УДК 338.27, 004
JEL C53
DOI: 10.57015/issn1998-5320.2022.16.3.20
Научная статья

Н. С. Веремчук[1]
n-veremchuk@rambler.ru
[1]Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), г. Омск, Российская Федерация

Применение имитационного моделирования в задачах планирования и управления медицинской организацией

Аннотация: Описывается разработка и исследование имитационной модели клиники. Модель основана на агентном и дискретно-событийном моделировании в среде AnyLogic PLE. Цель работы – выполнить апробацию разработанной имитационной модели клиники при различных режимах работы. Приведены результаты экспериментов, целью которых было исследование функционирования системы обслуживания пациентов клиники, изучение статистики очередей, вероятности отказа в обслуживании. С применением имитационного подхода для системы обслуживания пациентов клиники осуществлялся сбор статистических характеристик по затратам труда, а также оценивался наиболее трудоемкий процесс или операция. По результатам экспериментов сделаны выводы об особенностях функционирования системы обслуживания пациентов при различных режимах работы. Применение имитационного моделирования к процессам анализа, прогнозирования и управления деятельностью клиники позволяет в режиме реального времени, с учетом визуализации внутренних процессов в системе, выявить наиболее значимые проблемы и принять решения по их устранению. Полученные результаты могут применяться для экономического планирования и принятия решений по улучшению работы клиники, а также при формировании необходимых профессиональных компетенций у обучающихся в процессах освоения основных образовательных программ бакалавриата и магистратуры.

Ключевые слова: диаграмма процесса, имитационный подход, система обслуживания, учебный процесс, экономика здравоохранения.

Дата поступления статьи: 22 апреля 2022 г.

Для цитирования: Веремчук Н. С. (2022) Применение имитационного моделирования в задачах планирования и управления медицинской организацией. Наука о человеке: гуманитарные исследования, том 16, № 3, с. 200–209. DOI: 10.57015/issn1998-5320.2022.16.3.20.

Scientific article

N. S. Veremchuk[1]
n-veremchuk@rambler.ru
[1]The Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation

Application of simulation modeling in medical organization planning and management

Abstract: The development and research of a simulation model of the clinic is described. The model is based on agent-based and discrete-event modeling in the AnyLogic PLE environment. The purpose of the work is to test the developed simulation model of the clinic under various operating modes. The results of experiments are presented; their purpose was to study the functioning of the clinic's patient care system, the study of queue statistics, and the probability of denial of service. Using a simulation approach for the clinic's patient care system, statistical characteristics on labor costs were collected, and the most labor-intensive process or operation was evaluated. Conclusions were drawn about the features of the patient care system functioning under various operating modes based on the results of the experiments. The application of simulation modeling to the processes of analysis, forecasting and management of the clinic's activities allows identifying the most significant problems and make decisions to eliminate themon a real-time basistaking into account the visualization of internal processes in the system. The results obtained can be used for economic planning and decision-making to improve the work of the clinic, as well as for the formation of the necessary professional competencies of students in the processes of mastering the basic educational programs of the bachelor's and master's degree.

© Н. С. Веремчук, 2022

Keywords: process diagram, simulation approach, service system, educational process, health economics.

Paper submitted: April 22, 2022.

For citation: Veremchuk N. S. (2022) Application of simulation modeling in medical organization planning and management. Russian Journal of Social Sciences and Humanities, vol. 16, no. 3, pp. 200–209. DOI: 10.57015/issn1998-5320.2022.16.3.20.

Введение

С применением имитационного моделирования изучается поведение рассматриваемой системы или процесса в различных условиях (Масюк и др., 2020; Бодрякова и др., 2020; Боев, 2021). Основным в имитационном моделировании является описание множеств переменных и состояний системы. Любая система может находиться в том или другом состоянии. Варьируя значения переменных и параметров, можно осуществить имитацию перехода системы между своими состояниями по определенным правилам и изучить динамическое поведение системы (Akopov et al., 2021; Makarov et al., 2019; Кузьмин и др., 2020). При этом процесс смены состояний может проходить непрерывно либо в конкретные моменты времени, т. е. дискретно. Важная задача имитационного подхода – это динамическое отражение во времени процессов системы (Akopov et al., 2020; Beklaryan et al., 2019).

Важным аспектом в системах поддержки принятия решений является учет имитационных моделей сложных систем (Акопов, Хачатрян, 2021; Макаров и др., 2022; Макаров и др., 2021; Горбачев и др., 2019; Веремчук, 2021; Ordu M. et al., 2020). Применение такого подхода дает возможности проводить исследования различных состояний системы, рассматривать множество вариантов решений, имитировать вариации сценариев развития событий при любых начальных данных. С применением результатов таких исследований составляются прогнозы о поведении системы в различных условиях. Это лежит в основе широкого распространения имитационного подхода в областях деятельности человека (Oueida et al., 2019; Карпов и др., 2018; Щербаков и др., 2017; Попов, 2014; Хачумов, Погодин, 2010).

С целью изучения организации и оценки качества предоставляемых населению услуг, в том числе медицинских, применяются различные подходы. Как правило, оказание медицинских услуг сопровождается набором рисков и ограничений и подвергается тщательному контролю. Например, с помощью имитационного моделирования можно с достаточной точностью анализировать процессы по обслуживанию пациентов в клинике при различных режимах работы (Карпов и др., 2018; Щербаков и др., 2017; Попов, 2014; Хачумов, Погодин, 2010). Это поможет понять, как взаимосвязаны элементы системы, принять решения по стратегиям действий. Что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на процессы распределения ресурсов и определения приоритетных направлений деятельности. Моделирование процессов обслуживания пациентов в клинике позволит проводить анализ деятельности учреждения, использования его ресурсов, а также выявить возможные риски, слабые места. При этом анализировать систему можно на различных уровнях с учетом поставленных целей. Понять суть проблемы и оценить эффективность системы оказания медицинских услуг можно с помощью имитационного моделирования.

В литературе исследуются модели в сфере здравоохранения на разных уровнях и направлениях. Так, например, изучались модели организации операционной, станции скорой помощи и т. д. При этом есть работы, посвященные системе здравоохранения страны и отдельных регионов (Карпов и др., 2018; Щербаков и др., 2017; Попов, 2014; Хачумов, Погодин, 2010). Целью таких работ были учет различной нагрузки на персонал и оценка своевременного оказания услуг пациентам, повышение эффективности использования ресурсов и экономических показателей деятельности. При этом учитывалась также специфика медицинских учреждений по видам оказания услуг.

Библиометрический анализ показал, что в исследованиях строятся модели отдельных заболеваний и проводится оценка стратегий лечения, а также моделируются случаи оказания медицинской помощи в режиме чрезвычайных ситуаций и техногенных катастроф. Применение

имитационных моделей позволяет выполнять оценку готовности организаций к работе в таких ситуациях.

Применение имитационного подхода позволяет преодолеть многие ограничения аналитических методов решения. Так, например, в сфере здравоохранения велики риски, связанные с жизнью человека. Поскольку вовремя не оказанная помощь может привести к необратимым последствиям. Кроме того, важно учитывать сложный и многоуровневый характер взаимодействия элементов систем здравоохранения, а именно учет наличия необходимых в данный момент ресурсов (медицинское оборудование, персонал), ценность времени и скорости оказания услуг пациентам. Таким образом, моделирование деятельности медицинских учреждений является перспективным направлением улучшения организации и эффективности оказания медицинской помощи. На практике реализация имитационных моделей усложняется за счет большого числа разнообразных процессов оказания медицинской помощи населению.

Построение имитационных моделей осуществляется с применением информационных технологий и программных продуктов. Наиболее распространенными средами для проведения имитационного моделирования принято считать следующие программные продукты: Arena, Extend, AnyLogic, AutoMod, Promodel. При этом AnyLogic имеет ряд преимуществ и широко применяется в производственных, социально-экономических, транспортных областях и многих других сферах. Версия AnyLogic PLE (Personal Learning Edition) доступна бесплатно для образовательных целей (Боев, 2021). Указанная программная среда позволяет принимать решения и решать управленческие задачи, в том числе в сфере здравоохранения.

Следует отметить, что использование имитационных моделей в учебном процессе ускоряет обучение студентов с учетом возможности наблюдения за поведением системы в режиме реального времени (Веремчук, 2021). Это позволяет подготавливать специалистов с профессиональными компетенциями в области анализа, прогнозирования и оптимизации работы сложных систем.

В данной работе описаны разработка и исследование имитационной модели небольшой клиники с целью анализа и оценки эффективности процессов обслуживания пациентов. Для реализации использовалась программная среда AnyLogic PLE. Моделирование системы обслуживания пациентов клиники является важной и необходимой задачей. По результатам моделирования сделаны выводы об особенностях функционирования системы в различных режимах работы. Приведены результаты экспериментов, целью которых было исследование функционирования системы обслуживания пациентов клиники, изучение статистики очередей, вероятности отказа в обслуживании. Полученные результаты могут применяться для принятия решений по улучшению работы клиники, а также при формировании необходимых профессиональных компетенций обучающихся в процессах изучения образовательных программ.

Методы

Имитационное моделирование основывается на теории массового обслуживания, методах оптимизации и исследовании операций, теории вероятностей, теории систем и системном анализе, методах математической статистики и других разделах математики. Имитационное моделирование обычно проводится с использованием информационных технологий и программных продуктов для автоматизации различных процессов в исследуемой системе.

Моделирование является одним из методов исследования поведения сложных систем. При этом выделяются взаимосвязанные элементы системы, отражается их функционирование как друг с другом, так и с окружающей средой. Взаимодействие отображается с помощью числовых закономерностей, формул, графиков и т. д.

В литературе выделяют детерминированное и стохастическое, статическое и динамическое, дискретное и непрерывное моделирование в зависимости от характера исследуемых процессов, проходящих в системе.

Выделяются модели ситуационного анализа, модели динамического анализа, критические модели. На основе характеристик используемых техник моделирования выделяют несколько

групп моделей: статистические модели (statistical models); модели искусственного интеллекта (artificial intelligence models); теоретические модели (theoretic models). Выбор различных техник моделирования сопряжен с их сложностью и точностью прогнозирования (Патласов, Сергиенко, 2020).

С применением детерминированного моделирования отражаются системные процессы, в которых предполагается отсутствие любых случайных воздействий и факторов. В случаях, когда речь идет о реальных вероятностных процессах, используется стохастическое моделирование (Горбачев и др., 2019). С целью описания поведения объекта в определенный момент времени применяется статическое моделирование. Для отражения поведения объекта во времени используется динамическое моделирование. Когда необходимо описать дискретные процессы, на помощь приходит дискретное моделирование, в такой системе переменные меняются беспрерывно во времени.

Математическими моделями представляют систему посредством логических и количественных отношений. При этом важными аспектами являются вопросы определения, типизации и классификации исследуемых процессов или явлений. Это базируется на том, что модель должна как можно точнее описывать реальный процесс. На практике же рассматриваемые моделируемые системы очень сложны, насыщены множеством элементов, число связей между которыми достаточно велико. Это приводит к росту сложности, трудоемкости разработки, программной реализации моделей и, как следствие, понимания и анализа полученных результатов.

Отметим основные этапы процесса построения имитационной модели для любой системы или процесса (Боев, 2021). Как правило, сначала описывается содержательная постановка задачи и формулируется концептуальная модель системы. Далее осуществляется разработка и программная реализация имитационной модели. Следующий этап – это проведение вычислительных экспериментов при различных начальных данных. По результатам экспериментов формулируются выводы, варианты решения задачи и стратегии развития возможных ситуаций. Финальный этап – это принятие решения с учетом поставленных целей.

При построении имитационных моделей применяют агентное, дискретно-событийное моделирование и системную динамику.

С помощью агентно-ориентированного подхода часто получают информацию о функционировании системы во времени. Агент – это элемент системы, который действует в системе по заданным правилам. Агент может взаимодействовать с окружающей средой, в результате чего могут изменяться его состояния или он сам (Масюк и др., 2020; Akopov et al., 2021; Макаров и др., 2022).

Дискретно-событийная методология, как правило, используется при построении моделей, связанных с обработкой заявок в системе. Даже в самых различных процессах обслуживания есть много общих составляющих. Например, заявки сначала поступают в систему, далее ожидают обработки, затем участвуют в других ее подпроцессах (Макаров и др., 2021; Горбачев и др., 2019).

Воздействие характеристик системы друг на друга учитывается в системной динамике. С применением указанной парадигмы происходит понимание основной сути происходящего процесса. В этом случае принимается во внимание взаимодействие объектов рассматриваемой системы во времени.

Опишем процесс построения имитационной модели клиники в среде AnyLogic PLE. Клиника – это медицинское учреждение, где необходимо грамотное управление. Квалифицированная и своевременно оказанная помощь для пациентов очень важна. Моделирование системы обслуживания пациентов клиники нацелено на улучшение работы регистратуры и врачей, подбор необходимого их количества.

Рассмотрим, как работает клиника в течение восьмичасового рабочего дня. Зададим следующую логику моделируемых процессов. Считается, что в среднем каждые 12 минут пациенты приходят в клинику. Далее они направляются в регистратуру, где их обслуживание длится в среднем 3 минуты. Полагается, что врачебный прием осуществляется в среднем 12 минут. В клинике три врача одинаковой специализации. Возникновение очередей на обслуживание происходит в момент прохождения регистратуры и при посещении врача. В результате возможны

ситуации, когда все зарегистрированные пациенты посетят врача или не посетят. В случаях, когда один из докторов занят, прием пациентов ведет свободный врач по мере возможности.

Концептуальная модель, задающая потоки движения клиентов в клинике, представлена в виде системы массового обслуживания на рис. 1.

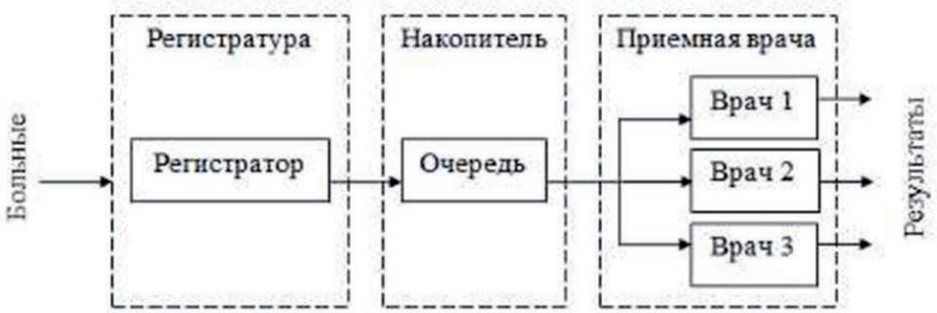

Рис. 1. Концептуальная модель движения клиентов в клинике

Fig. 1. Conceptual model of client movement in the clinic

Исходя из содержательной постановки задачи и концептуальной модели, в процессе разработки имитационной модели использовались агентная и дискретно-событийная методология. Построенная модель и диаграмма процесса обслуживания пациентов клиники представлены на рис. 2. В проекте AlyLogic при построении рабочей области клиники использовались элементы из палитры «Разметка пространства». Здание клиники имитировалось с применением блока «Стена» из указанной палитры. Блок «Сервис с очередью» указывает места, где осуществляется обслуживание пациентов и возможно образование очереди. Вход, выход из клиники отмечены с применением элемента «Целевая линия». Направление движения пациентов в клинике отмечено кривой на рис. 2.

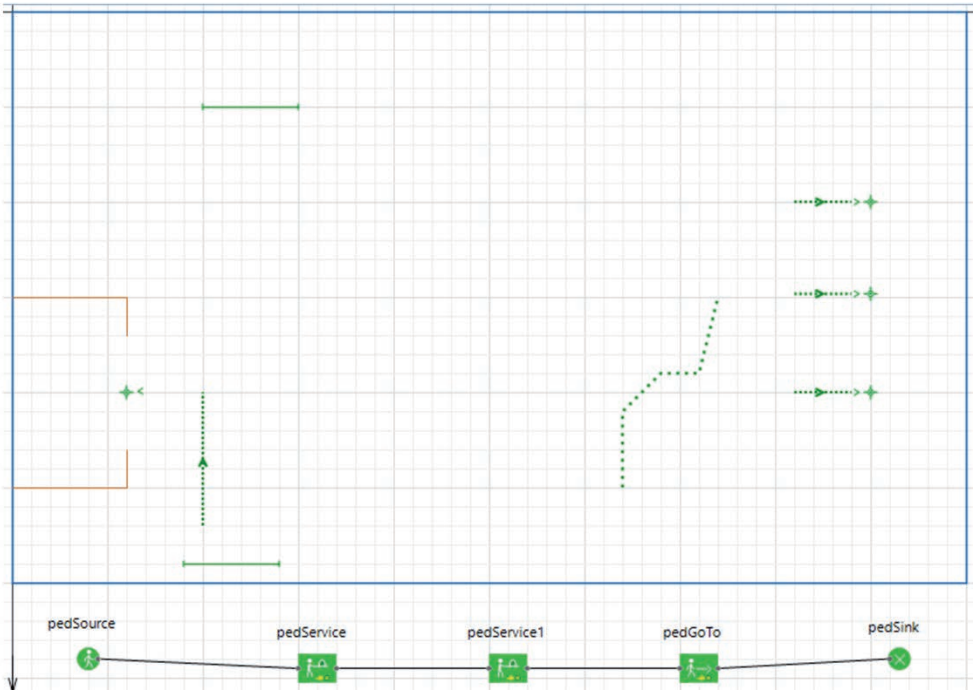

Рис. 2. Диаграмма процесса обслуживания пациентов клиники

Fig. 2. Diagram of the clinic's patient care process

При создании диаграммы процесса применялись дискретно-событийное моделирование и элементы пешеходной библиотеки. С помощью блока pedSource из этой библиотеки имитируется поступление пациентов в клинику. В свойствах данного блока указана интенсивность прибытия 12 человек в час. С применением блоков pedService и pedService1 имитируются процессы обслуживания в регистратуре и у врача соответственно. Для этого в свойствах этих блоков указана интенсивность обслуживания 3 минуты и 12 минут соответственно. Блок pedGoTo – для указания направления движения пациентов. Блок pedSink предназначен для уничтожения пациентов из системы обслуживания клиники.

Следует отметить, что при задании вероятностных характеристик процессов обслуживания пациентов в клинике применялось равномерное распределение. Непрерывное равномерное распределение – это распределение случайной величины со значениями из интервала [xmin, xmax], где xmin, xmax – минимальное и максимальное значения.

После создания рабочей области и диаграммы процесса, описывающей поведение пациентов в клинике, проводятся эксперименты.

Результаты

С помощью имитационной модели работы клиники проведена серия экспериментов, в которых варьируются значения интенсивностей прихода пациентов в клинику, время их обслуживания в регистратуре и у врачей. Для исследования поведения системы в различных режимах работы изменялись указанные значения параметров (табл. 1).

Таблица 1 – Исходные данные для экспериментов

Table 1 – Initial data for experiments

№	Интенсивность прихода пациентов, чел. в час	Время обслуживания в регистратуре, мин.	Время обслуживания у врача, мин.
1	10	2–3	10–15
2	12	2–3	10–15
3	14	2–3	10–15
4	14	3–4	10–15
5	14	2–4	10–15
6	14	3–4	10–12
7	14	3–4	12–15

По результатам первых трех экспериментов следует, что для проведения дальнейших исследований целесообразно установить значение интенсивности появления пациентов равным четырнадцати. Число пришедших пациентов в системе следует моделировать по возможности больше, чтобы наблюдать за их обслуживанием при подсчете основных характеристик функционирования системы.

В следующих экспериментах установлено время обслуживания пациентов в регистратуре от трех до четырех минут.

При проведении шестого и седьмого экспериментов изменен диапазон значений времени обслуживания пациентов у врача (табл. 1).

В результате выполнения экспериментов подсчитывалось число пациентов, посетивших клинику. Из них выделялось число обслуженных пациентов. Вероятность отказа в обслуживании подсчитана как отношение числа необслуженных пациентов к общему числу посетителей клиники (табл. 2).

С меньшей вероятностью отказа в обслуживании получился пятый эксперимент. При этом диапазон времени обслуживания в регистратуре составил от двух до четырех минут, время обслуживания пациента у врача – от десяти до пятнадцати минут (рис. 3). В случаях, когда наблюдается увеличение времени приема у врача, вероятность отказа в обслуживании возрастает (седьмой эксперимент).

Таблица 2 – Результаты экспериментов

Table 2 – Experimental results

№	Количество пациентов, чел.	Количество обслуженных пациентов, чел.	Вероятность отказа в обслуживании
1	68	66	0,03
2	105	102	0,03
3	111	101	0,08
4	120	117	0,03
5	100	99	0,01
6	111	101	0,09
7	120	103	0,17

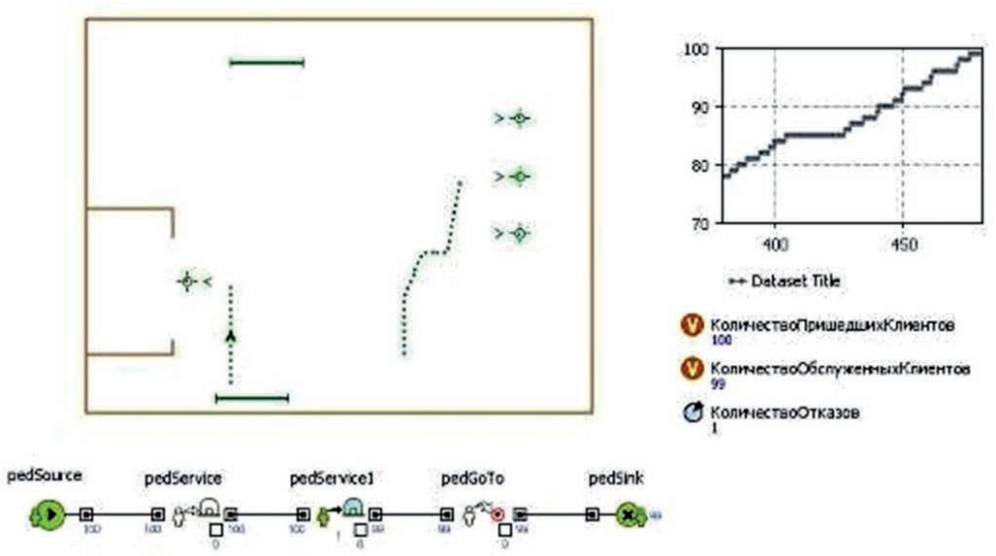

Рис. 3. Результаты пятого эксперимента

Fig. 3. Results of the fifth experiment

Выводы

По результатам анализа состояния и деятельности в рассматриваемый период службы занятости населения можно сделать следующие выводы, которые, несомненно, будут актуальны и в настоящее время, несмотря на реформирование СЗ:

– необходимы разработка и внедрение клиентоориентированного подхода к работе с различными группами населения с учетом возрастных характеристик;

– представляется необходимым сделать акцент на технологии работы с молодежью, обратить внимание, что профессиональные знания и умения для молодежи имеют тот же приоритет, что и личная жизненная активность;

– люди старшего поколения также являются будущим ресурсом рынка труда, но подходы к работе с ними должны быть другими.

С применением Anylogic PLE разработана имитационная модель системы обслуживания пациентов небольшой клиники. В ходе построения модели применялись методы агентного и дискретно-событийного моделирования.

Проведены эксперименты по исследованию функционирования системы в различных режимах работы. При этом проводилось изучение статистики очередей, вероятности отказа в обслуживании. По результатам экспериментов сделаны выводы об особенностях функционирования системы

обслуживания пациентов. Отмечен лучший эксперимент, в котором получена наименьшая вероятность отказа в обслуживании. В случаях, когда увеличивалось время приема у врача, вероятность отказа в обслуживании возрастала.

На сегодняшний день построенная имитационная модель обслуживания пациентов актуальна, легко адаптируется под другие условия функционирования клиники. Модель позволяет осуществлять экономическое планирование, анализ работы клиники. На основе результатов моделирования можно проводить экономическое планирование и принимать решения об улучшении функциональности клиники в различных ситуациях на практике.

Применение инструментария имитационного моделирования к процессам анализа, прогнозирования и управления деятельностью клиники является перспективным направлением, поскольку позволяет в режиме реального времени, с учетом визуализации внутренних процессов в системе, выявить наиболее значимые проблемы и принять решения по их устранению. Кроме того, с применением имитационного подхода для системы обслуживания пациентов клиники осуществляется сбор статистических характеристик по затратам труда, а также оценивается наиболее трудоемкий процесс или операция. Всё это позволяет делать выводы и прорабатывать различные сценарии развития событий. Следует отметить, что существует множество медицинских организаций различного типа и направленности. Для повышения эффективности их деятельности необходимо проводить имитационные эксперименты с учетом конкретных параметров организации.

Полученные результаты могут применяться не только при решении вопросов планирования и управления деятельностью клиники, но и в рамках освоения учебных дисциплин основных образовательных программ бакалавриата и магистратуры при формировании профессиональных компетенций обучающихся. В ходе разработки имитационной модели студенты приобретают знания, умения и навыки по изучению поведения сложных систем. Применение в учебном процессе имитационного подхода при анализе и прогнозировании поведения сложных систем приводит к тому, что обучение становится более наглядным, информативным за счет применения графических инструментов программной среды AnyLogic и возможностей наблюдения за поведением системы в режиме реального времени. Всё это ускоряет освоение студентами образовательных дисциплин и позволяет подготавливать специалистов с профессиональными компетенциями в области анализа, прогнозирования и оптимизации работы сложных систем различных областей деятельности.

Источники

Акопов А. С., Хачатрян Н. К. (2021) Имитационная модель нефтеперерабатывающего предприятия со сложной схемой взаимодействия оборудования. Программная инженерия, т. 12, № 6, с. 319–328.

Бодрякова Л. Н., Мухаметдинова С. Х., Петухов М. В. (2020) Применение функционально ориентированного моделирования для анализа эффективности бизнес-процессов (на примере изготовления швейных изделий). Наука о человеке: гуманитарные исследования, т. 14, № 3, с. 174–181.

Боев В. Д. (2021) Компьютерное моделирование в среде AnyLogic. М., Юрайт, 298 с.

Веремчук Н. С. (2021) О разработке имитационной модели доставки груза. Перспективы науки, № 11, с. 41–45.

Веремчук Н. С. (2021) Об имитационном моделировании элементов дорожной сети. Перспективы науки, № 12, с. 38–41.

Горбачев Д. В., Кузнецов О. Ю., Ямников О. А. (2019) Дискретно-стохастическая модель для анализа пространства состояний пациента. Научно-технический вестник Поволжья, № 5, с. 89–92.

Карпов О. Э., Субботин С. А., Замятин М. Н., Шишканов Д. В., Асташев П. Е., Прохорова Е. С. (2018) Имитационное моделирование деятельности современного многопрофильного медицинского учреждения. Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова, № 6 (102), с. 57–66.

Кузьмин П. И., Мищенко И. К., Ощепков М. Е. (2020) Использование имитационного моделирования для повышения эффективности швейного производства. Известия АлтГУ. Математика и механика, № 1 (111), с. 105–110.

Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л., Акопов А. С. (2021) Цифровой завод: методы дискретно-событийного моделирования и оптимизации производственных характеристик. Бизнес-информатика, т. 15, № 2, с. 7–20.

Макаров В. Л., Бахтизин А. Р., Бекларян Г. Л., Акопов А. С., Ровенская Е. А., Стрелковский Н. В. (2022) Агентное моделирование социально-экономических последствий миграции при государственном регулировании занятости. Экономика и математические методы, т. 58, № 1, с. 113–130.

Масюк Н. Н., Куликова О. М., Усачева Е. В. (2020) Применение имитационного моделирования и агентного подхода при решении задач планирования и оптимизации в здравоохранении РФ. Наука о человеке: гуманитарные исследования, т. 14, № 3, с. 198–207.
Патласов О. Ю., Сергиенко О. В. (2020) Антикризисное управление в коммерческой организации. М., РУСАЙНС, 420с. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=44796030.
Попов А. А. (2014) Разработка модели медицинского call-центра города Красноярска на основе системы имитационного моделирования Anylogic. Образовательные ресурсы и технологии, № 1, с. 57–61.
Хачумов В. М., Погодин С. В. (2010) Моделирование работы лечебного учреждения как системы массового обслуживания. Искусственный интеллект и принятие решений, № 1, с. 49–56.
Щербаков С. М., Теплякова Е. Д., Румянцев С. А., Василенок А. В. (2017) Имитационное моделирование в задачах управления медицинской организацией амбулаторного типа. Социальные аспекты здоровья населения, т. 56, № 4. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=29817888&ysclid=l7yklxc3zm947743566.
Akopov A., Beklaryan L., Beklaryan A. (2020) Cluster-Based Optimization of an Evacuation Process Using a Parallel Bi-Objective Real-Coded Genetic Algorithm. Cybernetics and information technologies, vol. 20, no. 3, pp. 45–63.
Akopov A., Beklaryan L., Beklaryan A. (2021) Multi-sector bounded-neighbourhood model: agent segregation and optimization of environment characteristics. Matem. Mod.. vol. 33, no. 11, pp. 95–114.
Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Beklaryan G. L. (2019) Developing digital twins for production enterprises. Business Informatics, vol. 14, no. 1. pp. 7–16.
Beklaryan L., Khachatryan N., Akopov A. (2019) Model for organization cargo transportation at resource restrictions. International Journal of Applied Mathematics, vol. 32, no. 4, pp. 627–640.
Ordu M. et al. (2020) A novel healthcare resource allocation decision support tool: A forecasting-simulation-optimization approach. Journal of the operational research society, no. 2, pp. 1–16.
Oueida S., Aloqaily M., Ionescu S. (2019) A smart healthcare reward model for resource allocation in smart city. Multimedia tools and applications, vol. 78, no. 17, pp. 24573–24594.

References

Akopov A., Beklaryan L., Beklaryan A. (2020) Cluster-Based Optimization of an Evacuation Process Using a Parallel Bi-Objective Real-Coded Genetic Algorithm. Cybernetics and information technologies, vol. 20, no. 3, pp. 45–63.
Akopov A., Beklaryan L., Beklaryan A. (2021) Multi-sector bounded-neighbourhood model: agent segregation and optimization of environment characteristics. Matem. Mod.. vol. 33, no. 11, pp. 95–114.
Akopov A. S., Hachatryan N. K. (2021) Imitacionnaya model' neftepererabatyvayushchego predpriyatiya so slozhnoj skhemoj vzaimodejstviya oborudovaniya [Simulation model of an oil refinery with a complex scheme of equipment interaction]. Software Engineering, vol. 12, no. 6, pp. 319–328 (In Russian).
Beklaryan L., Khachatryan N., Akopov A. (2019) Model for organization cargo transportation at resource restrictions. International Journal of Applied Mathematics, vol. 32, no. 4, pp. 627–640.
Bodryakova L. N., Muhametdinova S. H., Petuhov M. V. Primenenie funkcional'no orientirovannogo modelirovaniya dlya analiza effektivnosti biznes-processov (na primere izgotovleniya shvejnyh izdelij) [Function-specific simulation in analysis of business processes efficiency (on the example of ready-made garments production)]. The Science of Person: Humanitarian Researches, vol. 14, no. 3, pp. 174–181. DOI: 10.17238/issn1998-5320.2020.14.3.21 (In Russian).
Boev V. D. (2021) Komp'yuternoe modelirovanie v srede AnyLogic [Computer simulation in the AnyLogic environment]. Moscow, Yurajt Publ., 298 p. (In Russian).
Gorbachev D. V., Kuznetsov O. Yu., Yamnikov O. A. (2019) Diskretno-stokhasticheskaya model' dlya analiza prostranstva sostoyaniy patsiyenta [Discrete-stochastic model for the analysis of the patient's state space]. Scientific and Technical Volga region Bulletin, no. 5, pp. 89–92 (In Russian).
Khachumov V. M., Pogodin S. V. (2010) Modelirovanie raboty lechebnogo uchrezhdeniya kak sistemy massovogo obsluzhivaniya [Modeling the operation of a medical institution as a queuing system]. Artificial intelligence and decision making, no. 1, pp. 49–56 (In Russian).
Karpov O. E., Subbotin S. A., Zamyatin M. N., Shishkanov D. V., Astashev P. E., Prokhorova E. S. (2018) Imitacionnoe modelirovanie deyatel'nosti sovremennogo mnogoprofil'nogo medicinskogo uchrezhdeniya [Simulation of the activities of a modern multidisciplinary medical institution]. Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics, no. 6 (102), pp. 57–66 (In Russian).
Kuzmin P. I., Mishchenko I. K., Oshchepkov M. E. (2020) Ispol'zovanie imitacionnogo modelirovaniya dlya povysheniya effektivnosti shvejnogo proizvodstva [The use of simulation to improve the efficiency of clothing production]. Izvestiya of Altai State University. Physical and Mathematical Science, no. 1 (111), pp. 105–110 (In Russian).
Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Beklaryan G. L. (2019) Developing digital twins for production enterprises. Business Informatics, vol. 14, no. 1. pp. 7–16.
Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Beklaryan G. L., Akopov A. S. (2021) Tsifrovoy zavod: metody diskretno-sobytiynogo modelirovaniya i optimizatsii proizvodstvennykh kharakteristik [Digital factory: methods of discrete-event modeling and optimization of production characteristics]. Business Informatics, vol. 15, no. 2, pp. 7–20 (In Russian).

Makarov V. L., Bakhtizin A. R., Beklaryan G. L., Akopov A. S., Rovenskaya E. A., Strelkovskiy N. V. (2022) Agentnoe modelirovanie social'no-ekonomicheskih posledstvij migracii pri gosudarstvennom regulirovanii zanyatosti [Agent-based modeling of socio-economic consequences of migration under state regulation of employment]. Economics and Mathematical Methods, vol. 58, no. 1, pp. 113–130 (In Russian).
Masyuk N. N., Kulikova O. M., Usacheva E. V. (2020) Primenenie imitacionnogo modelirovaniya i agentnogo podhoda pri reshenii zadach planirovaniya i optimizacii v zdravoohranenii RF [Simulation modeling and agent approach for planning and optimization in healthcare of the Russian Federation]. The Science of Person: Humanitarian Researches, vol. 14, no. 3, pp. 198–207. DOI: 10.17238/issn1998-5320.2020.14.3.24 (In Russian).
Ordu M. et al. (2020) A novel healthcare resource allocation decision support tool: A forecasting-simulation-optimization approach. Journal of the operational research society, no. 2, pp. 1–16.
Oueida S., Aloqaily M., Ionescu S. (2019) A smart healthcare reward model for resource allocation in smart city. Multimedia tools and applications, vol. 78, no. 17, pp. 24573–24594.
Popov A. A. (2014) Razrabotka modeli meditsinskogo call-tsentra goroda Krasnoyarska na osnove sistemy imitatsionnogo modelirovaniya Anylogic [Development of a model of a medical call center in the city of Krasnoyarsk based on the Anylogic simulation system]. Educational Resources and Technologies, no. 1, pp. 57–61 (In Russian).
Shcherbakov S. M., Teplyakova E. D., Rumyantsev S. A., Vasilenok A. V. (2017) Imitatsionnoe modelirovanie v zadachakh upravleniya meditsinskoy organizatsiey ambulatornogo tipa [Simulation modeling in the problems of managing an outpatient medical organization]. Social aspects of population health, vol. 56, no. 4 (In Russian).
Patlasov O. Yu., Sergienko O. V. (2020) Antikrizisnoye upravleniye v kommercheskoy organizatsii [Anti-crisis management in a commercial organization]. Moscow, RUSAYNS Publ., 420 p. Available at: https://elibrary.ru/item.asp?id=44796030.
Veremchuk N. S. (2021) O razrabotke imitacionnoj modeli dostavki gruza [On the development of a simulation model for cargo delivery]. Perspectives of Science, no. 11, pp. 41–45 (In Russian).
Veremchuk N. S. (2021) Ob imitacionnom modelirovanii elementov dorozhnoj seti [On simulation modeling of road network elements]. Perspectives of Science, no. 12, p. 38–41 (In Russian).

Информация об авторе

Веремчук Наталья Сергеевна

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики. Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ) (644080, РФ, г. Омск, пр. Мира, 5). ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2709-9755. Scopus Author ID: 57188548060. E-mail: n-veremchuk@rambler.ru

Author`s information

Natalya S. Veremchuk

Cand. Sc. (Physic. and Mathemat.), Associate Professor, Department of Applied Informatics. The Siberian State Automobile and Highway University (5 Mira Ave., Omsk, 644080, Russian Federation). ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2709-9755. Scopus Author ID: 57188548060. E-mail: n-veremchuk@rambler.ru