



УДК 004.942

© 2022 г. **Т.Е. Григорьева**, канд. техн. наук,  
**М.И. Кочергин**, канд. техн. наук,  
**В.М. Дмитриев**, д-р техн. наук  
(Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ ВИРТУАЛЬНОГО ПАЦИЕНТА НА ПРИЕМЕ У ВРАЧА-ТЕРАПЕВТА В ПОЛИКЛИНИКЕ В СРЕДЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ «МАРС»**

В статье представлена модель процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта в поликлинике. Результаты моделирования позволяют определить количество необслуженных пациентов, требуемых врачей, оценить время обслуживания и разработать рекомендации по устранению возникающих очередей.

**Ключевые слова:** процесс обслуживания пациентов в поликлинике, многоуровневое имитационное моделирование, очередь в поликлиниках, диаграмма Stateflow Chart.

DOI: 10.22250/18142400\_2022\_74\_4\_17

—

### **Введение**

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие цифровых технологий в различных сферах жизнедеятельности общества, – например, в экономической, социальной и др. Так, все больше организаций стремятся автоматизировать свои процессы, использовать цифровую среду для их планирования, моделирования, обеспечения, тем самым снижая издержки и увеличивая их объемы, производительность.

В сфере здравоохранения на сегодняшний день прослеживается интенсивное внедрение цифровых технологий, что в дальнейшем увеличит доступность и повысит качество оказания медицинской помощи, упростит работу врачей и т.д. Так, в конце августа 2021 г. (по данным главы Минздрава РФ Михаила Мурашко) анонсировался проект по созданию цифрового двой-

ника в системе здравоохранения. В рамках проекта предполагается разработка новой системы, которая будет сопровождать пациента, вносить все его диагнозы и анализы состояния здоровья в цифровую карту, а также подсказывать врачу алгоритмы для работы с пациентом. Более того, цифровой двойник может быть применен в целях повышения эффективности принятия решений на разных этапах управления, – например, цифровой двойник может помочь с оптимизацией загрузки коечного фонда, расписания врачей и пр. [1]. И как отмечают многие ученые [2, 3], применение цифровых двойников в здравоохранении позволит качественно улучшить уровень медицинской помощи, модернизировать, прогнозировать соответствующие процессы – всё это улучшит повседневную жизнь каждого человека.

В концепции цифровых двойников имитационное моделирование является их неотъемлемой частью и позволяет имитировать поведение системы во времени, оценивать предполагаемые затраты и пр. [4]. В данной статье представлена модель процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта в поликлинике, на основе которой в дальнейшем будет создан цифровой двойник.

### **Проблема очереди в поликлиниках**

Существует множество факторов, влияющих на удовлетворенность пациентов, – поведение медицинских работников, время ожидания, квалификация врача, восприятие ухода и стоимость лечения. При этом удовлетворенность пациентов должна приниматься как неотъемлемая часть качества здоровья, что является основным конкурентным преимуществом в здравоохранении.

Так, одной из актуальных проблем в организации медицинской помощи населению является проблема очередности ее получения, которая стала предметом внимания властей различных уровней и средств массовой информации [5, 6].

Стоять в очереди, ожидая возможности попасть на прием к врачу, в регистратуру приходится достаточно часто. Эта проблема возникает в результате отсутствия четких алгоритмов работы каждого подразделения, низкого материально-технического оснащения, необходимого количества врачей, избыточной траты времени врачом на оформление медицинских документов, неорганизованности дистанционных способов записи пациентов к врачу и пр. В большей мере проблема очереди обостряется в периоды эпидемических вспышек, вызванных, например, ростом заболеваемости ОРВИ, гриппом, коронавирусом и т.д., что порождает не просто дискомфорт, но иногда

и серьезные проблемы, – например, перекрестное инфицирование; самолечение; жалобы пациентов, которые приводят к ухудшающемуся имиджу учреждения, и пр. [7].

Раньше записаться к врачу можно было только с помощью «живой очереди», затем эту проблему решили, добавив запись к врачу по телефону, но сотрудникам в таком случае приходится одновременно обслуживать пациентов и отвечать на звонки. Сейчас к врачу можно записаться и через интернет, но только к узким специалистам, для записи на прием к терапевту используют старые способы, что снова приводит к проблемам очереди.

Использование новых методов записи к врачу, а именно – запись через интернет или установка электронной регистратуры – не решит эту проблему полностью. С одной стороны, наличие электронной очереди или запись через интернет затрудняет возможность попасть на прием людям, которые не пользуются интернетом, – например, пожилым людям. С другой стороны, иногда «живая» очередь сталкивается с «электронной», т.е. несколько человек оказываются записанными к одному и тому же врачу на одно и то же время.

Резюмируя, можно сказать, что проблема очереди однозначно связана с ограничением мощности поликлиники. Внутренние ресурсы и способ управления медицинским учреждением не позволяют обслужить всех больных. Как правило, у медицинских учреждений причины проблемы очереди различаются, – например, неисправность оборудования, нехватка врачей, но чаще всего – это неэффективная управленческая установка.

Необходимо отметить то, что уже предпринимались некоторые попытки построения моделей очереди в поликлиниках. В работе [8] произведено имитационное моделирование в AnyLogic работы пяти терапевтов и произведена оценка эффективности работы системы по критерию максимальной длины очереди пациентов. В качестве недостатков работы можно отметить отсутствие вариативности и возможности детальной настройки параметров модели. В работе [9] на языке GPSS произведено моделирование очереди в регистратуру с целью определения оптимального количества операторов (администраторов) для минимизации очереди. В качестве недостатков данной работы можно отметить отсутствие средств визуализации результатов моделирования, способствующих их интерпретации.

В данной статье для решения проблемы очереди предлагается использовать инструментальные средства для детальной параметризации моделей и наглядной визуализации результатов моделирования, позволяющей их интерпретировать.

## **Методика построения моделей процессов социально-экономических систем в среде моделирования MAPC**

Для построения моделей процессов социально-экономических систем предлагается использовать среду моделирования MAPC (СМ MAPC) [10], которая разрабатывается и развивается в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники. Данная среда моделирования «включает в себя три уровня формализованного представления объекта:

объектный (С-уровень) – уровень, где из моделей компонентов различных физических областей формируется модель исследуемого объекта, процесса, предназначенная для его моделирования в статическом и динамическом режимах;

логический (L-уровень) – уровень, на котором отображаются компоненты логического уровня моделирования. По соединениям между компонентами данного уровня производится обмен информацией различных типов данных;

визуальный (V-уровень), на котором отображаются компоненты визуального типа моделирования. Их визуальные образы на данном уровне изменяют свое изображение в зависимости от полученных данных. Такие компоненты с целью приема информации имеют свое отображение также и на логическом уровне» [11, 12].

Исходя из представленной многоуровневой архитектуры СМ MAPC, рассмотрим структурно-функциональную схему многоуровневых имитационных моделей процессов социально-экономических систем (рис. 1).

Входные данные модели представляют собой количественные характеристики объекта/процесса исследования и устанавливаются пользователем в зависимости от поставленной задачи. Относительно поликлиники пользователем и лицом, принимающим решения, являются главный врач и заведующий структурным подразделением.

Выходные данные модели – это результаты исследования, которые могут быть представлены в виде статических или динамических данных, в виде рисунков, таблиц и пр.

На объектном уровне формируется модель, отражающая дискретно-событийное поведение исследуемого объекта / процесса и их взаимодействие между собой.

На логическом уровне формируется детализированная дискретно-событийная диаграмма процесса(-ов) объекта исследования, что представляет собой их декомпозицию. Также на этом уровне происходит обработка исходных данных, результатов моделирования, – например, посредством прове-

дения математических расчетов. По результатам дискретно-событийной диаграммы поведения объекта исследования определяется продолжительность выполнения его технологических операций. Это, в свою очередь, позволит оценить эффект полученных результатов, дополнить модель исходными данными, определить соответствующие затраты на выполнение ее процессов.

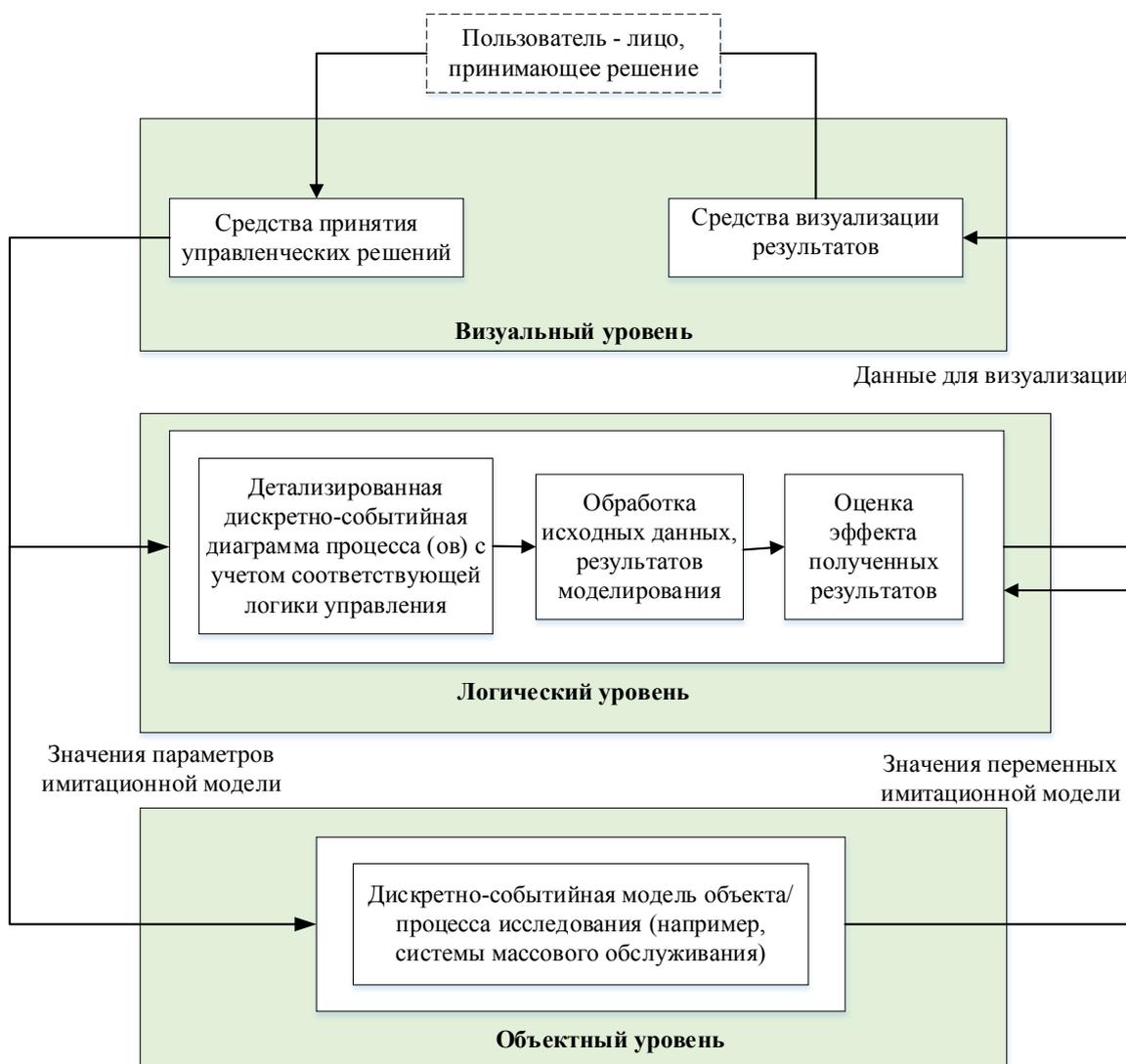


Рис. 1. Обобщенная структурно-функциональная схема многоуровневых имитационных моделей процессов социально-экономических систем.

Визуальный уровень содержит средства принятия управленческих решений и визуализации результатов анализа имитационной модели объекта исследования.

### **Разработка модели процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта в поликлинике**

Рассмотрим процесс обслуживания пациента на приеме у врача с точки зрения теории массового обслуживания, где под заявками (фишками) пони-

маются виртуальные пациенты, в качестве каналов обслуживания предполагается прием у врача-терапевта, под событиями – перемещение пациентов в процессе обслуживания.

Предположим, пациенты приходят в поликлинику на первичный прием к врачу-терапевту в среднем каждые 10 мин. Врач-терапевт обслуживает одного пациента в течение 15 мин., что регламентировано приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 2 июня 2015 г. № 290н [13]. Как показывает практика, указанная продолжительность приема может быть увеличена в зависимости от цели визита пациента, уровня заболеваемости в регионе, доли населения пенсионного возраста и пр. В связи с этим в рамках моделирования декомпозируется процесс приема пациента врачом-терапевтом на фиксирование жалоб пациента ( $t_1$ ), его осмотр ( $t_2$ ) и назначение ему лечения ( $t_3$ ), что в дальнейшем позволит определить причины увеличения времени обслуживания. При этом заполнение карточки пациента врачом присутствует на всех этапах обслуживания. Вместе с тем при построении модели учитываются причины обращения пациента к врачу-терапевту, а именно – простудные/вирусные заболевания ( $t_{2.a}$ ), другие заболевания ( $t_{2.б}$ ), консультация узкого специалиста ( $t_{2.в}$ ). Следовательно, исходными временными данными являются

$$t_1 = 5 \text{ мин.}, t_{2.a} = 6 \text{ мин.}, t_{2.б} = 4 \text{ мин.}, t_{2.в} = 3 \text{ мин.}, t_3 = 4 \text{ мин.}$$

По результатам моделирования требуется определить количество обслуженных врачом пациентов с целью дальнейшей корректировки его загруженности и оптимального количества записанных пациентов. Исследование проведем в течение 8-часового рабочего дня – 480 мин.

Целью моделирования в данном случае является исследование процесса появления очереди и разработка рекомендаций по ее устранению.

На объектном уровне в СМ МАРС модель состоит из следующих компонентов: «Генератор фишек», «Очередь», «Оператор», «Счетчик», «Хранилище фишек». Компоненты «Оператор» и «Хранилище фишек» в процессе моделирования меняют цвет: если количество пациентов равно нулю, то компоненты отображаются зеленым цветом, в противном случае – красным (рис. 2).

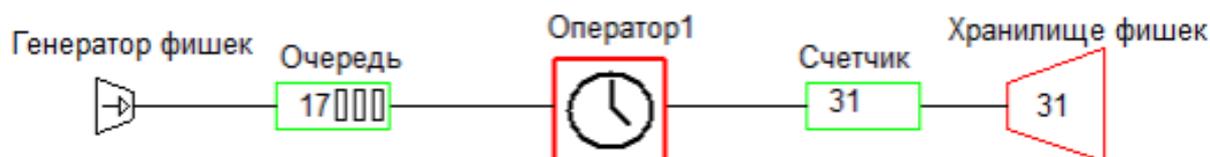


Рис. 2. Модель процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта на объектном уровне.

Из условия поставленной задачи следует, что компонент «Генератор

фишек» имитирует приход пациентов в поликлинику. В случае если врач-терапевт занят, пациент ожидает своего обслуживания в очереди. После того, как врач-терапевт освободился, пациент по принципу «первый пришел – первый ушел» (“first in, first out”) заходит на прием к врачу – это компонент «Оператор». По завершении процесса обслуживания пациент уходит из поликлиники – это компонент «Хранилище фишек». Компонент «Счетчик» показывает, сколько на момент окончания моделирования было обслужено пациентов.

Модель процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта на логическом уровне представлена на рис. 3.

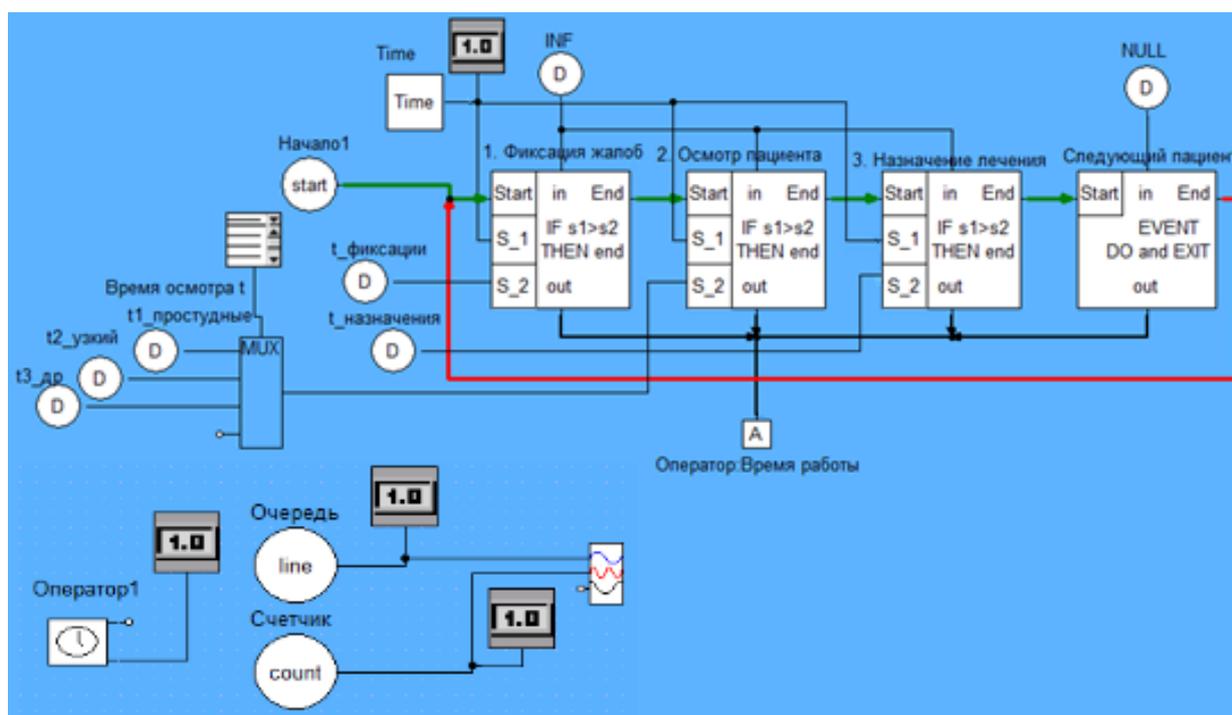


Рис. 3. Модель процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта на логическом уровне.

На этом уровне представлена детализированная дискретно-событийная диаграмма процесса обслуживания пациента на приеме у врача-терапевта (рис. 3), которая построена с использованием инструмента диаграмм состояний SM MAPS [14]. Диаграмма состояний – это цепь компонентов типа «Начало диаграммы» (на рис. 3 на схеме – компонент с названием «Начало1»), «Состояние» (на схеме – «1. Фиксация жалоб», «2. Осмотр пациента», «3. Назначение лечения»), «Событие» (на схеме – «Следующий пациент»), «Конец диаграммы» (на схеме не представлен). Таким образом, в данной работе предлагается комбинация нескольких инструментов имитационного моделирования: 1) систем массового обслуживания – для моделирования процесса обслуживания и ожидания, 2) диаграмм состояний конечного автомата – для динамической параметризации элементов системы массового об-

служивания. Преимущество такого подхода заключается в расширении имитационных возможностей систем массового обслуживания путем добавления дискретно-событийной схемы взаимодействия (помимо имеющейся, которая уже реализуется между элементами системы, – например, «оператором» и «очередью») внутрь любого элемента системы. Так время обслуживания пациента в «операторе» (на приеме у врача) становится не просто константным или случайным значением, а алгоритмической конструкцией, выражающейся конечным автоматом с возможностью ветвления процесса обслуживания.

Каждый компонент «Состояние» соответствует дискретному состоянию объекта в нотациях UML 2 диаграммы конечного автомата (state machine diagram) [15] или диаграммы Stateflow Chart графического языка Stateflow (Matlab) [16]. Компонент L-уровня определяет непрерывное поведение системы на C-уровне во время своего существования посредством варьирования определенного параметра (значение которого поступает в компонент сверху на вход In и выходит через выход Out снизу, а затем передается на компонент-атрибут), в данной схеме параметра «Время работы» компонента «Оператор» на C-уровне. Время жизни компонента типа «Состояние» определяется условием  $S\_1 > S\_2$ , после выполнения которого жизненный цикл компонента завершается и начинается жизненный цикл следующего компонента в цепи диаграммы состояний.

Компонент типа «Событие» срабатывает однократно, передавая компоненту «Оператор» указание, что время обслуживания фишки (пациента) уже завершено. После этого цепочка диаграммы состояний замыкается и первый ее компонент («1. Фиксация жалоб») снова начинает свой жизненный цикл, тем самым проход по диаграмме состояний является итеративным и завершается по окончании времени моделирования всей схемы. Порядок работы диаграммы состояний в нотациях UML 2 представлен на рис. 4.



Рис. 4. Диаграмма конечного автомата для описания процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта.

На рис. 5 – 7 модель процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта представлена на визуальном уровне. Результаты моделирования отображены на графиках, где ось X – это время моделирования, ось Y – количество пациентов.

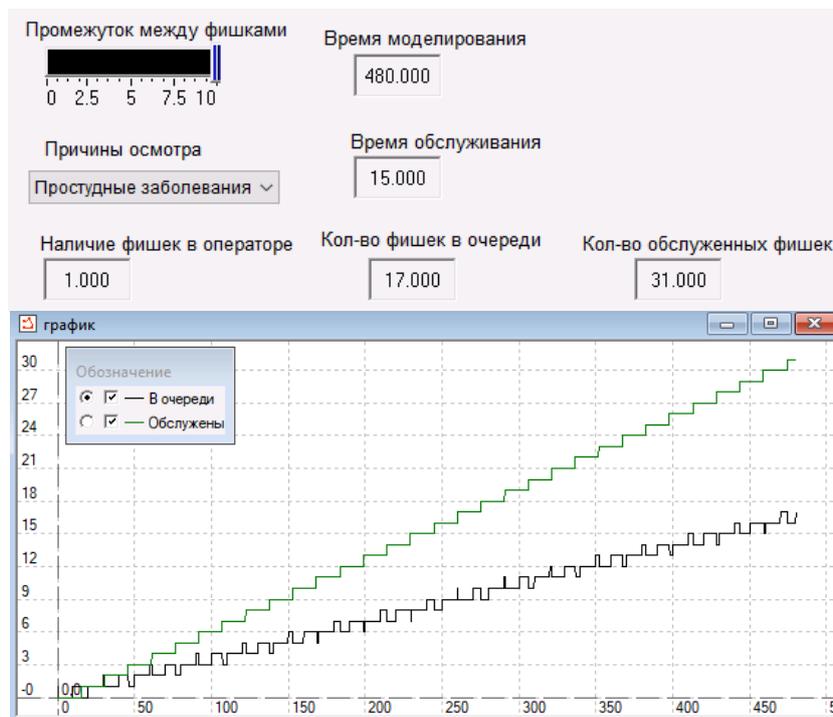


Рис. 5. Результаты моделирования процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта на визуальном уровне (причина осмотра – простудные заболевания).

На рис. 5 видно, что при условии, что пациенты прибывают в среднем каждые 10 минут, терапевт не справляется с потоком пациентов, количество пациентов в очереди продолжает расти. В таком случае можно дать рекомендацию об организации работы еще одного терапевта.

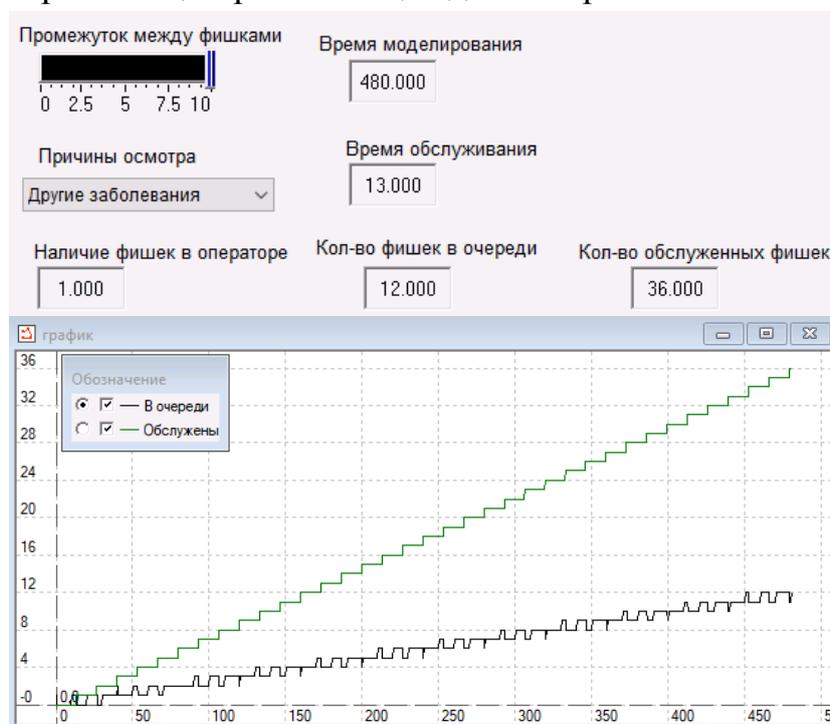


Рис. 6. Результаты моделирования процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта на визуальном уровне (причина осмотра – другие заболевания).

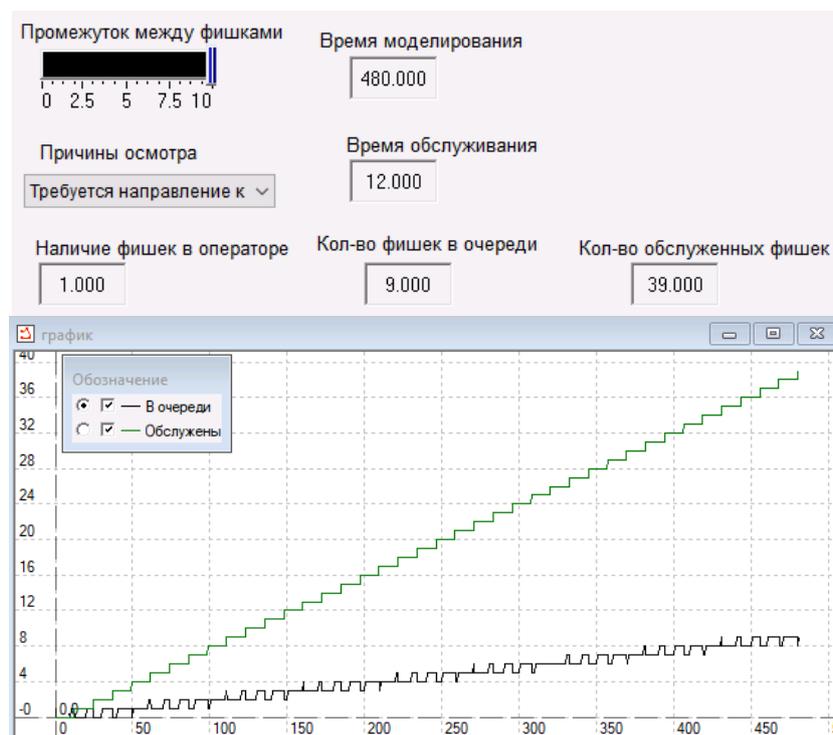


Рис. 7. Результаты моделирования процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта на визуальном уровне (причина осмотра – направление к узкому специалисту).

По результатам моделирования видно, что при обращении пациентов с простудными заболеваниями обслужен 31 человек, в очереди остается 17 и 1 человек на момент завершения вычислительного эксперимента находится на приеме у врача; при других заболеваниях обслужено 36 человек, 1 находится на приеме у врача и 12 человек в очереди; при обращении за направлением к узкому специалисту обслужено 39 человек, в очереди 9 и 1 человек находится на приеме у врача. В целях обслуживания большего количества пациентов медицинскому учреждению необходимо либо модифицировать организацию приема пациентов, либо увеличить количество врачей. Например, при обращении пациентов с простудными заболеваниями можно рассмотреть возможность сокращения времени на фиксирование жалоб пациента и назначение ему лечения. В частности, в данном случае симптомы и лечение у пациентов могут быть идентичны, поэтому рекомендуется предварительно разработать чек-лист для фиксирования жалоб и варианты лечения, которые могут быть скорректированы на основе осмотра.

## Заключение

Предлагаемая модель процесса обслуживания виртуального пациента на приеме у врача-терапевта позволяет определить время его обслуживания, а также заблаговременно оценить количество обслуженных и необслуженных пациентов. На основании этого разрабатываются рекомендации по

устранению очереди: в частности, при идентичных симптомах и лечении предлагается сократить время приема пациента у врача-терапевта на 10-15% за счет предварительно разработанного чек-листа фиксирования жалоб и лечения, что позволит увеличить количество обслуженных пациентов.

Разработанная имитационная модель процесса обслуживания виртуального пациента является универсальной. В данной статье она рассматривается применительно к приему пациента у врача-терапевта, но при изменении входных параметров и конкретизации этапов модели может быть перестроена для других процессов сферы здравоохранения, сферы услуг, производства и др., связанных с потерями времени от ожидания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цифровые двойники в здравоохранении [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zdrav.expert/index.php/> (дата обращения 25.05.2022).
2. *Чижов А.А., Шеметова Н.К.* Создание цифрового двойника пациента как инструмент реформирования системы здравоохранения // Государство, политика, социум: вызовы и стратегические приоритеты развития: Материалы XV Международной научно-практической конференции. – Екатеринбург: Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, 2019. – С. 370-374.
3. *Новицкий П.А.* Использование цифровых двойников для увеличения уровня жизни населения // Транспортное дело России. – 2020. – № 4. – С. 95-96.
4. *Петров А.В.* Имитация как основа технологии цифровых двойников // Вестник ИрГТУ. – 2018. – №10 (141). – С. 56-66.
5. Как власти решают проблему очередей в поликлинике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/photoreport/02/02/2022/61f9433b9a79478b3d5756e9> (дата обращения 23.05.2022).
6. Томичи жалуются на очереди и невозможность попасть к врачу в поликлинику [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tomsk.bezformata.com/listnews/ocheredi-i-nevozmozhnost-popast-k-vrachu/102064068/> (дата обращения 23.05.2022).
7. Решение проблемы очередей в поликлинике как механизм обеспечения доступности первичной медико-санитарной помощи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Fwww.dzhmao.ru%2Fupload%2FZamanov.pptx&wdOrigin=BROWSELINK> (дата обращения 25.05.2022).
8. *Синцева М.М.* Имитационное моделирование обслуживания пациентов в медицинском учреждении // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2021): труды Международной научно-технической конференции. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2021. – С. 413-417.
9. *Гробер Т.А., Савченко О.В.* Создание имитационной модели поликлиники // Молодой исследователь Дона. – 2020. – №3(24). – С. 22–27.
10. МАРС – среда моделирования технических устройств и систем / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, Т.Н. Зайченко, Т.В. Ганджа. – Томск: В-Спектр, 2011.
11. *Григорьева Т.Е.* Методика и комплекс имитационных моделей планирования процес-

- са снегоборки: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск: ТУСУР, 2019.
12. *Дмитриев В.М., Ганджа Т.В.* Принцип формирования многоуровневых компьютерных моделей SCADA-систем для управления сложными технологическими объектами // Информатика и системы управления. – 2013. – № 2(36). – С. 024-035.
  13. Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 2 июня 2015 г. № 290н «Об утверждении типовых отраслевых норм времени на выполнение работ, связанных с посещением одним пациентом врача-педиатра участкового, врача-терапевта участкового, врача общей практики (семейного врача), врача-невролога, врача-оториноларинголога, врача-офтальмолога и врача-акушера-гинеколога» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://medrabotnik.org/materials/prikaz-minzdrava-rf-290n-o-normah-vremeni-ambulatornogo-priema> (дата обращения 18.05.2022).
  14. *Kochergin M.I.* Interpretation of the statechart diagram into a multilevel simulation language // Доклады ТУСУР. – 2017. – Т. 20, № 4. – С. 122-125.
  15. *Börger E., Cavarra A., Riccobene E.* Modeling the Dynamics of UML State Machines // Abstract State Machines. Theory and Applications. ASM 2000. Lecture Notes in Computer Science. – Berlin: Springer. – Vol. 1912. – P. 223–241. DOI: 10.1007/3-540-44518-8\_13.
  16. *Десятов А.Д., Сирота А.А.* Имитационное моделирование сложных динамических систем в интегрированной инструментальной среде Matlab + Simulink+Stateflow // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: «Системный анализ и информационные технологии». – 2006. – № 2. – С. 62-69.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.*

*E-mail:*

*Григорьева Татьяна Евгеньевна – [tanya\\_grig\\_1991@mail.ru](mailto:tanya_grig_1991@mail.ru);*

*Кочергин Максим Игоревич – [maksim.i.kochergin@tusur.ru](mailto:maksim.i.kochergin@tusur.ru);*

*Дмитриев Вячеслав Михайлович – [dmitriewvm@gmail.com](mailto:dmitriewvm@gmail.com).*