

УДК. 519.711.3

В.С. Белов, А.И. Самаркин

**ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РЕГИСТРАТУРЫ
АМБУЛАТОРНО-ПОЛИКЛИНИЧЕСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ СРЕДСТВАМИ
SIMULINK&SIMEVENTS**

Псковский государственный университет, Псков, Россия, vsbb@yandex.ru

Резюме.

Рассматриваются подходы к исследованию процессов функционирования амбулаторно-поликлинических учреждений (АПУ) на основе вычислительных экспериментов с модельными отображениями предметной области. Основное внимание уделено вопросам имитационного моделирования работы регистратуры АПУ, в частности, в модельных средах – GPSS, IDEF, UML, SimEvents. Показано, что одним из самых эффективным модельных симуляционных инструментариев для исследования регистратуры, как типичного представителя систем массового обслуживания, является система дискретно-событийного моделирования SimEvents. Приведены примеры ее использования для рассматриваемой предметной области.

Ключевые слова: амбулаторно-поликлинические учреждения, регистратура, имитационное моделирование, системы массового обслуживания, дискретно-событийное моделирование, вычислительные модельные эксперименты.

Summary.

V.S. Belov, A.I. Samarkin Discrete-event simulation of the work of registry offices outpatient clinics by means of Simulink&Simevents.

Approaches to the study of the processes of functioning of outpatient clinics (OPC) on the basis of computational experiments with model mappings of the subject area are considered. The main attention is paid to the issues of simulation modeling of the OPC registry, in particular, in model environments - GPSS, IDEF, UML, SimEvents. It is shown that one of the most effective model simulation tools for studying the OPC registry, as a typical representative of queuing systems, is the SimEvents system of discrete event modeling. Examples of its use for the considered subject area are given.

Keywords: outpatient clinics, registry, simulation, queuing systems, discrete-event

modeling, computational model experiments.

Введение. Проведение мероприятий по оптимизации сети региональных амбулаторно-поликлинических учреждений (АПУ), концентрация внебольничной медицинской помощи в межмуниципальных и региональных АПУ приводит к необходимости решения вопросов оптимизации и повышения эффективности процессов обращения пациентов в АПУ и ожидания ими медицинской помощи, т.е. совершенствования работы регистратуры АПУ. Здесь одним из самых эффективных исследовательских приемов является проведение вычислительных экспериментов с модельными представлениями объекта исследований – регистратуры АПУ с целью оценки эффективности тех или иных организационно-технических решений перед их внедрением в деятельность регистратуры. Известны формализованный [2,7] и имитационный [1,4,9,12,14] подходы к построению моделей процессов управления в организациях здравоохранения, при этом следует отметить, что метод имитационного моделирования нашел более широкое применение в практике исследования систем управления здравоохранением в силу сохранения в модельных отображениях, прежде всего, структурной организации объектов исследования и особенностей взаимодействия реальных компонентов этой структуры друг с другом. Регистратура АПУ по своей сути есть классический объект применения положений теории систем массового обслуживания (СМО), основным предметом рассмотрения которой являются заявки на обслуживание и механизмы обработки заявок, включая дисциплины обслуживания [5].

Подходы к исследованию работы регистратуры АПУ методами имитационного моделирования. В практике исследований эффективности работы поликлинических лечебных учреждений известны примеры использования языка имитационного моделирования GPSS (General Purpose Simulating System) [8,11,13]. Поликлиническое учреждение, в т.ч. его регистратура, здесь рассматривается как СМО, строится GPSS-модель информационных процессов регистратуры, исследуя которую получают сведения о загрузке отдельных окон регистратуры, наличии очередей, средней длительности пребывания пациента в очереди и т.д. Однако, трудности непосредственного представления процессов обработки данных на уровне алгоритмов в языке GPSS, отсутствие в нем графической интерпретации результатов моделирования препятствуют широкому внедрению данной методики.

Известны также примеры применения процессного имитационного

моделирования на основе методологии IDEF (Integrated Computer Aided Manufacturing Definition) [1,4] при анализе бизнес-процессов (включая процессы регистрации) в медицинской организации. Имитационные IDEF-модели базируются на методологии процессного подхода к формализации деятельности лечебных учреждений [2,12] и в целом хорошо отражают семантику предметной области (в данном случае это регистратура АПУ) – объекты и связи между ними, а также их основные характеристики: время выполнения и стоимость процесса, необходимые ресурсы (человеческие и материальные). Однако, в силу ориентации IDEF на исследования функционала предметной области и протекающих в ней информационных потоков, задачи развернутого анализа взаимосвязей объектов, оценки их характеристик и структурных решений предметной области (регистратуры АПУ) технологии IDEF недостаточно эффективны.

Более широкие возможности при исследованиях процесса функционирования регистратуры АПУ предоставляют **технологии визуального прямого имитационного моделирования**, позволяющие в интерактивном режиме исследовать событийно-управляемые процессы, создавать имитационные модели прохождения объекта через сети и очереди, производить расчет и автоматический сбор статистических результатов модельных экспериментов. К таким технологиям, в частности, относится **унифицированный язык моделирования UML** (Unified Modeling Language) [9,14], позволяющий в интерактивном режиме моделировать структуру предметной области и динамику бизнес-процессов в ней, а также **высокоуровневый язык имитационного моделирования Matlab** (Matrix Laboratory – матричная лаборатория) [6], предоставляющий в распоряжение исследователя интерактивную среду для программирования, численных расчетов и визуализации результатов, а также его расширение для организации модельных исследований систем с дискретными состояниями – **среду визуального имитационного и ситуационного моделирования Simulink** [10] с библиотекой SimEvents [4]. Наличие в SimEvents готовых модельных блоков, возможность создания из них субблоков позволяет построить хорошо структурированные имитационные модели, имитировать структуры сложных СМО (в т.ч. регистратуру АПУ) в виде блоков, обрабатывающих сигналы. При этом следует отметить, что для проведения исследований классических систем СМО, в каковых и относится регистратура АПУ, предпочтительнее использовать среду Simulink с библиотекой SimEvents, как изначально

сориентированную на проведение моделирования и симуляции дискретно-событийных систем.

Имитационные модели регистратуры АПУ в среде Simulink&SimEvents. Пациент, обратившийся в регистратуру АПУ (далее – обращение) представляет собой сущность. Сущности создаются блоком-генератором, параметрами которого являются закон распределения обращений (обычно это закон Пуассона [5]) и характеристики указанного закона (интенсивность обращений). Обращение обрабатывается окном регистратуры (сервером обработки) за некоторое случайное время обслуживания. При занятости окна регистратуры обращение помещается в очередь с дисциплиной «первый пришел – первый вышел» (firstin – firstout, FIFO). Для блока-сервера важным параметром является время обслуживания, которое вырабатывается модельным блоком генерации параметров обработки.

Тогда, учитывая сказанное, имитационную СМО-модель регистратуры АПУ с одним работающим окном администратора представим в виде следующей совокупности модельных блоков

– рис. 1, где 1 – генератор обращений, 2 – накопитель очереди, 3 – окно администратора регистратуры; 4 – генератор параметров обработки; 5 – накопитель пациентов, прошедших обслуживание; 6 – блоки построения графиков.

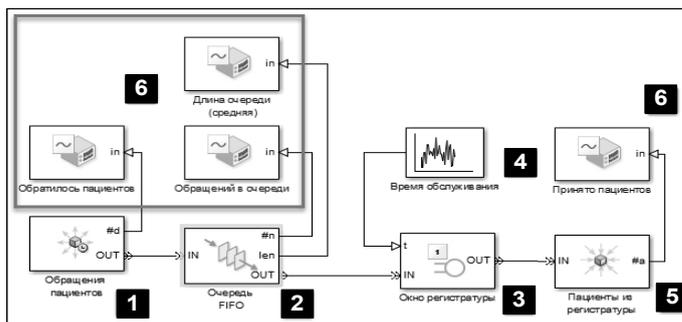
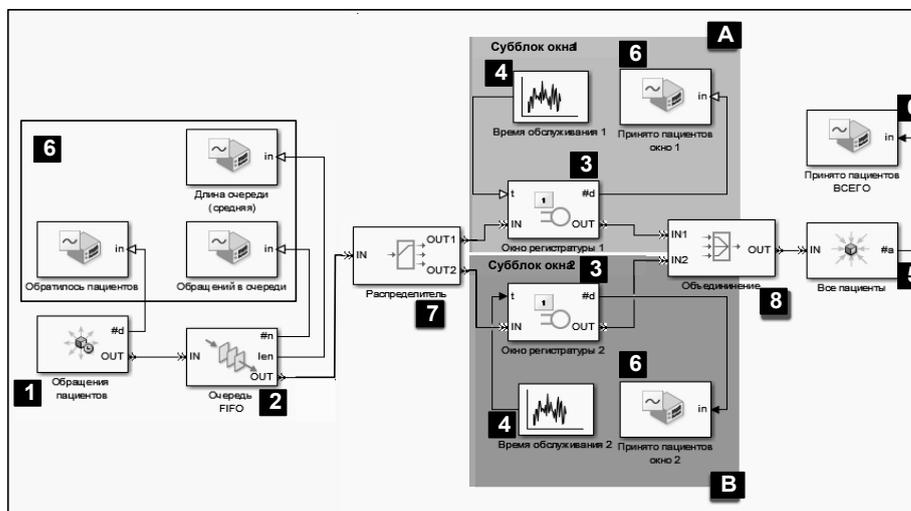


Рис. 1. СМО-модель регистратуры с одним окном.

Если в регистратуре АПУ функционирует два окна администраторов, ее СМО-модель

принимает несколько иной вид – см. рис. 2, где 7 – распределитель очереди; 8 – объединитель потоков пациентов, прошедших регистрацию; А –



субблок окна 1; В – субблок окна 2 (А или В содержат блоки 3,4,6).

Рис. 2. СМО-модель регистратуры с двумя окнами.

Результаты вычислительных экспериментальных исследований на имитационных моделях. Рассмотрим несколько типовых ситуаций, встречающихся в работе регистратуры АПУ, и, воссоздав необходимые случайные событийных процессы на одной из представленных на рис. 1 или 2 СМО-модели, зафиксируем некоторые числовые параметры, характеризующие эффективность функционирования регистратуры АПУ.

Ситуация 1. В регистратуре АПУ одно окно. СМО-модель ее имеет вид - рис. 1. Пусть регистратура работает в одну смену длительностью 8 часов (480 минут). Среднее время обслуживания 1 пациента – 5 минут. Интенсивность обращений в регистратуру – 1 пациент в 3 минуты. Емкость очереди пациентов в регистратуре – 20 человек. Тогда предельно число обращений пациентов в регистратуру - 160 человек ($480/3$), а номинально она может обслужить 96 пациентов ($480/5$), т.е. максимальная эффективность обслуживания 60% ($96/160$). Непринятые обращения пациентов помещаются в очередь, максимальная длина которой 64 человека, но поскольку емкость очереди 20 человек, то 44 пациента получают отказ в обслуживании. Т.е. реально АПУ может поместить в очередь в регистратуру не более 116 человек ($160 - 44$) и обслужить при этом не более 96 человек. Таким образом, расчетная достижимая эффективность постановки пациентов в очередь 72,5% ($116/160$), а предельно достижимая эффективность обслуживания очереди – 82,7% ($96/116$).

Результаты модельных экспериментов приведены на рис.3: количество пациентов, обратившихся в регистратуру (рис.3.а), динамика изменения очереди заявок (рис.3.б), изменение среднего числа пациентов в очереди (рис.3.с).

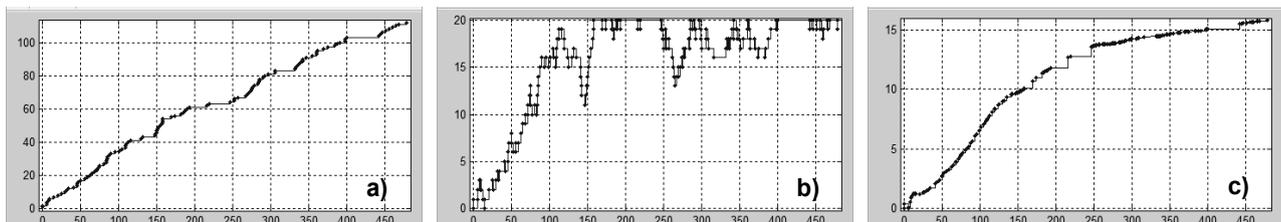


Рис.3. Результаты модельных экспериментов для ситуации 1.

Таким образом, регистратура АПУ за 8 часов работы способна поставить в очередь около 110 пациентов, т.е. реальная эффективность постановки в

очередь – 68,8% (110/160) вместо расчетных 72,5%. Также видно, что со 110 минуты с открытия регистратуры очередь оказывается на грани насыщения (около 20 человек) и к 200 минуте ее работы наполненность очереди составляет 15 и более пациентов (т.е. 75% и более от максимума), что сигнализирует о недостаточной производительности окна регистратуры.

Ситуация 2. В регистратуре АПУ одно окно. СМО-модель – см. рис.1. Поднимем производительность обслуживания одного пациента до 4 минут. Тогда, номинально регистратура может обслужить 120 (480/4) обращений пациентов, при этом предельно ожидаемое число посетителей в регистратуру АПУ остается прежним - $480/3 = 160$ человек. Максимальная эффективность обслуживания регистратуры составляет 75% (120/160). Максимальная длина очереди 40 человек (160 – 120), но емкость очереди в 20 человек, приводит к отказу в обслуживании у 20 пациентов. Т.е. реально АПУ может поместить в очередь в регистратуру не более 140 человек (160 – 20) и обслужить при этом не более 120 человек. Таким образом, расчетная достижимая эффективность постановки пациентов в очередь составляет 87,5% (140/160), а предельная эффективность обслуживания очереди – 85,7% (120/140).

Модельные эксперименты для ситуации 2 показали, что насыщение очереди пациентов происходит к 350 минуте с начала работы регистратуры. Удастся поставить в очередь 133 заявки из возможных 160 (практическая эффективность постановки в очередь 83,1%) и регистратура обработала 80% заявок (т.е. 112 из 140 поставленных в очередь) вместо расчетных 85,7%.

Ситуация 3. Регистратура АПУ имеет два окна. Имитационная модель регистратуры в данном случае имеет следующий вид – см. рис. 2. Работа каждого окна организована без перерыва общей длительностью 8 часов (480 минут). Обращение пациентов в регистратуру – в среднем 1 пациент каждые 3 минуты. Время обслуживания 1 пациента в среднем 5 минут.

Номинально регистратура АПУ может обслужить $(480/5)*2 = 192$ обращения пациентов, при этом ожидаемое число посетителей составит $480/3 = 160$ человек. Максимальная эффективность обслуживания составит 100%, т.к. число обращений в регистратуру меньше ее пропускной способности, т.е. $160 < 192$.

Модельные эксперименты для ситуации 3 показали следующее: средняя длина очереди – не более 2 человек, а максимальное длина очереди – 8 пациентов. За время работы регистратуры в очередь было поставлено 168 заявок

и было обработано 157 из них. Т.к. $168 > 160$, то эффективность постановки пациентов в очередь 100%, а эффективность обслуживания их запросов: 93,5% ($157/168$) - фактическая и 98% ($157/160$) - от номинальной, при этом %% использования пропускной способности регистратуры 87,5% ($168/192$).

Ситуация 4. В регистратуре открыто одно окно и в фойе АПУ установлен инфомат. Имитационная модель регистратуры здесь имеет вид, аналогичный рис. 2, только субблок окна 2 переименовывается в субблок инфомата. Окно регистратуры и инфомат доступны пациентам в течении 8 часов (480 минут). Среднее время обслуживания 1 пациента в окне – 5 минут, а среднее время обработки заявки на инфомате – 3 минуты. Средний интервал обращения пациента в регистратуру АПУ - 3 минуты. Емкость очереди – 20 человек.

Максимальное число обращений пациентов в регистратуру $480/5 + 480/3 = 96$ (окно) + 160 (инфомат) = 256 человек, при этом номинально число посетителей в регистратуру АПУ: $480/3 = 160$ человек. Максимальная эффективность обслуживания – 100%, т.к. $160 < 256$.

Модельные эксперименты показали, что за 480 минут работы регистратуры длина очереди пациентов в пиках не превысила 5 человек при средней длине очереди – 0,55 «человека» к окончанию работы регистратуры и максимальной средней длине – 0,75 «человека» на 250-ой минуте работы. Всего за 8 часов работы регистратуры было принято 162 обращения (100 % эффективность, т.к. $162 > 160$) и произведены 155 записей (73 через окно и 42 через инфомат) на прием к врачам, при этом 7 лиц остались в очереди на момент окончания работы регистратуры. Эффективность обслуживания запросов пациентов в регистратуре в целом составляет: 95,5% ($155/162$) – фактическая и около 97% ($155/160$) – по отношению к номинальной. Результативность использования номинальной пропускной способности регистратуры в целом составляет 63% ($162/256$), при этом эффективность использования окна регистратуры равна 76% ($73/96$), а инфомата – 51,3% ($82/160$).

Обсуждение результатов моделирования и выводы. Простейшая модель потока обращений пациентов не учитывает варьирования нагрузки от времени суток, дней недели, эпидемической обстановки и т.п. Тем не менее, даже такая модель позволяют оценить нагрузочную способность регистратуры АПУ при заданных условиях. Очевидно, что единственное окно регистратуры неспособно обработать поток заявок без неприемлемо большого времени ожидания и разрастания очереди ожидания до пределов ее емкости. Интенсификация труда регистратора также не устраняет очередь, а лишь

сдвигает (относительно начала работы регистратуры) сроки ее увеличения до предельных размеров. Следовательно, для повышения эффективности работы регистратуры необходимо либо увеличить интенсивность труда регистратора до 3 минут на заявку (что на практике трудно достижимо), либо перейти к экстенсивным методам – открытие второго окна обработки заявок пациентов либо подключение инфомата для самозаписи пациентов. Более эффективным при этом является использование одного окна регистратуры и инфомата.

Литература

1. Бельшев Д.В., Гулиев Я.И., Малых В.Л. Моделирование бизнес-процессов медицинской организации (лечебно-профилактического учреждения) // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 5. – С. 78-90.
2. Воронова Л.В., Гольчевский Ю.В. Статистическое моделирование в процессах управленческого учета на примере медицинского подразделения вуза. Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 46-57.
3. Горский П.В. Дискретно-событийное моделирование систем массового обслуживания в SimEvents // Модернизация, инновации и актуальные проблемы экономики: сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. (Чебоксары, апрель 2011 г.) / Чебоксарский ин-т экономики и менеджмента филиал Санкт-Петербургского гос. политехн. ун-та. Чебоксары, 2011. – С. 211-220.
4. Гулиев Я.И., Бельшев Д.В., Михеев А.Е. Моделирование бизнес-процессов медицинской организации: классификация процессов // Врач и информационные технологии. – 2015. – № 4. – С. 6-13.
5. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания; пер. с англ./ И.И. Грушко. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
6. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MatLab. – СПб.: Питер; Киев: Изд. группа БХВ, 2005. – 512 с.
7. Микшина В.С., Алмазова Е/Г. Математические модели управления в здравоохранении // Математическое моделирование. – 2009. – т. 21, № 4. – С. 111–121.
8. Селиверстова К.А., Балясникова Л.Д., Лучанинов Д.В. Моделирование работы регистратуры поликлиники // Постулат, 2018. – № 6. [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://e-postulat.ru/index.php/Postulat/article/download/1605/1639>. (дата обращения 27.10.2018).
9. Теплякова Е.Д., Щербаков С.М. Совершенствование организации проведения

профосмотров и диспансеризации в амбулаторных условиях на основе имитационного моделирования //Кубанский научный медицинский вестник. – 2018, № 4 (153). – С. 124-131.

10.Трусфус М.В., Кирпичников А.П., Якимов И.М. Моделирование в системе структурного и имитационного моделирования SIMULINK // Вестник технологического университета. – 2017. – Т.20, №8. – С. 107-110.

11.Феоктистов А.Г., Башарина О.Ю., Дядькин Ю.А., Фереферов Е.С. Автоматизация имитационного моделирования систем массового обслуживания в Grid // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2017. – Т. 21. № 12. – С. 105–113.

12.Хайруллин И. Процессный подход и формализация процессов в деятельности медицинской организации // Управление качеством в здравоохранении– 2015. – № 1. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://e.uprzdrav.ru/article.aspx?aid=430907> (дата обращения 14.10.2018).

13.Хачумов В.М., Погодин С.В. Моделирование работы лечебного учреждения как системы массового обслуживания // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2010. – № 1. – С. 49-56.

14.Щербаков С.М., Теплякова Е.Д., Румянцев С.А., Василенок А.В. Имитационное моделирование в задачах управления медицинской организацией амбулаторного типа // Социальные аспекты здоровья населения – 2017. – № 4 (56). [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/850/30/> (дата обращения 14.10.2018).

УДК 61:004.75

В.С. Белов, Г.К. Густавин

**О СОЦИАЛЬНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ
МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ
МАЛЫХ И УДАЛЕННЫХ ПОСЕЛЕНИЙ**

*Псковский государственный университет,
Псков, Россия, vsbb@yandex.ru*

Резюме.

Рассматриваются социальные задачи внедрения региональной мобильной системы охраны здоровья населения малых и удаленных поселений. Показано,