

**А.И. МАКСИМОВ,**

к.т.н., НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ г. Москвы, Москва, Россия,
e-mail: MaksimovAI@sklif.mos.ru

В.А. МОЛОДОВ,

НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ г. Москвы, Москва, Россия,
e-mail: MolodovVA@sklif.mos.ru

Б.Л. КУРИЛИН,

НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ г. Москвы, Москва, Россия,
e-mail: KurilinBL@sklif.mos.ru

Е.В. КИСЛУХИНА,

НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ г. Москвы, Москва, Россия,
e-mail: KislukhinaEV@sklif.mos.ru

В.А. ВАСИЛЬЕВ,

к.ф-м.н., НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ г. Москвы, Москва, Россия,
e-mail: VasilievVA@sklif.mos.ru

Н.А. КАРАСЕВ,

к.м.н., НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ г. Москвы, Москва, Россия,
e-mail: KarasevNA@sklif.mos.ru

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИЕМНО-ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ В МНОГОПРОФИЛЬНОМ СТАЦИОНАРЕ СКОРОЙ ПОМОЩИ

УДК 303.094.7

Максимов А.И., Молодов В.А., Курилин Б.Л., Кислухина Е.В., Васильев В.А., Карасев Н.А. *Имитационное моделирование приемно-диагностического отделения в многопрофильном стационаре скорой помощи (НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗ г. Москвы, Москва, Россия)*

Аннотация. Рассмотрены вопросы использования имитационного моделирования в качестве инструментария поддержки принятия решений по организации деятельности приемно-диагностического отделения многопрофильного стационара скорой помощи.

Ключевые слова: Имитационное моделирование, информационные технологии в медицине, организация медицины, приемное отделение, неотложная медицинская помощь.

UDC 303.094.7

Maksimov A.I., Molodov V.A., Kurilin B.L., Kislukhina E.V., Vasiliev V.A., Karasev N.A. *Simulation modeling of the emergency area in a multidisciplinary emergency department (N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Healthcare Department, Moscow, Russian Federation)*

Abstract. Actual problems of Emergency Department's admission point organization and its investigation with simulation modeling were considered in paper.

Keywords: Simulation modeling, information technologies in medicine, health services organization & administration, Emergency Department's admission point, Emergency medicine.



ВВЕДЕНИЕ

Существующие в данный момент тенденции к увеличению плотности населения в мегаполисах при неизменной или недостаточно быстро развивающейся социальной инфраструктуре приводит к непрерывному возрастанию нагрузки на все службы социального обеспечения, в т.ч. больницы скорой помощи. По статистическим данным НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, количество обратившихся пациентов за последние 7 лет неуклонно растет, в среднем на 5% в год [1] при сохранении прежней материально-технической базы. Схожие темпы роста наблюдаются и в других ведущих многопрофильных учреждениях стационарной неотложной помощи [2]. В связи с этим одной из наиболее актуальных задач становится максимальная эффективность использования имеющихся ресурсов, как материальных, так и медперсонала.

Одним из широко распространенных современных подходов к решению задач оптимизации является применение имитационного моделирования, т.е. создание компьютерных математических моделей происходящих процессов, позволяющих заранее рассчитать результаты тех или иных изменений, вносимых в структуру объекта. Такие модели позволяют не только оптимизировать существующие процессы, но и предложить кардинальное изменение стратегии для достижения принципиально лучшего результата.

За последнее десятилетие круг проблем, для решения которых используется данный подход, неуклонно расширяется, причем как за счет включения новых областей, так и благодаря более детальной и глубокой проработке уже освоенных задач. Медицинские учреждения и организации в развитых странах используют компьютерные модели не только для таких глобальных задач, например, как расчет количества, расположения и состава станций скорой помощи во всей Дании [3] или разработка платформы моделирования перемещения

пациентов скорой помощи для перераспределения их между стационарными больницами в пределах штата в США [4]. Имитационное моделирование с успехом применяется и для более частных вопросов, например, для оптимизации работы медсестер в отделениях реанимации [5], создание фармакотерапевтических схем в педиатрическом госпитале [6] или разработки прогностического инструмента раннего выявления пациентов отделения интенсивной терапии, нуждающихся в сверхдлительном пребывании в стационаре [7].

В Российской Федерации возможности имитационного моделирования бизнес-процессов также постепенно внедряются в различные области производства, однако в медицине этот подход пока еще не нашел должного применения. Так, за последние 10 лет нам удалось найти всего около десятка научных публикаций по данной проблематике, касающихся, в основном, узкоспециализированных проблем [8]. И это не смотря на то, что эффективность использования такого подхода убедительно показана на множестве примеров различных зарубежных медицинских организаций. В связи с этим представляется актуальной попытка создания имитационной модели отечественного многопрофильного скоромощного стационара на примере НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского (НИИ СП). В качестве первого объекта исследования было выбрано Центральное приемно-диагностическое отделение как одно из ключевых мест, определяющих деятельность института в целом и предоставляющее процессы, данные по которым могут быть учтены, формализованы и оцифрованы.

МЕТОДЫ

В качестве инструментального средства для построения имитационной модели была выбрана среда имитационного моделирования AnyLogic [9], как одна из наиболее развитых и доступных для применения в научных и образовательных целях на условиях



свободного использования. Базовыми значениями в данной модели приняты параметры, характеризующие существующую схему распределения потоков пациентов в центральном приемно-диагностическом отделении нашего Института.

Интерфейс разработанной имитационной модели представлен тремя страницами: Структура – Ресурсы – Статистика.

Страница Структура (рис. 1) отражает основные особенности организации лечебно-диагностических мероприятий в приемном отделении Института с помощью базовых блоков инструментальной среды AnyLogic.

Назначение блоков, использованных в построенной модели, следующее.

Блок *Source* моделирует входной поток пациентов (заявок на обслуживание). Данный блок представляет собой объект среды *AnyLogic*, имеющий ряд свойств, в числе которых есть свойство, позволяющее задавать интенсивность поступления заявок, или указать, что заявки поступают в систему согласно некоторому расписанию интенсивностей, что позволяет учитывать неравномерность поступления заявок в течение суток.

Блоки *SS_1*, *SS_2*, *S_1*, *S_2*, ..., *S_12* представляют собой разделители потока заявок. В блоках *SS_1*, *SS_2* происходит разделение потока заявок сообразно основным медицинским профилям НИИ СП. Блоки *S_1*, *S_2*, ..., *S_7* моделируют разделение потока заявок в соответствии с назначенными диагностическими исследованиями. В блоках *S_7*, *S_8*, ..., *S_12* осуществляется разделение потока заявок на две ветви, первая из которых представляет пациентов, госпитализированных в стационар, вторая ветвь соответствует пациентам, не нуждающимся в госпитализации (т.е. пациентам, которым была оказана неотложная медицинская помощь и для которых медицинское обслуживание на этом завершается). Данная ситуация моделируется блоками *Sink_1* и *Sink_2*, в которых заявки покидают систему (модель).

Блоки *traumaStart*, *surgeryStart*, *neuroStart*, *vascularStart*, *gynecologyStart* представляют собой основные медицинские профили НИИ СП, а именно: травматологический, хирургический, нейрохирургический, профиль сосудистой хирургии и гинекологический. Данные блоки моделируют начало обслуживания

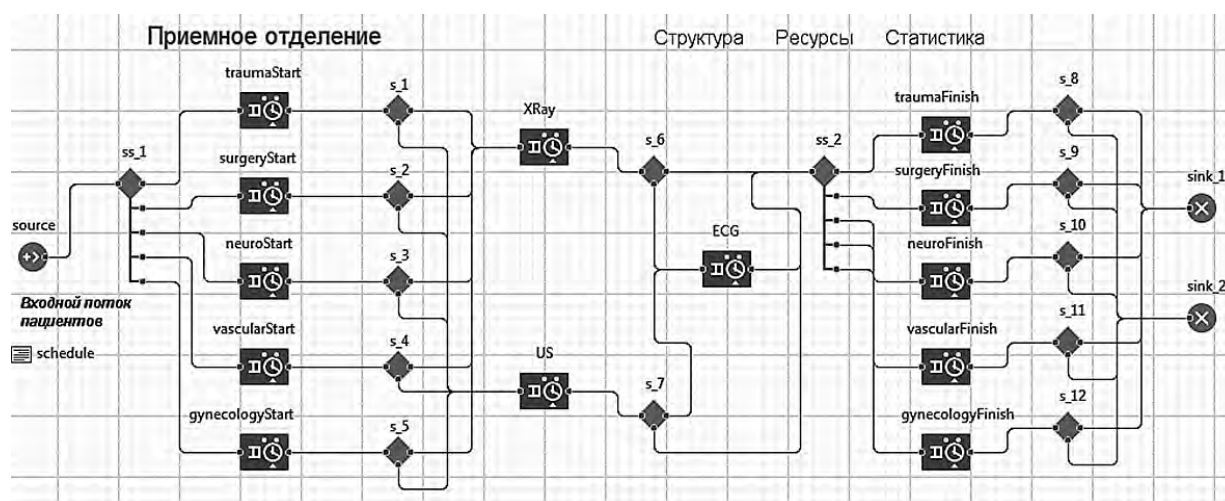


Рис. 1. Страница Структура – основные потоки обслуживания пациентов в приемном отделении.





пациента соответствующего профиля врачом соответствующей специализации. Блоки представляют собой объекты среды *AnyLogic*, в числе свойств которых прописаны параметрические значения количества специалистов соответствующего профиля и количество медицинских кабинетов, в которых может производиться осмотр поступивших пациентов. Данные значения (т.е. количество врачей-специалистов и количество смотровых кабинетов) можно динамически изменять в ходе проведения имитационных экспериментов.

Блоки *traumaFinish*, *surgeryFinish*, *neuroFinish*, *vascularFinish*, *gynecologyFinish* модели-

руют завершение обслуживания пациентов определенного профиля врачами соответствующих специальностей. Здесь, после прохождения пациентами назначенных инструментальных исследований, принимаются решения о госпитализации пациентов или о завершении медицинского обслуживания.

В проведенных имитационных экспериментах учитывалось три вида выполняемых в приемном отделении инструментальных исследований – рентгенологическое, УЗИ и ЭКГ – т.к. именно эти виды исследований составляют основной объем инструментальной диагностики приемного отделения (рис. 2).

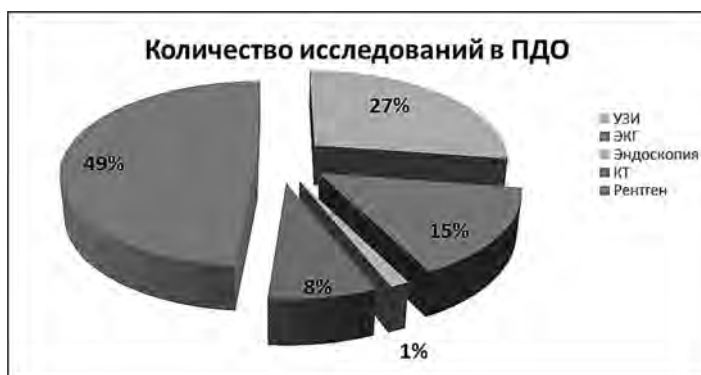


Рис. 2. Соотношение объемов инструментальных исследований, проводимых в приемном отделении НИИ СП им. Н.В. Склифосовского.



Рис. 3. Страница Ресурсы – основные параметры имитационной модели.



На странице Ресурсы (рис. 3) размещаются элементы, с помощью которых можно изменять основные параметры модели, выполняя моделирование при различных значениях параметров. К основным параметрам модели относятся количество дежурных врачей каждой специальности, число кабинетов, предназначенных для осмотра пациентов, и число кабинетов инструментальной диагностики.

Каждому из выделенных параметров соответствует определенный блок среды *AnyLogic*. Блоки *traumaDoctors*, *surgeryDoctors*, *neuroDoctors*, *vascularDoctors*, *gynecologyDoctors* моделируют количество врачей соответствующих специальностей. Блоки *commonRooms* и *gynecologyRooms* представляют соответственно общесмотровые кабинеты и кабинеты гинекологического профиля. Блоки *xrayRooms*,

usRooms и *ecgRooms* представляют кабинеты инструментальной диагностики – рентген, УЗИ и ЭКГ.

Применение имитационного моделирования позволяет учесть одну важную особенность – неравномерность входящего потока больных. Данное обстоятельство имеет существенное значение, т.к. интенсивность потока поступления пациентов в течение суток меняется в очень широких пределах (рис. 4).

Как видно из графика, минимальное и максимальное значение диапазона интенсивности поступления пациентов в течение суток различаются более, чем в десять раз. Обобщая представленные на графике данные, можно выделить 7 временных интервалов, каждому из которых соответствует отдельное значение коэффициента интенсивности. Указанные значения представлены в таблице 1.

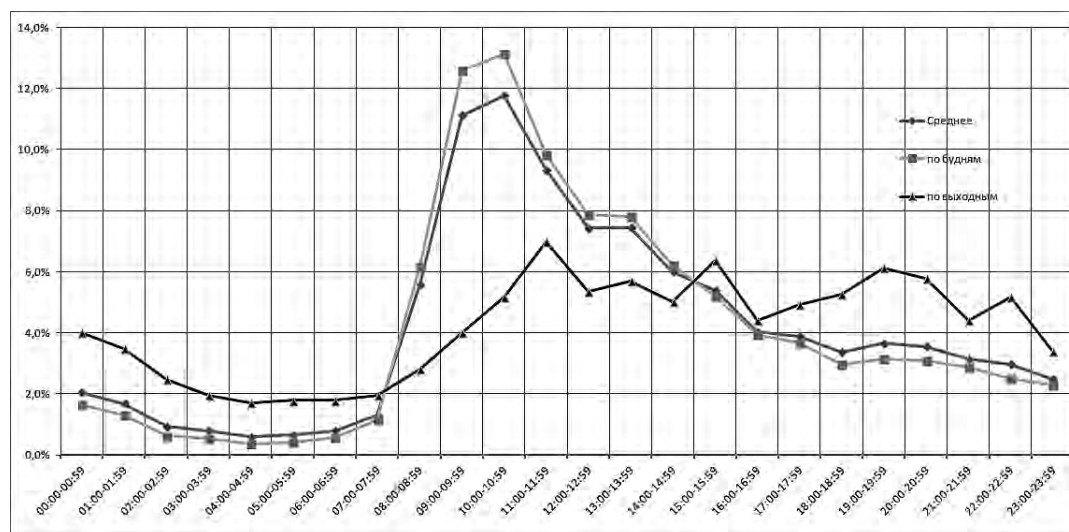


Рис. 4. Суточная интенсивность поступления пациентов в приемное отделение (в % от общего количества поступивших).

Таблица 1

Суточная интенсивность поступления пациентов в приемное отделение НИИ СП

Временной интервал (время суток)	00:00– 2:00	02:00– 8:00	08:00– 9:00	09:00– 12:00	12:00– 14:00	14:00– 16:00	16:00– 24:00
Коэффициент интенсивности потока поступления пациентов	0,02	0,01	0,06	0,10	0,075	0,055	0,035





Неравномерность интенсивности поступления пациентов (заявок) в течение суток среда *AnyLogic* позволяет реализовать с помощью двух взаимосвязанных блоков – упомянутого ранее блока *Source* и взаимосвязанного с ним блока *Schedule*.

Как отмечалось выше, блок *Source* представляет собой объект среды *AnyLogic*, позволяющий определять интенсивность поступления заявок в виде расписания интенсивностей, записываемого в блоке (объекте) *Schedule*. Этот блок содержит данные, задающие суточные временные интервалы и соответствующие этим интервалам значения интенсивности поступления пациентов согласно статистике неравномерного поступления пациентов в течение суток (таблица 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Было проведено 5 серий имитационных экспериментов, отличавшихся значением интенсивности потока пациентов, поступающих в приемное отделение НИИ скорой помощи, количественным выражением которого являлось число пациентов, поступивших в приемное отделение за сутки. Как уже отмечалось выше, количество обратившихся пациентов имеет устойчивую тенденцию к возрастанию. В таблице 2 представлены данные по поступлению в Институт пациентов за последние восемь лет.

На рис. 5 представлена страница Статистика, содержащая результаты первой серии имитационных экспериментов для пациентов

Таблица 2

Количество пациентов, обратившихся в НИИ СП им. Н.В. Склифосовского

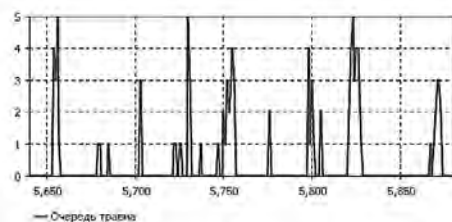
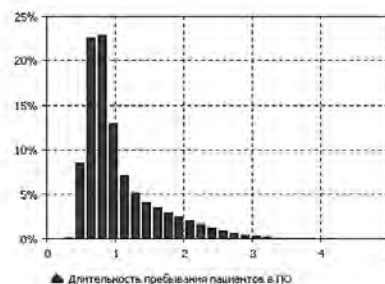
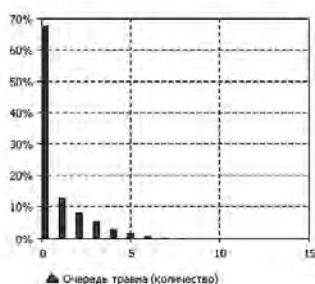
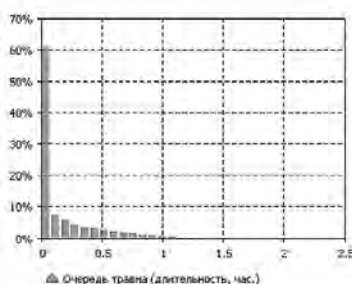
Год	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Количество обратившихся пациентов (чел.\год)	49074	52930	54531	56468	55839	67553	68533	71135

Приемное отделение

Структура

Ресурсы

Статистика



Очередь травм. (средняя) - 0.478
Очередь хирургия (средняя) - 0.348
Очередь нейрохирургия (средняя) - 0.336
Очередь сосудистая хирургия (средняя) - 0.183
Очередь гинекология (средняя) - 0.071

Очередь травм. (макс.) - 12
Очередь хирургия (макс.) - 9
Очередь нейрохирургия (макс.) - 12
Очередь сосудистая хирургия (макс.) - 8
Очередь гинекология (макс.) - 5

Рис. 5. Страница Статистика – результаты имитационных экспериментов.



травматологического профиля, поскольку по имеющимся данным именно они составляют основной поток обратившихся. На этой странице расположены гистограммы плотности вероятности длительности пребывания в очереди, величины очереди и длительности пребывания в приемном отделении. Как видно из этих данных, для первой серии время пребывания в приемном отделении не превышает 1–1,5 часов, а длина очереди – пяти человек, причем оптимальные значения соответствуют подавляющему большинству обратившихся. Длительность пребывания в ПДО также укладывается в заданные нормативные параметры.

Под этими гистограммами находится график, отражающий характер изменений величины очереди пациентов, обусловленный неравномерностью суточной интенсивности поступления. Кроме этого, здесь же содержится информация о размере средних и максимальных очередей для всех моделируемых профилей. Однако при увеличении количества обратившихся пациентов пропорционально возрастанию ежегодной интенсивности основные интересующие нас параметры – длительность пребывания в ПДО и длина очереди – начинают нелинейно возрастать. Обобщенные результаты экспериментов представлены в *таблице 3*.

Как видно из таблицы, для четвертой серии экспериментов интенсивность потока поступающих пациентов (190 чел./сут.) является, по сути, предельным значением пропускной способности приемного отделения нашего Института (при имеющемся ресурсном обеспечении и принятой в настоящий момент организационной схеме обслуживания поступающих пациентов). Значения характеристических показателей модели – средней длительности пребывания в ПДО и максимальной длины очередей – для последней серии экспериментов, видимо, уже выходят за пределы диапазона приемлемых значений.

ВЫВОДЫ

Таким образом, анализируя результаты имитационного моделирования и статистические данные по интенсивности поступления пациентов, можно сделать вывод, что для оказания своевременной медицинской помощи всем обратившимся в НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского в условиях увеличивающегося потока поступления, в приемно-диагностическом отделении Института требуются определенные организационные (реорганизационные) преобразования, направленные на увеличение его пропускной способности и принципиальное повышение эффективности обслуживания пациентов.

Таблица 3

Обобщенные результаты имитационных экспериментов

№ п/п	Интенсивность потока пациентов (чел./сут.)	Средняя длительность пребывания в ПО (час.)	Максимальная длина очередей (чел.)
1	130	0,97	12
2	150	1,35	14
3	170	1,53	17
4	190	2,32	19
5	210	2,98	25





ЛИТЕРАТУРА



- 1.** Хубутя М.Ш., Карасев Н.А., Кислухина Е.В. и др. Анализ показателей клинической и организационной деятельности НИИ СП им. Н.В. Склифосовского в 2005–2015 гг. Неотложная медицинская помощь, 2016; (2): 59–63.
- 2.** Багненко С.Ф., Кужель А.М., Мирошниченко А.Г. и др. Первые результаты реализации пилотного проекта «Стационарное отделение скорой медицинской помощи» в многопрофильном стационаре. Скорая медицинская помощь, 2016; (3): 71–76.
- 3.** Kozlowski D., Mogensen C., Petersen N. Discrete event simulation modelling for an improved patient flow at the Emergency Department. Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine, 2012; 20 (Suppl 2): 14. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-20-S2-P14>.
- 4.** Hurwitz J., Lee J., Lopiano K. et al. A flexible simulation platform to quantify and manage emergency department crowding. BMC Medical Informatics and Decision Making, 2014; (140):50. <https://doi.org/10.1186/1472-6947-14-50>.
- 5.** Calhoun A., Boone M., Daver A. et al. Using Simulation to Investigate the Impact of Hours Worked on Task Performance in an Intensive Care Unit. Am J Crit Care, 2014; 23(5): 387–395. DOI: 10.4037/ajcc2014756.
- 6.** Barrett J., Mondick J., Narayan M. et al. Integration of modeling and simulation into hospital-based decision support systems guiding pediatric pharmacotherapy. BMC Medical Informatics and Decision Making, 2008; (8): 6. <https://doi.org/10.1186/1472-6947-8-6>.
- 7.** Szubski C., Tellez A., Klika A. et al. Predicting Discharge to a Long-Term Acute Care Hospital After Admission to an Intensive Care Unit. Am J Crit Care. 2014; 23(4): e46-e53. DOI:10.4037/ajcc2014985.
- 8.** Карасев Н.А., Щеткин В.А., Васильев В.А. и др. Имитационное моделирование организации проведения процедур восстановительного лечения в медицинском стационаре. Здравоохранение, 2009; (5): 165–170.
- 9.** AnyLogic User's Manual. XJ Technologies: [электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.xjtek.com>.