличном, в виде диаграмм или графиков, обычным списком величин и их значений и т.д.

Результаты моделирования могут быть представлены как в самой программе моделирования, так и экспортироваться в сторонние программы для дальнейшей обработки или хранения (в программы для обработки массивов данных – например, MS Excel, Statistica или в базу данных – хранилище данных предприятия). С процедурами такого вывода также следует определиться еще на этапе разработки моделирующего алгоритма имитационной модели.

Полученные при моделировании бизнес-процесса результаты используются для анализа эффективности процесса – выявления «узких мест», слабых звеньев цепи обслуживания заявок и т.д. Грамотно представленные и обработанные результаты моделирования позволяют ЛПР понять, каким образом можно повысить эффективность бизнес-процесса с минимальными затратами. Более того, разработанная имитационная модель позволяет ЛПР вносить изменения в бизнес-процесс в рамках имитационной модели («играя» значениями параметров модели, изменяя алгоритмы обслуживания и структуру модели обслуживания) и практически моментально видеть вероятный (достоверный) результат таких изменений без каких-либо затрат, связанных с экспериментами над реальным бизнес-процессом, и отсеивать таким образом решения, ухудшающие показатели эффективности бизнес-процесса или недостаточно улучшающие их. Найденные же на модели наиболее эффективные управленческие решения могут быть применены на реальном бизнес-процессе.

Выводы

В работе показано использование метода СИМ на примере бизнес-процесса реализации заказов клиентов. Еще раз отметим, что бизнес-процесс реализации заказа клиента является типизированным для социальных и экономических систем, поэтому хорошее понимание процесса моделирования этого процесса открывает возможности применения рассматриваемой технологии практически для любого бизнес-процесса. Грамотное применение метода имитационного моделирования позволяет добиться значительного (зачастую на порядки) прироста в эффективности моделируемых бизнес-процессов. Технология достаточно сложна и требует определенной подготовки и знаний в различных областях – от основ математического моделирования, теории вероятностей и математической статистики до принципов проектирования информационных систем и разработки программного обеспечения. Тем не менее освоение данной технологии дает существенные конкурентные преимущества в вопросах принятия управленческих решений на предприятиях и в организациях практически любого масштаба.

Литература

1. Богданова Е.А., Димов Э.М., Маслов О.Н., Трошин Ю.В. Управление временем в динамической имитационной модели // ИКТ. Т.6, №4, 2008. – С. 62-67.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая. школа, 2000. – 479 с.
3. Голенко Д.И. Статистические модели в управлении производством. М.: Статистика, 1973. – 485 с.
4. Гульятев А.К. Matlab 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows. СПб.: Корона-Принт, 1999. – 288 с.
5. Димов Э.М., Луковкин С.В., Хабибуллин А.Р., Халимов Р.Р. Выбор критерия согласия в случае восстановления закона распределения вероятностей случайной величины применительно к задачам статистического имитационного моделирования // ИКТ. Т.8, №4, 2010. – С. 60-63.
6. Димов Э.М., Маслов О.Н. О развитии математических принципов метода имитационного моделирования. // ИКТ. Т.1, №2, 2003. – С. 5-11.
7. Димов Э.М., Маслов О.Н. О точности и адекватности метода статистического имитационного моделирования // ИКТ. Т.5, №1, 2007. – С. 60-68.
8. Димов Э.М., Маслов О.Н., Пчеляков С.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Часть 2. Имитационное моделирование и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. Самара: Изд. СамНЦ РАН, 2008. – 350 с.
9. Димов Э.М., Маслов О.Н., Скворцов А.Б. Новые информационные технологии: подготовка кадров и обучение персонала. Часть 1. Реинжиниринг и управление бизнес-процессами в инфокоммуникациях. М.: ИРИАС, 2005. – 386 с.
10. Димов Э.М., Маслов О.Н., Швайкин С.К. Имитационное моделирование, реинжиниринг и управление в компании сотовой связи (новые информационные технологии). – М.: Радио и связь, 2001. – 256 с.
11. Смирнова Г.Н., Сорокин А.А., Тельнов Ю.Ф. Проектирование экономических информационных систем. М.: Финансы и статистика, 2001. – 512 с.
12. Советов Б.Я. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 1985.
13. Тельнов Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы в экономике. М.: Синтез, 1999. – 216 с.
14. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации: манифест революции в бизнесе. Пер. с англ. СПб.: Изд. СПбУ, 1997. – 332 с.

BUSINESS PROCESS SIMULATION DYNAMICS

Dimov E.M., Maslov O.N., Troshin Yu.V., Khalimov R.R.

Article is devoted to the description of simulating models development process for very difficult economic processes in interests of management efficiency increase. Creation of model is considered on example of simple business process, which is typified. This article is directed on improvement of understanding often very difficult process of simulating model creation in social and economic fields.

Keywords: simulation, simulating model, business process, social system, economic system, random factor, random value, algorithm of modeling.

Димов Эдуард Михайлович, д.т.н., профессор Кафедры экономических и информационных систем (ЭИС) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел. 8-906-340-37-41. E-mail: dimov@psati.ru

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

Трошин Юрий Владимирович, к.т.н., доцент Кафедры ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-927-007-51-81. E-mail yuratro63@gmail.com

Халимов Руслан Радикович, к.т.н., старший преподаватель Кафедры ЭИС ПГУТИ. Тел. 8-937-171-40-48. E-mail khalimov@bk.ru

Поздравляем!

Доктора технических наук, профессора, действительного члена Академии телекоммуникаций и информатики, члена редколлегии журнала «Инфокоммуникационные технологии» Димова Э.М. с 75-летием со дня рождения.

Жизненный путь Эдуарда Михайловича, уроженца г. Кяхты Кяхтинского района Бурятской АССР, после окончания в 1961 году Томского электромеханического института железнодорожного транспорта отмечен работой на Томском приборном и на Бузулукском заводе им. В.В. Куйбышева, а также многолетней и активной научно-преподавательской деятельностью в Куйбышевском политехническом и плановом институтах, где он прошел должности младшего научного сотрудника, ассистента, старшего преподавателя, доцента и профессора, заведующего Кафедрой «Математическая статистика» Самарской государственной экономической академии.

С 1980 по 1983 гг. доцент Димов Э.М. преподавал в Национальном университете Республики Бурунди дисциплины «Статистика», «Математическая статистика», «Исследование операций» и «Имитационное моделирование», издал учебник «Исследование операций и имитационное моделирование» на французском языке, которым овладел в совершенстве.

Являясь одним из пионеров применения методов и средств имитационного моделирования в сложных производственных и экономических системах, в 1990 году он успешно защитил по данной тематике диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук в совете АН УзССР (г. Ташкент), который состоял из представителей всех крупных научных центров бывшего СССР. Разработки Димова Э.М. вошли в комплексный план создания и внедрения АСУ на предприятиях металлургической отрасли, авиационной промышленности, получили признание и нашли практическое применение как в нашей стране, так и за рубежом.

В 1996 году Эдуард Михайлович перешел на работу в Поволжский институт информатики, радиотехники и связи, где буквально с нуля создал Кафедру «Экономические и информационные системы», которая в настоящее время является одной из ведущих в ПГУТИ. В том, что на кафедре сегодня трудятся пять профессоров и шесть доцентов, большинство из которых являются его учениками, несомненная заслуга юбиляра, который продолжает быть одним из самых деятельных и эффективных специалистов этого сравнительно небольшого, но известного далеко за пределами вуза коллектива. Тесные научно-производственные связи кафедры с коллегами из Москвы, Курска, Воронежа, Астрахани, Ставрополя, Уфы, Тольятти были установлены при непосредственном и личном активном участии профессора Димова Э.М.

Сегодня мы хорошо знаем и ценим Вас, уважаемый Эдуард Михайлович, как основателя и руководителя региональной научной школы в области управления современными бизнес-процессами с применением новых информационных технологий. В день Вашего 75-летнего юбилея желаем Вам крепкого здоровья, душевной и творческой активности, успеха во всех начинаниях и новых талантливых учеников, продолжателей Вашего дела!

Редколлегия ИКТ