
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ

THEORETICAL FOUNDATIONS OF COMPUTER SCIENCE

УДК 004.942

ПРИМЕНЕНИЕ ФОРМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ОДНОГО ОКНА

Р. Е. ШАРЫКИН¹⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Предлагается подход, демонстрирующий разработку систем документооборота по принципу одного окна на раннем этапе их проектирования, основанный на применении формальных методов в части спецификации системы и метрик ее анализа, а также оценки значений метрик. Пример системы одного окна моделируется формально в рамках модели распределенных объектно ориентированных стохастических гибридных систем (РООСГС) с помощью языка спецификации SHYMaude. Предлагаются несколько метрик, позволяющих оценить систему. Данные метрики специфицируются формально посредством языка QuaTEh. Система одного окна, представленная как спецификация переписывающей логики Maude, полученная трансляцией спецификации SHYMaude, анализируется статистически с помощью инструмента MultiVeStA. В процессе статистического анализа определяется количество сотрудников, необходимое для эффективного функционирования системы. Полученное значение используется как стартовое значение в расширенной системе, в которой присутствует управление количеством сотрудников в целях поддержания длины очереди пакетов документов в желаемом диапазоне. При статистическом исследовании расширенной системы обнаруживается недостаток, который устраняется доработкой системы, что показывает, как данный подход может быть использован для изучения и доработки систем подобного типа на раннем этапе построения самой модели системы.

Ключевые слова: математическое моделирование; стохастические системы; статистический анализ; спецификация моделей; документооборот; системы одного окна.

Образец цитирования:

Шарыкин РЕ. Применение формальных методов при проектировании системы одного окна. *Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика*. 2021;1:79–90.
<https://doi.org/10.33581/2520-6508-2021-1-79-90>

For citation:

Sharykin RE. Application of formal methods in the design of a single window system. *Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics*. 2021;1:79–90. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2520-6508-2021-1-79-90>

Автор:

Роман Евгеньевич Шарыкин – соискатель кафедры технологий программирования факультета прикладной математики и информатики. Научный руководитель – доктор технических наук, профессор А. Н. Курбацкий.

Author:

Raman E. Sharykin, competitor at the department of software engineering, faculty of applied mathematics and computer science.
sharykin@gmail.com



APPLICATION OF FORMAL METHODS IN THE DESIGN OF A SINGLE WINDOW SYSTEM

R. E. SHARYKIN^a

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

This paper proposes an approach that demonstrates the development of single window document circulation systems at the early stage of their design, based on the use of formal methods in the specification of a system, the specification of metrics for its analysis and the estimation of metrics values. An example of a single window document circulation system is modelled formally within the framework of the distributed object-based stochastic hybrid systems (DOBSHS) model using the SHYMaude specification language. Several metrics are proposed to evaluate the system. These metrics are specified formally using the QuaTE_x language. The system is analysed statistically using the MultiVeStA tool, which analyses a single window document circulation system, represented as a rewriting logic Maude specification obtained by the translation of the SHYMaude system specification. In the process of the statistical analysis, the number of employees required for the effective system functioning is determined. The resulting value is used as a starting value in an extended system, in which there is an officer number management maintaining the length of the application queue in the desired range. A statistical study of the extended system reveals a drawback that is eliminated by adjusting the system, showing how this approach can be used to study and refine systems of this type at the early stage of designing the system model itself.

Keywords: mathematical modelling; stochastic systems; statistical analysis; model specification; document circulation; single window systems.

Введение

В настоящее время в организациях распространена система одного окна. При таком подходе клиент обращается с запросом в офис организации, его запрос классифицируется как одна из предоставляемых услуг и обрабатывается в соответствии с правилами оказания данной услуги. В процессе исполнения заказа сотрудниками организации осуществляются проверка документов, в случае необходимости запрос дополнительных документов у клиента и создание на основе полного и проверенного пакетов документов нового документа, являющегося результатом оказания услуги. В качестве простого примера может служить получение разрешения на перепланировку квартиры. В этом случае у клиента могут быть запрошены два дополнительных документа из других организаций. После получения этих документов производится экспертная оценка и выдается либо разрешение, либо отказ.

На данный момент имеется широкий спектр математических моделей для моделирования систем документооборота. Подробный обзор существующих моделей можно найти в [1]. Также в [1] авторы предлагают свою модель, учитывающую специфику рассматриваемой в статье области. В настоящей работе представлена модель, основанная на модели, предложенной в [1], но учитывающая специфику системы одного окна и предназначенная для спецификации на языке SHYMaude [2] в рамках модели распределенных объектно ориентированных стохастических гибридных систем (РООГС) [3].

Модель системы одного окна исследуется статистически на заданном временном интервале симуляции в отношении четырех метрик, выбранных для оценки эффективности предложенного алгоритма: максимальной длины очереди, времени стабилизации максимальной длины очереди, среднего времени обработки пакета документов и загруженности сотрудника (времени, в течение которого сотрудник занят обработкой пакета документов). На основании полученных оценок определяется достаточное количество сотрудников, необходимое для достижения желаемых значений метрик. Далее строится расширенная модель с управлением количеством сотрудников, осуществляемым менеджером подразделения. Начальное значение количества сотрудников берется из предыдущего исследования, и задается желаемый диапазон для одной из метрик – максимальной длины очереди. При исследовании модели обнаруживается существенный недостаток в представленном алгоритме управления количеством сотрудников, который устраняется доработкой алгоритма, что показывает возможности предложенной методики.

Пример документооборота по принципу одного окна

В качестве примера рассмотрим обработку запросов одного типа в организации, использующей систему одного окна. При подобном подходе клиент подает заявку на получение некоторого результирующего документа от обслуживающей организации на основе предоставляемого им пакета документов. После подачи заявки может выясниться, что необходимы дополнительные документы, которые клиент также должен предоставить. Когда пакет оказывается полным, по нему выносится решение и возвращается клиенту как результирующий документ.

Для придания реалистичности данной модели используются случайные времена обработки на всех этапах прохождения заявки: время приема заявки, время обработки заявки, время уведомления клиента о необходимости дополнительных документов.

Принятые заявки ставятся в очередь, организованную по принципу «первый пришел – первый вышел». Работники организации извлекают документы из этой очереди, обрабатывают и выполняют необходимые действия: извещают клиента о недостающих документах, создают результирующие документы на основании предоставленного пакета документов.

Спецификация модели документооборота с помощью переписывающей логики

Далее будет представлена спецификация модели документооборота на языке SHYMaude [2] в рамках модели РООСГС [3]. Спецификация SHYMaude может быть легко транслирована в спецификацию переписывающей логики системы Maude и прямо симулирована в Maude [4].

Распределенная конфигурация транслированной системы моделируется в Maude как множество объектов и сообщений, действующих параллельно в соответствии со множеством правил перезаписи, описывающих поведение отдельных объектов. В любой конкретно взятый момент времени состояние системы содержит объекты, запланированные сообщения и, возможно, одно активное сообщение [3]. Состояние системы можно рассматривать как «суп» из вышеперечисленных элементов, являющийся коммутативным, ассоциативным и имеющий единичный элемент (отвечающий за пустое множество).

Динамику реализованной системы применительно к рассматриваемому случаю можно описать следующим образом: начальное состояние системы выбирается в соответствии с заданным распределением на всех возможных состояниях системы, не содержащих активного сообщения. Так как в системе нет стохастических дифференциальных уравнений, то можно считать, что она переходит к запланированному сообщению с ближайшим временем активации и делает его активным либо переходит на следующую временную точку, отстоящую от текущей на заданный максимальный шаг, если расстояние до следующей активации сообщения больше заданного максимального шага. Активное сообщение приводит к последовательному применению переписывающих правил по модулю уравнений спецификации. Когда ни одно из правил перезаписи более неприменимо либо активное сообщение отсутствует, система совершает временной переход к следующему запланированному сообщению или на заданный максимальный шаг.

Графическое представление алгоритма системы, на основе которого была разработана спецификация SHYMaude, приведено на рис. 1–3. На этих рисунках объект обозначен кругом с указанием внутри класса объекта, его id и при необходимости значений отдельных атрибутов, для которых применяется данный алгоритм. При спецификации переписывающих правил для объектов с указанными значениями атрибутов используются условные переписывающие правила, задающие значение атрибута. Объекты одного класса следуют одинаковому алгоритму. В начале работы системы выполняются действия, на которые указывает стрелка из входа «Старт». Стрелки, выходящие из объекта, подписаны активными сообщениями. Когда в процессе прогрессирования времени одно из запланированных сообщений становится активным, выполняется последовательность алгоритмических действий, которая указывается стрелкой, подписанной соответствующим сообщением.

Спецификация системы на языке SHYMaude и ее трансляция в язык Maude представлены в [5].

Метрики оценки примера системы документооборота

Для анализа системы и ее доводки можно выделить следующие метрики оценки: длину очереди пакетов документов, время стабилизации очереди после начала работы, ожидаемое время обработки пакета документов, степень загруженности сотрудников. Необходимо отметить, что длина очереди на заданный момент времени является стохастической колеблющейся величиной. По этой причине более подходящей метрикой выступает максимальное количество пакетов документов в очереди с начала работы и по заданный момент времени, являющееся стохастической неубывающей величиной. Запишем эти метрики по пунктам.

Метрика 1. Максимальная длина очереди с начала работы и по заданный момент времени.

Метрика 2. Время стабилизации максимальной длины очереди, измеренное как момент времени, после которого данная метрика больше не увеличивается до окончания симуляции.

Метрика 3. Среднее время обработки пакета документов, измеренное как среднее время на симуляциях между первоначальной подачей пакета и получением окончательного ответа от организации.

Метрика 4. Загруженность сотрудника, измеренная как сумма периодов, на протяжении которых сотрудник находится в состоянии обработки пакетов (атрибут state содержит значение busy).

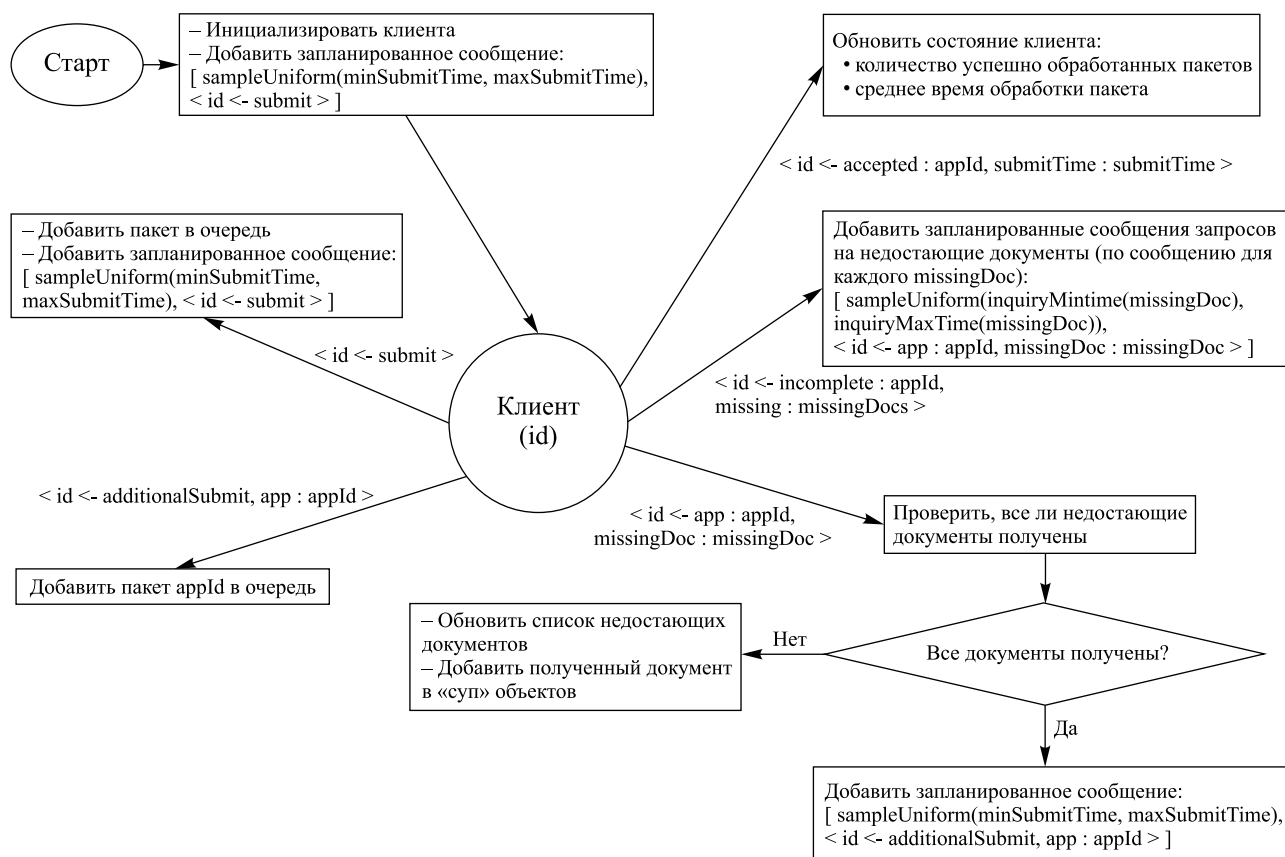


Рис. 1. Алгоритм клиента

Fig. 1. Client's algorithm

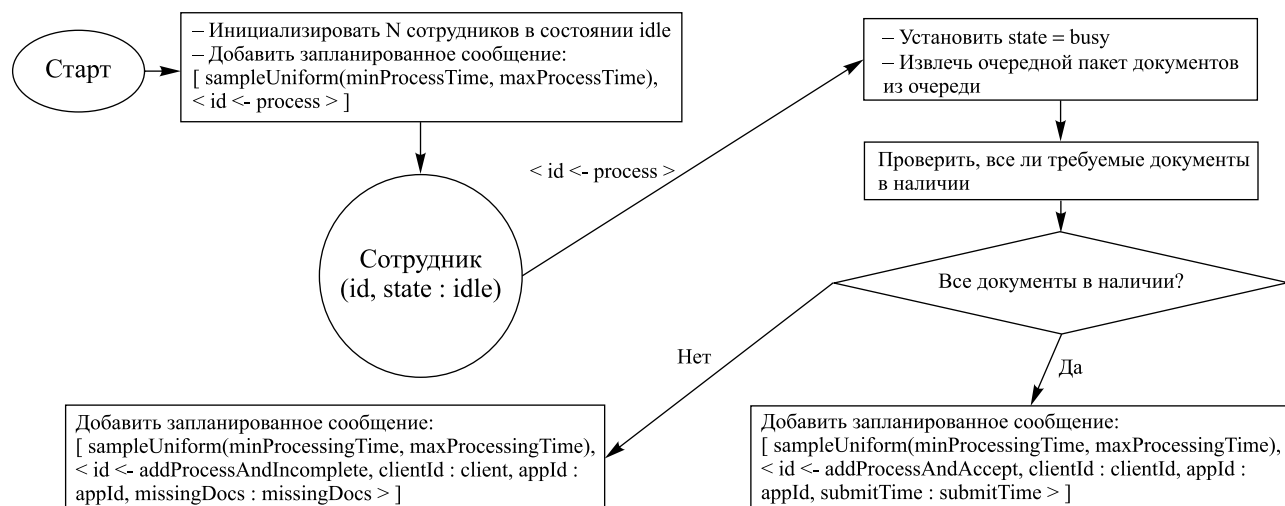


Рис. 2. Алгоритм сотрудника: инициализация, прием и обработка пакетов документов

Fig. 2. Officer's algorithm: initialisation, accepting and processing of document packages

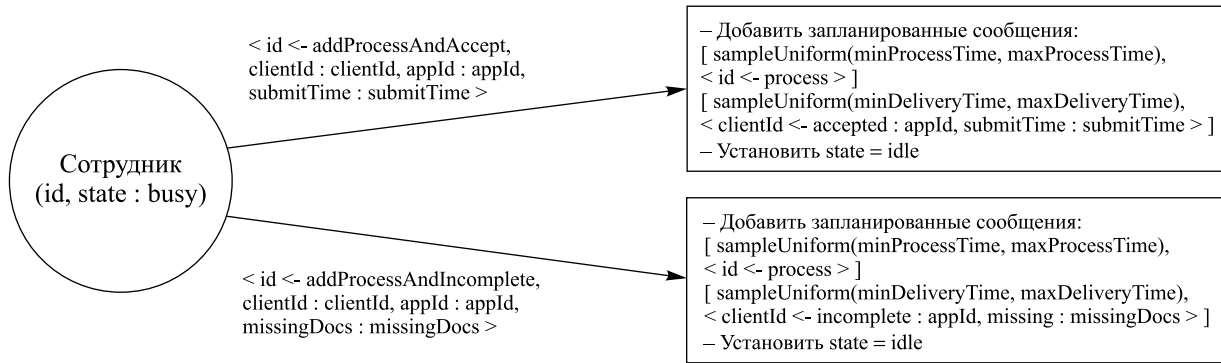


Рис. 3. Алгоритм сотрудника: ответ клиенту и планирование обработки следующего пакета документов

Fig. 3. Officer's algorithm: responding to the client and scheduling of the processing of the next document package

Статистический анализ

Спецификация SHYMaude транслируется в спецификацию Maude [2], выполняемую в системе Maude [4]. Метрики специфицируются с помощью языка QuaTEh [6]. Для проведения статистического анализа применяется инструмент MultiVeStA [7], принимающий спецификацию Maude системы и спецификацию MultiQuaTEh, являющуюся обобщением QuaTEh [7], и выполняющий симуляцию Монте-Карло до достижения предустановленной точности результата. Инструмент реализует клиент-серверную архитектуру, позволяющую более полно использовать возможности параллельных вычислений.

Для задания точности результатов применялись параметр α , равный 0,01, и параметр δ , равный 0,05. Выбор параметра α гарантирует, что повторные вычисления значения будут лежать в доверительном интервале с вероятностью 99 %. Доверительный интервал рассчитывается по формуле

$$\left[v(1 - \delta), \frac{v}{1 - \delta} \right].$$

Параметры системы документооборота включают в себя количество задействованных сотрудников, время подачи заявки, интервал, необходимый сотруднику для того, чтобы приступить к обработке следующей заявки, время обработки заявки сотрудником, время доставки сообщений клиенту, период симуляции и шаг симуляции. Значения параметров представлены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры модели

Table 1

Model parameters

Параметр	Описание	Значение
N	Количество сотрудников	1–20
submitTime	Время подачи заявки	[0,1; 0,2]
processTime	Интервал между обработками заявок	[0,05; 0,10]
processingTime	Время обработки заявки	[0,5; 1,5]
deliveryTime	Время доставки сообщения	[0,1; 0,2]
T	Период симуляции	40
dt	Временной шаг	0,1

Если принять одну условную единицу времени за 1 ч, то симуляция охватывает одну рабочую неделю, максимальный шаг симуляции равен 6 мин.

Далее изучим четыре метрики, описанные в предыдущем разделе, для количества сотрудников N от 1 до 20 и построим графики зависимости метрик от N. Выражения MultiQuaTEh для этих четырех метрик можно найти в [5].

Максимальная длина очереди. Результаты экспериментов для количества сотрудников N от 1 до 20 представлены на рис. 4. Данный график показывает монотонное уменьшение максимальной наблюдаемой длины очереди с увеличением количества задействованных сотрудников.

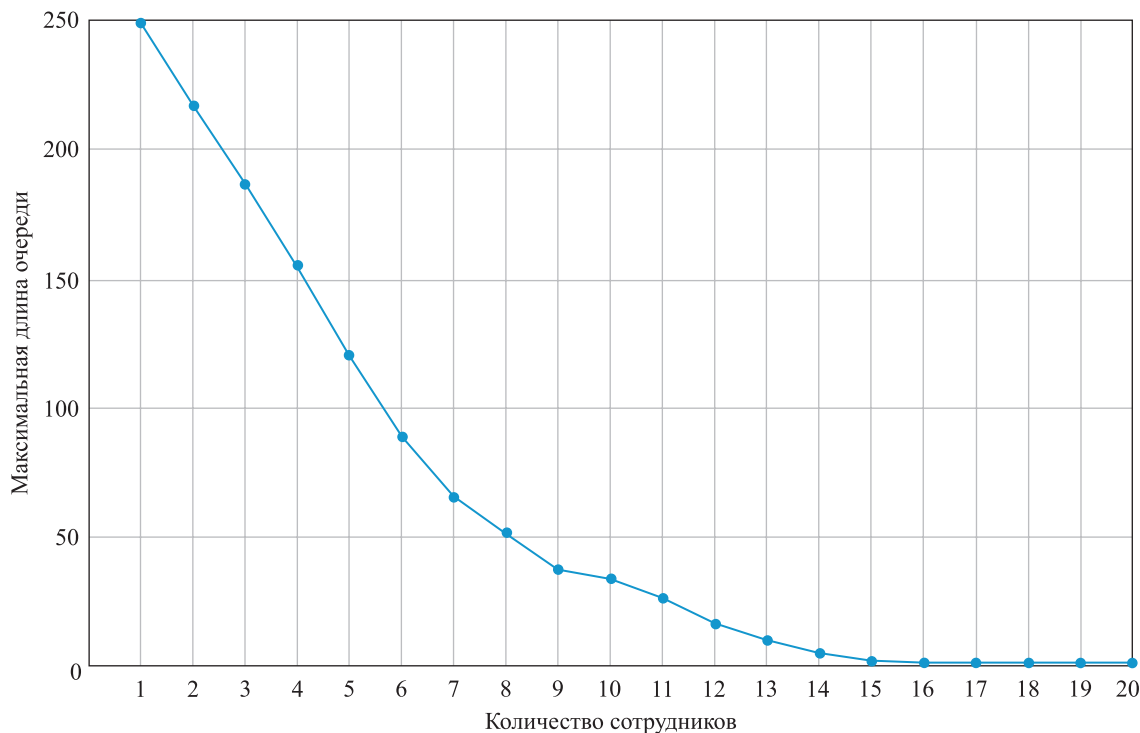


Рис. 4. Метрика 1. Максимальная длина очереди

Fig. 4. Metrics 1. Maximum queue length

Время стабилизации максимальной длины очереди. Результаты экспериментов для количества сотрудников N от 1 до 20 представлены на рис. 5. Данный график также показывает монотонное уменьшение максимальной наблюдаемой длины очереди с увеличением количества задействованных сотрудников.

Как видно из графика, при количестве сотрудников $N < 6$ значение времени стабилизации находится в районе предельного времени симуляции, из чего следует, что для $N < 6$ необходимо увеличить предельное время симуляции для получения оценки данной метрики. При количестве сотрудников с $N = 6$ по $N = 8$ резко падает время стабилизации максимальной длины очереди. Из этого можно сделать вывод, что $N = 6$ может рассматриваться как достаточное количество сотрудников, необходимое для того, чтобы стабилизировать максимальную длину очереди за рассматриваемый период.

Среднее время обработки пакета документов. Результаты экспериментов для количества сотрудников N от 1 до 20 представлены на рис. 6. Данный график показывает монотонное, без особенностей, уменьшение среднего времени обработки пакета с увеличением количества задействованных сотрудников.

Загруженность сотрудника. Результаты экспериментов для количества сотрудников N от 1 до 20 представлены на рис. 7.

Как видно из графика, при количестве сотрудников $N > 6$ отмечается падение времени, на протяжении которого сотрудник занят обработкой документов. При $N = 6$ мы имеем последнюю точку, в которой сотрудник занят обработкой документов максимальное время.

Анализ результатов статистического анализа и введение управления

На рис. 4 и 6 наблюдается монотонное уменьшение показателей, из чего можно сделать вывод, что большее количество сотрудников лишь улучшает значение метрик 1 и 3. Из рис. 5 видно, что при $N > 6$ начинается резкое уменьшение метрики 2. Однако при $N = 6$ расчет верхней границы доверительного интервала для данной метрики дает значение 40, исходя из этого, можно заключить, что время стабилизации может превышать 40 временных единиц при $N = 6$. Из рис. 7 видно, что при $N = 7$ время простоя сотрудников (40, метрика 4) невелико, но начинает быстро расти при $N > 7$.

На данном этапе необходимо рассмотрение дополнительных требований к системе, таких как требование на максимальную длину очереди, максимальное среднее время обработки документов, максимально возможное количество сотрудников. Ограничение на максимально возможное количество

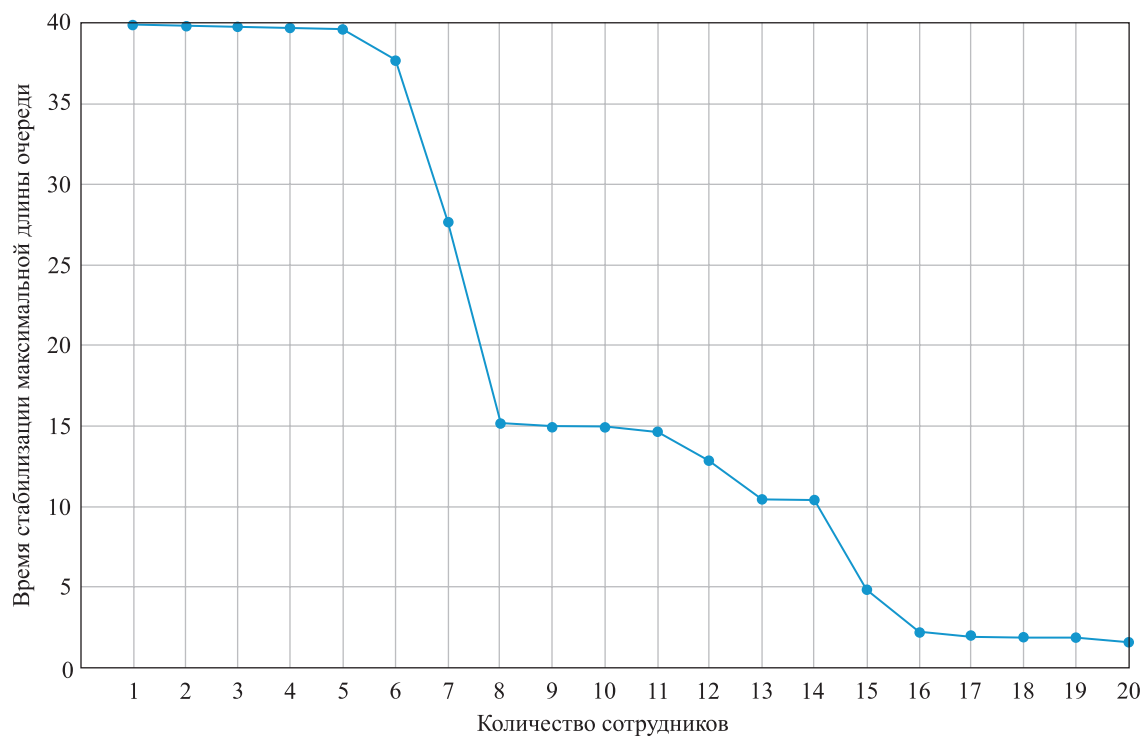


Рис. 5. Метрика 2. Время стабилизации максимальной длины очереди

Fig. 5. Metrics 2. Maximum queue length stabilisation time

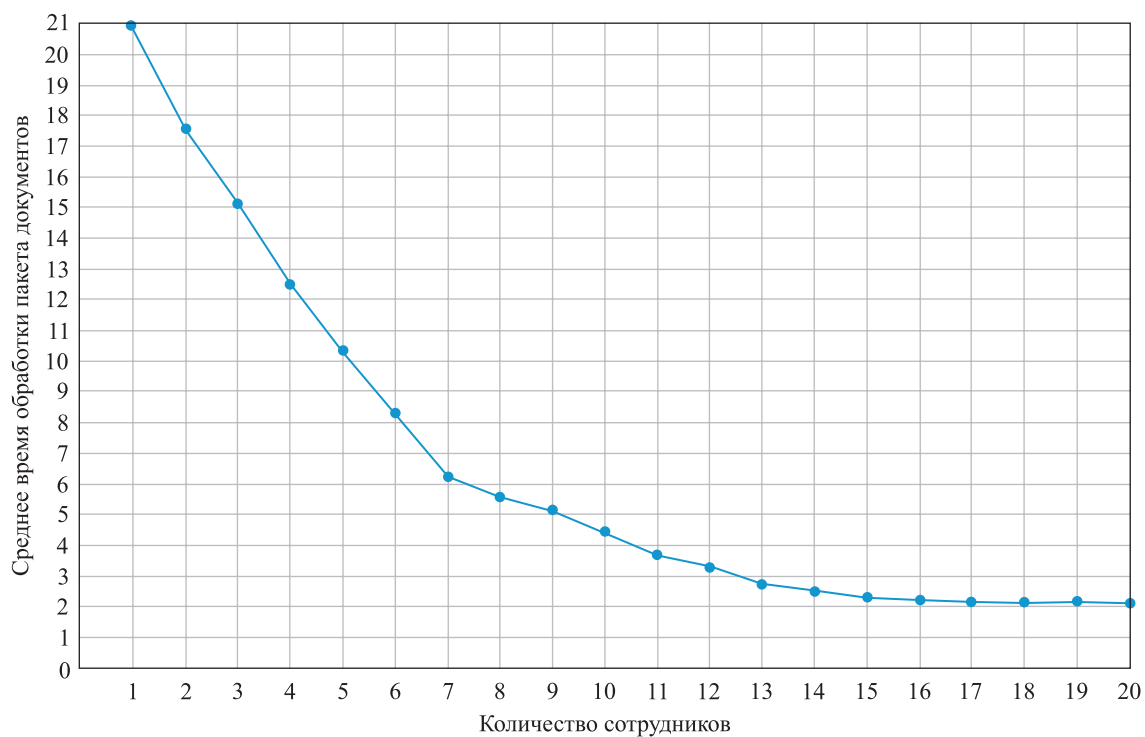


Рис. 6. Метрика 3. Среднее время обработки пакета документов

Fig. 6. Metrics 3. Average application processing time

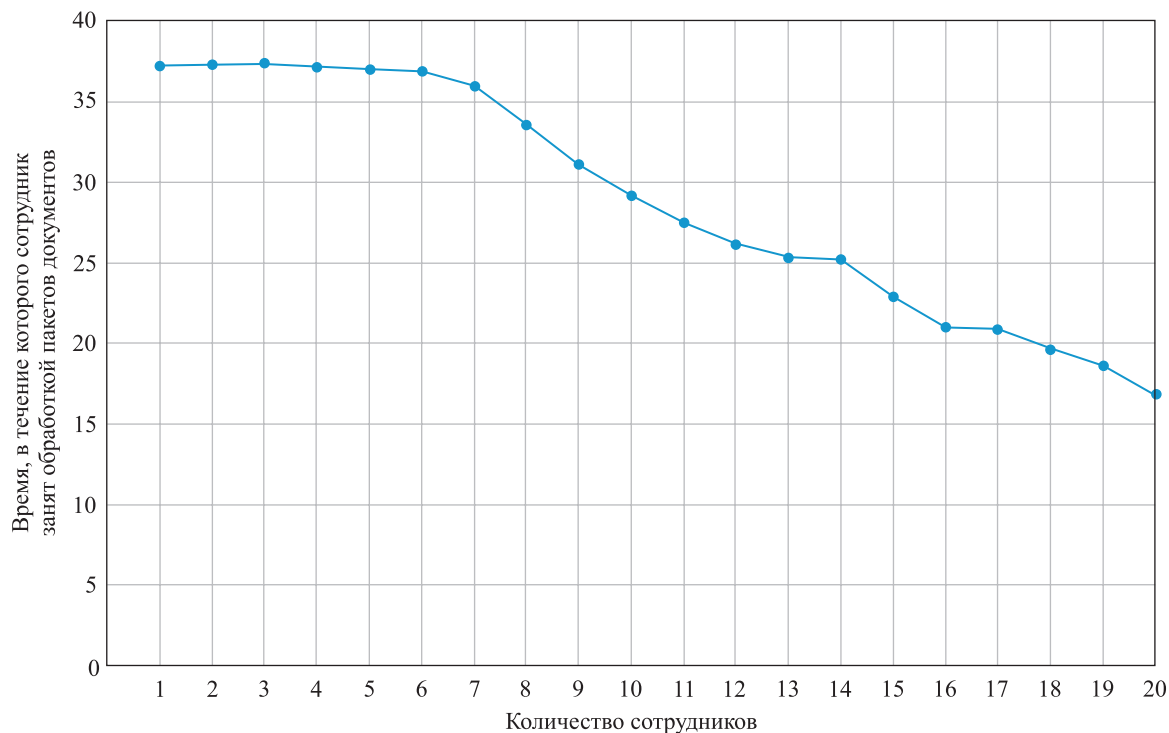


Рис. 7. Метрика 4. Время, в течение которого сотрудник занят обработкой пакетов документов

Fig. 7. Metrics 4. Officer busy time

сотрудников приводит к необходимости расширенного по времени симуляции исследования, так как время стабилизации при $N < 7$ может выходить за рамки 40 временных единиц. Для рассматриваемого примера положим, что мы не ограничены в количестве сотрудников, нас устраивает длина очереди, при которой среднее время обработки документов будет менее 8 временных единиц (один рабочий день). Также предположим, что мы стремимся к минимизации простоя сотрудников. С такими целевыми установками $N = 7$ видится оптимальным значением количества сотрудников ввиду наблюдений, сделанных в предыдущем разделе. В практической задаче на этом этапе может быть произведен дополнительный статистический анализ и применены более формальные методы для нахождения оптимального значения.

Для дальнейшего развития системы и приближения ее к реальной ситуации был принят во внимание тот факт, что в организации, как правило, существует менеджер, который может корректировать количество занятых сотрудников в зависимости от значения некоторого параметра. Допустим для рассматриваемого примера, что мы хотим держать длину очереди в определенном интервале. При $N = 7$ из рис. 4 мы имеем значение максимальной длины очереди, равное 65. Предположим, нашей целью является поддержание длины очереди в интервале $[50; 80]$.

Можно предложить алгоритм, аналогичный алгоритму термостата: менеджер проверяет длину очереди через каждые 4 временные единицы (дважды в день) и добавляет одного сотрудника, если длина очереди превышает 80 пакетов документов, и переводит одного сотрудника на другой участок работы, если длина очереди составляет менее 50 пакетов. Начальное количество сотрудников положим равным 7.

Данный алгоритм менеджера представлен графически на рис. 8. Для реализации алгоритма управления, описанного в предыдущем разделе, необходима доработка алгоритма сотрудника. В нашей реализации алгоритма менеджер отправляет сообщение сотруднику, когда он должен прекратить работу. Получив данное сообщение, сотрудник заканчивает обработку текущего пакета документов и прекращает работу. В спецификации для упрощения в этом случае объект клиента удаляется из состояния системы. Часть алгоритма сотрудника, представленная на рис. 9, замещает часть алгоритма, представленного на рис. 3.

Спецификация системы с управлением на языке SHYMaude и ее трансляция в язык Maude содержатся в [5].

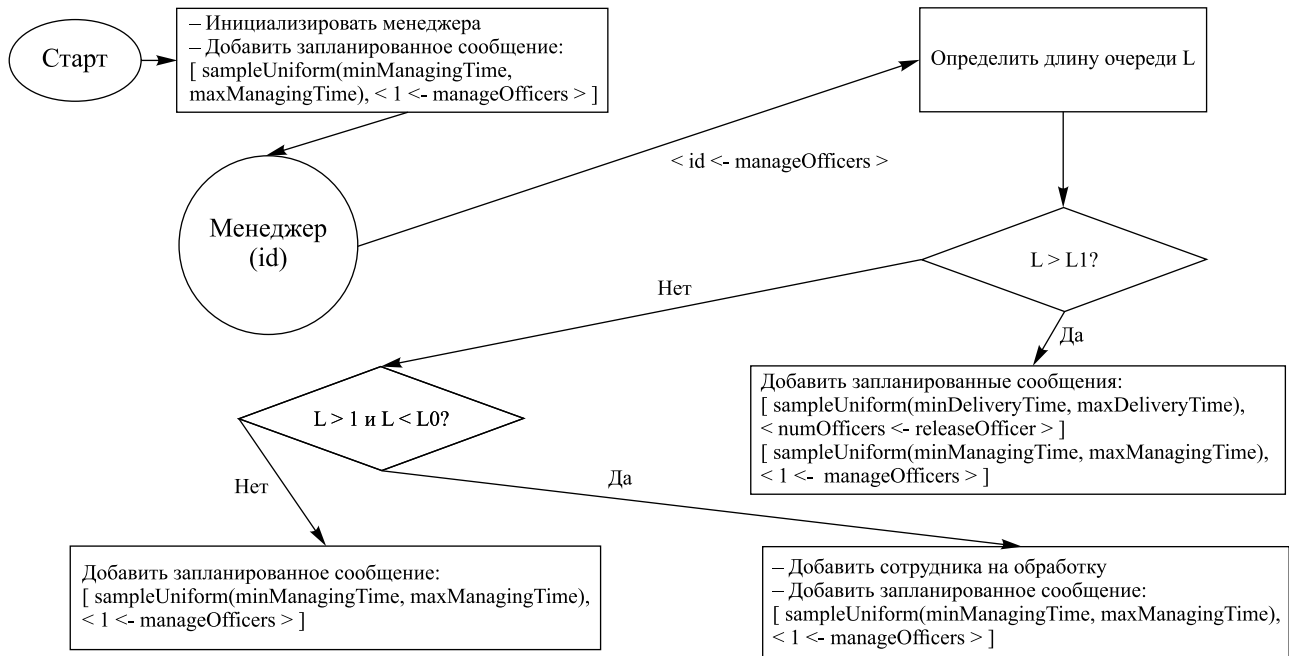


Рис. 8. Алгоритм менеджера
Fig. 8. Manager's algorithm

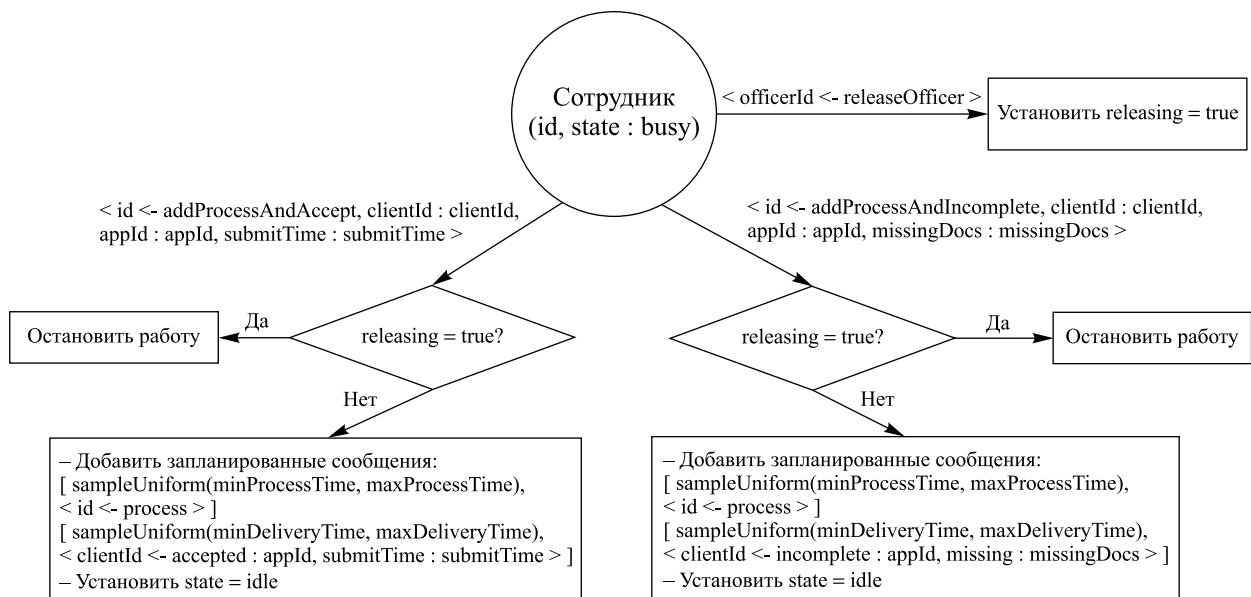


Рис. 9. Алгоритм сотрудника при наличии менеджера
Fig. 9. Client's algorithm with a manager present

Статистический анализ системы и коррекция управления

В табл. 2 приведены результаты статистического анализа системы одного окна с управлением количеством задействованных сотрудников.

Таблица 2

Результаты статистического анализа системы
с управлением количеством задействованных сотрудников

Table 2

The results of the statistical analysis
of the system with the officer number management

Метрика	Полученное значение	Доверительный интервал
Метрика 1. Максимальная длина очереди	158,9	[151,0; 167,3]
Метрика 2. Время стабилизации максимальной длины очереди	39,9	[37,9; 42,0]
Метрика 3. Среднее время обработки пакета документов	8,9	[8,4; 9,3]
Метрика 4. Загруженность сотрудника	36,8	[35,0; 38,8]

Как видно из табл. 2, значение максимальной длины очереди выходит за интервал [50; 80]. Анализ симуляции показал, что в начальный период времени длина очереди мала и менеджер, руководствуясь описанным алгоритмом, отстраняет сотрудников от работы, впоследствии добавляя их снова при превышении верхнего предела очереди. Так как добавление сотрудников происходит по одному и осуществляется раз в 4 временных интервала, получается наблюдаемое превышение максимального значения длины очереди. Это упущение исправлено путем введения правила, что менеджер начинает управлять количеством сотрудников только после того, как длина очереди достигла нижней границы – 50. Доработанный алгоритм менеджера представлен на рис. 10. Спецификация системы с доработанным управлением на языке SHYMaude и ее трансляция в язык Maude приведены в [5].

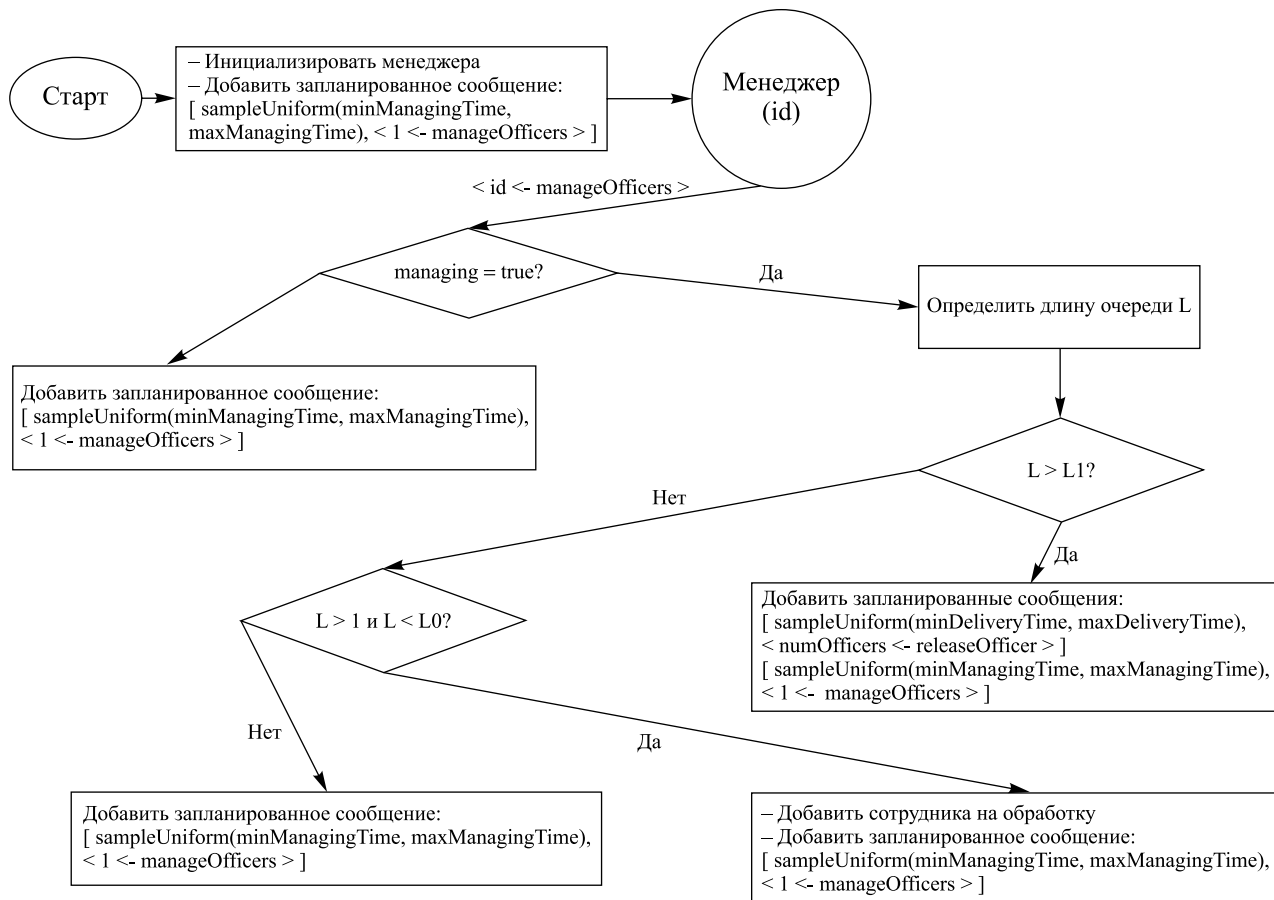


Рис. 10. Доработанный алгоритм менеджера

Fig. 10. Adjusted manager's algorithm

Реализовав это дополнение, мы получили результаты для доработанной системы управления, представленные в табл. 3.

Таблица 3

Результаты статистического анализа системы
с доработанным управлением количеством задействованных сотрудников

Table 3

The results of the statistical analysis of the system
with the adjusted officer number management

Метрика	Полученное значение	Доверительный интервал
Метрика 1. Максимальная длина очереди	65,8	[62,5; 69,3]
Метрика 2. Время стабилизации максимальной длины очереди	27,4	[26,1; 28,9]
Метрика 3. Среднее время обработки пакета документов	6,1	[5,8; 6,5]
Метрика 4. Загруженность сотрудника	36,0	[34,2; 37,9]

Как видно из результатов анализа, значения метрик улучшились, и максимальная длина очереди теперь попадает в желаемый интервал [50; 80]. Данный факт демонстрирует, как исследование модели на этапе ее конструирования помогает обнаружить неявные недоработки и устранить их до фиксации модели и проведения более тщательного анализа на последующих этапах разработки.

Заключение

В статье проиллюстрирована методика разработки систем одного окна на конкретном примере. Описанная система была специфицирована с помощью языка SHYMaude [2], разработанного для спецификации систем РООСГС [3]. Также сформулированы четыре метрики, позволяющие оценить эффективность предложенной системы. Для проведения статистического анализа данных метрик использован инструмент MultiVeStA [7], а сами метрики специфицированы с помощью языка MultiQuaTE_x [7], являющегося обобщением языка QuaTE_x [8].

Таким образом, применялся формальный подход в трех аспектах: для задания модели использовалась формальная математическая модель РООСГС, основанная на переписывающей логике, для задания метрик – язык MultiQuaTE_x, являющийся минимальным обобщением языка QuaTE_x, чья формальная семантика была представлена в [8] (для формальной спецификации интересующих нас метрик системы), и статистический метод, реализованный в инструменте MultiVeStA (для получения значимых оценок метрик).

Определено оптимальное значение количества сотрудников, задействованных в системе. При найденном количестве сотрудников сохраняется баланс в виде приемлемых максимальной наблюдаемой длины очереди, времени обработки документов и загруженности сотрудников.

Для того чтобы сделать систему более приближенной к практике, было введено управление количеством сотрудников, осуществляемое менеджером. В ходе этого обнаружено, что очевидная доработка имеет недостаток, заключающийся в том, что на раннем этапе работы системы предложенный алгоритм неудачно управляет количеством сотрудников, что приводит к значительному росту значения одной из целевых метрик, выводя ее из желаемого интервала. Предложено исправление, которое позволяет устранить найденную проблему. Этот опыт показывает, что методика, испытанная на этом примере, дает возможность своевременно исправлять грубые ошибки в проектировании систем одного окна.

Библиографические ссылки

1. Краснянский МН, Карпушкин СВ, Остроух АВ, Обухов АД, Касатонов ИС, Букреев ДВ и др. *Проектирование информационных систем управления документооборотом научно-образовательных учреждений*. Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; 2015. 216 с.
2. Шарыкин РЕ, Курбацкий АН. Верификация распределенных объектно ориентированных стохастических гибридных систем. *Вісник Гродзенькага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серыя 2. Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальна-я тэхніка і кіраванне*. 2019;9(3):123–132.
3. Шарыкин РЕ, Курбацкий АН. Модель распределенных объектно ориентированных стохастических гибридных систем. *Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика*. 2019;2:52–61.
4. Clavel M, Durán F, Eker S, Lincoln P, Martí-Oliet N, Meseguer J, et al. Maude: specification and programming in rewriting logic. *Theoretical Computer Science*. 2002;285(2):187–243. DOI: 10.1016/S0304-3975(01)00359-0.

5. Sharykin RE. SHYMaude specification of a single window document circulation system [Internet]. GitHub Inc., 2021 [cited 2020 November 1]. Available from: <https://github.com/shymaude/singleWindow>.
6. Sen K, Viswanathan M, Agha G. On statistical model checking of stochastic systems. In: Etessami K, Rajamani SK, editors. *Computer aided verification. Proceedings of the 17th International conference; 2005 July 6–10; Edinburgh, Scotland, UK*. Berlin: Springer-Verlag; 2005. p. 266–280. (Lecture notes in computer science; volume 3576). DOI: 10.1007/11513988_26.
7. Vandin A, Sebastio S. MultiVeStA: statistical model checking for discrete event simulators. In: Buchholz P, Cortellessa V, Horvath A, Muscariello L, Squillante M, editors. *Proceedings of the 7th International conference on performance evaluation methodologies and tools; 2013 December 10–12; Torino, Italy*. Brussels: Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering; 2013. p. 310–315. DOI: 10.4108/icst.valuetools.2013.254377.
8. Agha G, Meseguer J, Sen K. PMAude: rewrite-based specification language for probabilistic object systems. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*. 2006;153(2):213–239. DOI: 10.1016/j.entcs.2005.10.040.

References

1. Krasnyanskii MN, Karpushkin SV, Ostroukh AV, Obukhov AD, Kasatonov IS, Bukreev DV, et al. *Proektirovanie informatsionnykh sistem upravleniya dokumentooborotom nauchno-obrazovatel'nykh uchrezhdenii* [Design of information systems for document management of scientific and educational institutions]. Tambov: Publishing house of FSBEI HPE «TSTU»; 2015. 216 p. Russian.
2. Sharykin RE, Kourbatski AN. Verification of distributed object-oriented stochastic hybrid systems. *Vesnik Grodzenskaga dzjarzhavnaga wniversitjeta imja Janki Kupaly. Seryja 2. Matjematyka. Fizika. Infarmatyka, vylichal'naja tjehnika i kiravanne*. 2019;9(3): 123–132. Russian.
3. Sharykin RE, Kourbatski AN. A model of distributed objectbased stochastic hybrid systems. *Journal of the Belarusian State University. Mathematics and Informatics*. 2019;2:52–61. Russian.
4. Clavel M, Durán F, Eker S, Lincoln P, Martí-Oliet N, Meseguer J, et al. Maude: specification and programming in rewriting logic. *Theoretical Computer Science*. 2002;285(2):187–243. DOI: 10.1016/S0304-3975(01)00359-0.
5. Sharykin RE. SHYMaude specification of a single window document circulation system [Internet]. GitHub Inc., 2021 [cited 2020 November 1]. Available from: <https://github.com/shymaude/singleWindow>.
6. Sen K, Viswanathan M, Agha G. On statistical model checking of stochastic systems. In: Etessami K, Rajamani SK, editors. *Computer aided verification. Proceedings of the 17th International conference; 2005 July 6–10; Edinburgh, Scotland, UK*. Berlin: Springer-Verlag; 2005. p. 266–280. (Lecture notes in computer science; volume 3576). DOI: 10.1007/11513988_26.
7. Vandin A, Sebastio S. MultiVeStA: statistical model checking for discrete event simulators. In: Buchholz P, Cortellessa V, Horvath A, Muscariello L, Squillante M, editors. *Proceedings of the 7th International conference on performance evaluation methodologies and tools; 2013 December 10–12; Torino, Italy*. Brussels: Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering; 2013. p. 310–315. DOI: 10.4108/icst.valuetools.2013.254377.
8. Agha G, Meseguer J, Sen K. PMAude: rewrite-based specification language for probabilistic object systems. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*. 2006;153(2):213–239. DOI: 10.1016/j.entcs.2005.10.040.

Статья поступила в редколлегию 12.11.2020.
Received by editorial board 12.11.2020.