

Построение имитационной модели исследования динамики потоков зависимых ресурсов в организациях здравоохранения

Л.Р. Давлетшина
Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
layladavel@gmail.com

Р.В. Насыров
Факультет информатики и робототехники
Уфимский государственный авиационный
технический университет
Уфа, Россия
docentapris@gmail.com

Аннотация¹

Для непрерывной работы организации требуется своевременное снабжение ресурсами в необходимом объеме. Особенно остро стоит этот вопрос при рассмотрении медицинских организаций, которые взаимодействуют с объектами, находящимися в пограничных состояниях. В процессе управления запасами необходимо ответить на два основных вопроса: какой объем заказа и когда заказывать. Правила, для принятия этих решений, называются стратегией управления запасами.

Вопросам разработки моделей, позволяющих получить параметры динамики процесса обеспечения ЛПУ медикаментами посвящена данная работа. Основными результатами работы системы являются статистические характеристики, позволяющие делать вывод о качестве управления процессом снабжения.

1. Введение

В связи с особенностями экономической ситуации в настоящее время существенно увеличился разброс в ценах и ассортименте медикаментов, поставляемых в лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ). На процесс снабжения медикаментами накладывает отпечаток снижение платежеспособности ЛПУ. Кроме того, системные эффекты, возникающие в процессе потребления лекарственных средств, обусловлены его сложностью, целостностью, многофакторностью формирования и динамичностью. Упущения в планировании потребности в лекарственных средствах наносят огромный ущерб процессу медикаментозного лечения [1].

Эти факторы являются одними из главных причин недостаточного снабжения больниц и поликлиник лекарственными средствами и изделиями медицинского назначения, а следовательно неблагоприятно влияют на лечебный процесс. В связи с этим остро встает задача повышения эффективности процесса обеспечения ЛПУ медикаментами, которые являются одним из важных инструментов их деятельности. Обеспечение такой эффективности возможно как за счет внешних факторов – создание благоприятных льготных условий, так и за счет внутренних – путем учета потерь и затрат, а также их снижения [2]. Один из возможных и наиболее эффективных, с нашей точки зрения [3], способов уменьшения этих потерь – реализация рационального управления деятельностью ЛПУ на основе построения информационной системы. Кроме этого немаловажно исследовать разные политики управления запасами.

2. Актуальность

Для полноценного функционирования ЛПУ, требуется снабжение его необходимыми материальными ресурсами, в первую очередь лекарственными средствами. Дискретность заказов и поставок, случайность в потребностях вынуждают отделения аптек иметь запасы медикаментов на его складах. При обеспечении лечебного процесса медикаментами также необходимо принимать в расчет финансовые возможности ЛПУ. Чтобы учесть этот факт, нужно обратиться к математико-экономическим методам с помощью теории управления запасами.

Снабжение больниц различными медицинскими средствами, включая лекарства, спирт, бинты, состоит из трех этапов: планирование, производство и распределение. Обычно, поставка медикаментов, прибывшая в срок, содержит уже устаревшие данные, а объем не соответствует тому, который требуется в данный момент. Если в аптечном складе будет недостаточно медицинских средств, а лечебный процесс прерывать нельзя, имеется необходимость

Труды Седьмой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-30 мая, Уфа-Ставрополь-Ханты-Мансийск, Россия, 2019

создания запасов. К необходимости создания запасов приводят следующие факторы [4]:

- дискретность поставок при близком к непрерывному потреблению;
- случайные колебания: в спросе за период между заказами, в их объеме и в продолжительности интервала между заказами;
- возможные изменения обстоятельств (например, сезонность спроса).

Перечисленные факторы так или иначе влияют на объем запасов в сторону их увеличения.

Существуют также причины вести запасы с минимальным количеством. К их числу относятся:

- аренда места хранения;
- утечка количества поставок (испарение, разложение), потери качества;
- устаревание, вследствие снижения спроса.

Исследования спроса, выявления потребностей, перспектив использования медикаментов, оценка ассортимента и эффективности новых препаратов значительно влияют на качество заказа-заявки на заказ медикаментов. Чтобы определить потребность в медикаментах на уровне аптеки, необходимо исключить необоснованные отказы и затоваренность отдельными препаратами.

В процесс управления запасами входит как установление контрольных точек проверки объемов запаса их пополнение, так и распределение вновь прибывшей партии по подразделениям больницы. Совокупность правил, по которым принимаются эти решения, называется стратегией управления запасами. Место хранения запасов образуют иерархию их пополнения: запас хранимого имущества пополняется со склада, стоящего выше (аптеки или организации, занимающиеся производством или реализацией медикаментов).

Для решения задач управления запасами одним из наиболее эффективных инструментов является метод имитационного моделирования. Имитационное моделирование – метод исследования объектов, основанный на том, что изучаемый объект заменяется имитирующим объектом. С имитирующим объектом проводят эксперименты (не прибегая к экспериментам на реальном объекте) и в результате получают информацию об изучаемом объекте. Имитирующий объект при этом являет из себя информационный объект [5]. В отличие от традиционного аналитического подхода к изучению бизнес-процессов, имитационное моделирование позволяет анализировать поведение сложной системы в динамике.

3. Состояние вопроса

Развитие таких IT-трендов, как нейротехнологии, искусственный интеллект, большие данные (big data)

существенно повлияло на медицину. На всех уровнях системы здравоохранения обеспечивается информационное, нормативное и технологическое сопровождение, ведется подготовка кадров для цифрового здравоохранения.

На сегодняшний день, благодаря современным ученым, занимающимся разработками в области информатизации и автоматизации медицины и фармацевтики, развиваются такие перспективные направления науки, как мобильные технологии, обработка больших данных, применение методов прогнозирующей аналитики, внедрение облачных технологий, обеспечение многоканальности и омниканальности источников используемой и обрабатываемой информации. Особые требования, в связи с нарастающей потребностью в ресурсах, предъявляются к разработке подходов к хранению, использованию и обработке больших объемов данных. На решение этой проблемы со стороны государства направлен принятый Президентом России в 2016 г. перечень поручений по вопросам создания информационно-аналитической системы мониторинга и контроля в сфере закупок лекарственных препаратов для обеспечения государственных и муниципальных нужд. В ежегодном послании Президента РФ Федеральному собранию от 01.12.2016 г. соответствующая задача была сформулирована следующим образом: «Также с помощью информационных технологий будет существенно повышена эффективность контроля за рынком жизненно важных лекарств. Это позволит избавиться от подделок и контрафакта, пресечь завышение цен при закупках медикаментов для больниц и поликлиник».

В итоге Министерством здравоохранения совместно с государственной корпорацией «Ростех» разработана и с июля 2017 г. введена в эксплуатацию Единая государственная информационная система в сфере здравоохранения, которая, в том числе, осуществляет систематизацию и обработку сведений о закупках лекарственных препаратов. Внедрение данных информационных технологий в масштабе всей страны позволило расширить охват населения лекарственной терапией за счёт экономии средств не менее чем на 7–10 процентов. Подробное описание приведено в [6].

Основам реализации системой лекарственного обеспечения и повышению эффективности дополнительного лекарственного обеспечения (ДЛО) посвящены работы Е.А. Тельновой [7].

В работах Г.Т. Глембоцкой изучена роль лекарственного обеспечения в системе медицинского страхования, вариативность страховых продуктов в добровольном медицинском страховании, а также выявлены причины роста затрат на медицинское обслуживание [8].

Лекарственное обеспечение в системе обязательного медицинского страхования зарубежных стран,

определение механизмов оплаты лекарственных средств пациентами подробно описаны в работах А.Р. Шопобаев и соавторов [9].

Также вопросы региональной политики и экономики в системе лекарственного обеспечения, организационные и методологические основы лекарственного менеджмента в разные годы изучали А.В. Солонина, Л.Н. Геллер [10].

Актуальным вопросам деятельности фармацевтического сообщества на региональном уровне посвящены работы С.В. Кононовой. С.В. Кононова предложила действенные механизмы повышения эффективности работы системы медицинского обеспечения, базирующиеся на единстве всех ее объектов и субъектов в реализации социальной, экономической, медицинской, информационной и других задач, определяемых отраслевым рынком [11].

Подходы к формированию ценовой политики в системе лекарственного обеспечения описал Г.Д. Олейник. Данные материалы посвящены методам и инструментам маркетинговых исследований фармацевтического рынка и формируемой им конкурентной среды с целью категоризации потребительского спроса и адекватной ему ценовой и ассортиментной политики [12].

Для решения задач имитационного моделирования могут быть использованы несколько известных пакетов компьютерной математики.

Первая версия систем структурного и имитационного моделирования (ССИМ) ExtendSim разработана компанией Imagine That Inc. в начале 1987 года. ССИМ ExtendSim включает большое число библиотек имитационного моделирования, ориентированных на различные предметные области. Основной является библиотека Items. ССИМ ExtendSim не требует специальных знаний и навыков программирования, имеет интуитивно-понятный пользовательский интерфейс и для эксперимента достаточно нарисовать структурную схему моделируемого процесса и с помощью настроек необходимых параметров блоков ввести исходные данные. События в модели происходят при прохождении динамических объектов (заявок) по последовательности функциональных блоков.

Заявки в ССИМ ExtendSim называются элементами, для которых заданы определенные правила перемещения по блокам модели.

Основными достоинствами ССИМ ExtendSim являются:

- простота пользовательского интерфейса и легкость освоения системы;
- наличие бесплатной демо-версии для ознакомления без ограничения функциональных возможностей моделирования;

- простое и понятное моделирование с использованием только графических элементов без необходимости программирования.

Основными недостатками ССИМ ExtendSim можно назвать отсутствие встроенного инструмента построения отчета результатов моделирования. Для получения результатов моделирования необходимо вручную собирать статистику по каждому блоку. А существующий метод сохранения результатов в базу данных требует использования дополнительных программ для обработки и просмотра результатов. Также к недостаткам можно отнести необходимость расширять стандартную библиотеку своими блоками.

Simulink [13] является компонентом Matlab [14]. ССИМ Simulink состоит из различных библиотек, каждая из которых представляет собой набор графических блоков для моделирования систем. ССИМ Simulink позволяет объединить совокупность блоков в подсистему с целью представить сложные модели в иерархическом виде, отображая состав функциональных подсистем и связей между ними.

Библиотека SimEvent содержит блоки для построения ИМ СМО в ССИМ Simulink. Основными компонентами библиотеки являются блоки: генерации заявок, вывода заявок из системы, серверов, очередей и маршрутизации движения заявок. Подробное описание библиотеки SimEvent приведено в [15]. С помощью блоков SimEvent можно быстро построить структурную модель СМО и произвести планирование времени загрузки ресурсов в различных системах управления, аппаратных и программных архитектурах и инфокоммуникационных сетях [16].

Пакет Simulink очень удобен для описания типовых блоков физических систем. Простой интерфейс напоминает конструктор, в котором с помощью различных блоков можно быстро собрать действующую модель любой сложности - от антиблокировочной системы автомобиля до сложнейшего истребителя F-16. При этом пользователю дана возможность создавать собственные блоки и объединять уже существующие в подсистемы, что дает возможность увидеть общую структуру, не загроможденную вторичными блоками. Преимущества такого подхода в полной мере проявляются, когда количество блоков на схеме переваливает за сотню. Плюс ко всему этому большинство toolbox'ов также имеют средства для импорта своих интерфейсов в Simulink.

Недостатком является то, что при создании сложных моделей приходится строить довольно громоздкие многоуровневые блок-схемы, не отражающие естественной структуры моделируемой системы. Также недостатки пакета связаны с стремлением вставить в пакет все, что только можно. К примеру, процесс построения электрических цепей в Simulink откровенно неудобен - идеология программы не позволяет соединять электрические провода

естественным образом, заставляя прибегать к Т-образным коннекторам, а иногда и к громоздким шинам. И хотя само моделирование (равно как и точность математических моделей) близко к идеалу, думаю, подобные задачи все же лучше отдать на откуп специализированным программам - таким, как Design Lab, например. Также Simulink является весьма дорогим продуктом, что для нашего, российского пользователя немаловажно [17].

AnyLogic – программное средство для структурного и имитационного моделирования процессов и систем, разработанное российской компанией «Экс Джей Текнолоджис» в 2003 году [18]. Система AnyLogic включает в себя графический язык моделирования и позволяет пользователю расширять созданные модели с помощью языка Java. Последняя версия ССИМ AnyLogic 8 разработана в 2017 году. Имитационное моделирование в ССИМ AnyLogic происходит «перетаскиванием» объектов с «Палитры компонентов моделей» в графическом редакторе с дальнейшим указанием их параметров. Объекты основной библиотеки AnyLogic являются строительными блоками, с помощью которых строятся структурные схемы модели. По своей функциональной принадлежности объекты подразделяются на несколько категорий. Подробное описание библиотек AnyLogic приведено в [18].

Основным достоинством инструмента можно назвать его мощь и гибкость. Будучи основанным на универсальном объектно-ориентированном подходе, принципах визуальной разработки и языке Java, AnyLogic поддерживает практически все способы моделирования систем: дискретное моделирование процессов, системную динамику и агентное моделирование. При этом пользователь может эффективно управлять сложностью модели, менять уровень абстракции, интегрировать модель с внешним миром – БД, ERM-системами и т.п. AnyLogic не только уменьшает трудоёмкость создания имитационных моделей в традиционных областях (производство, логистика, здравоохранение, бизнес-процессы и т.д.), но и создаёт новые ниши практического применения ИМ, в частности, агентное моделирование потребительского рынка, управления активами и управления проектами, агентное моделирование конкуренции.

Недостатки инструмента вытекают из его достоинств, в частности из гибкости: AnyLogic обычно предлагает не один, а множество путей разработки модели, и для эффективного выбора из этого спектра нужна некоторая практика [19]. Подробное описание сравнений систем имитационного моделирования описано в [20].

На основании достоинства и недостатков различных пакетов был сделан вывод, что наиболее эффективным инструментом имитационного моделирования является система Anylogic.

4. Предлагаемые решения

Каждая методология обладает своими особенностями и ограничениями характера обработки процесса. Например, агентное моделирование предполагает сосредоточение непосредственно на отдельных объектах, их поведении и взаимодействии, но требует использования некоторой «вмещающей» модели среды. Дискретно-событийная модель позволяет исследовать решения и системные эффекты, но не позволяет работать с ресурсами. Также может быть использован подход на основе нечетких множеств [21]. В следствие этого, была выбрана системная динамика в качестве парадигмы моделирования системы. Системная динамика позволяет моделировать сложные системы на высоком уровне абстракции, не принимая в расчет мелкие детали: индивидуальные свойства отдельных продуктов, событий или людей. Такие модели позволяют получить общее представление о системе и хорошо подходят для стратегического планирования.

Предлагается следующая структура модели в рамках методологии имитационного моделирования на рисунке 1.

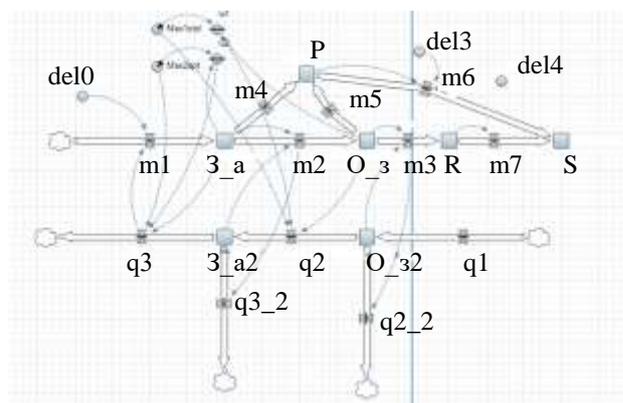


Рис. 1. ИДМ потока медикаментов в ЛПУ

В соответствии с принятым подходом в рамках ИДМ основными элементами являются накопители, которые описываются уровнями в текущий момент времени, и потоки, описываемые темпами. Разработанная модель включает в себя следующие накопители:

- 3_a (Запасы аптеки);
- 3_a2 (Заявки аптеки);
- O_z (Запасы в отделениях);
- O_z2 (Заявки, поступающие в отделения);
- R (Расход медикаментов);
- P (Потери медикаментов).

Значение накопителя в каждый момент времени вычисляется в соответствии с дифференциальным уравнением, правая часть которого составляется следующим образом: значения входящих потоков, то есть, тех, которые увеличивают значение накопителя, добавляются, а значения исходящих потоков,

соответственно, вычитаются из текущего значения накопителя:

$$z_a = m1 - m2 - m4;$$

$$z_{a2} = q2 - q3_2 - q3;$$

$$O_z = m2 - m5 - m3;$$

$$O_{z2} = q1 - q2 - q2_2;$$

$$R = m3 - m7;$$

$$P = m5 + m4 - m6.$$

Следующими основными элементами являются потоки. В представленной модели включены два потока: m – поток медикаментов, q – поток заявок на медикаменты.

Стокм потока медикаментов является нулевой узел "S" (списание), соответствующий конечной вершине схемы оборота медикаментов в ЛПУ.

Поток медикаментов представляется следующим образом:

- $m1$ – поток медикаментов от поставщиков в аптеку ЛПУ;
- $m2$ – медикаменты, распределенные из аптеки по отделениям ЛПУ;
- $m3$ – распределение медикаментов непосредственно по больным вследствие назначения врача;
- $m4, m5$ – потери лекарственных средств и изделий медицинского назначения в аптеке и в отделениях соответственно;
- $m6, m7$ – медикаменты, подвергшиеся списанию.

Поток заявок на медикаменты образуется из следующих подпотоков:

- $q1$ – заявки на отпуск медикаментов по целевому назначению, формирующиеся по назначениям врачей или требованиям главных медсестер;
- $q2$ – заявки в аптеку ЛПУ, формирующиеся вследствие дефицита медикаментов в отделениях;
- $q2_2$ – заявки, по которым в момент их поступления были отпущены медикаменты по назначениям врачей или по требованиям старших медсестер;
- $q3$ – заявки на пополнение запасов лекарственных средств и изделий медицинского назначения, поступающие поставщикам из аптеки ЛПУ;
- $q3_2$ – заявки, по которым в момент их поступления были отпущены медикаменты из аптеки ЛПУ в отделения.

Переменные $del0, del3, del4$ необходимы для описания состояния темпов:

$$m_6 = \frac{P}{del_3}.$$

5. Результаты и выводы

1. Сформулирована задача на исследовании процесса обеспечения лекарственными средствами в медицинских организациях;
2. Обоснован выбор инструментального средства для имитационного моделирования, указанного процесса;
3. Построена структурная схема модели в соответствии с методологии системной динамики.

Построенная модель позволит провести имитационный эксперимент и получить количественные параметры динамики процесса обеспечения ЛПУ лекарственными средствами и изделиями медицинского назначения в интересах содержательного представления результатов моделирования. Кроме того, в качестве результатов выдаются простейшие статистические характеристики, позволяющие делать вывод о качестве управления процессом снабжения. Подсистема принятия решений об объемах и сроках заказов на пополнение запасов медикаментов позволяет значительно улучшить характеристики процесса поставки медикаментов.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-48-020074.

Список используемых источников

1. Руководство к практическим занятиям по социальной гигиене и организации здравоохранения / Под ред. Ю. П. Лисицына, Н. Я. Копыта. – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Медицина, 1984. – 400 с.: ил.
2. Социальная гигиена и организация здравоохранения / Под ред. А. Ф. Серенко и В. В. Ермакова. 2-е изд. – М.: Медицина, 1984. – 640 с.: ил.
3. Тайгина Е.А., Фарукшин Р.М. Моделирование информационных процессов в лечебных учреждениях / Информационные и кибернетические системы управления и их элементы. – Уфа: УГАТУ, 1997.
4. Беляев Ю.А. Дефицит, рынок и управление запасами. – М.: Изд-во УДН, 1991. – 230 с.
5. Меерсон А.Ю., Смирнова Е.И., Об особенностях преподавания имитационного моделирования студентам экономических специальностей; URL:

- http://www.rusnauka.com/9_SNP_2015/Economics/8_188631.doc.htm (дата обращения 31.03.2019)
6. Никитенко Д.Н. Совершенствование системы лекарственного обеспечения многопрофильной медицинской организации: современное состояние проблемы и пути решения. // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2018. Т. 13. №2. С. 120-126.
 7. Тельнова Е.А., Нормативная база как основа реализации системы дополнительного лекарственного обеспечения. // Ремедиум. 2006. № 3. С. 38-45.
 8. Глембоцкая Г.Т., Богатырев, С.А. Лекарственное обеспечение как составляющая медицинского страхования // Ремедиум. 2010. № 6. – С. 41–43.
 9. Шобабаев А.Р., Серикбаев Э.А., Азнабакиева Ф.М. Система лекарственного обеспечения в рамках обязательного медицинского страхования зарубежных стран // Вестник КазНМУ. 2017. №4. С. 314-316
 10. Геллер Л.Н. Теоретические и организационно-экономические основы стратегического управления системой фармацевтической помощи на уровне субъекта РФ: автореф. дис. ... докт. фарм. наук: 15.00.01 / Геллер Лев Николаевич. – Москва, 2007. – 47 с.
 11. Кононова С.В., Соколова, Н.Н. Актуальные аспекты фармацевтической деятельности на современном этапе // Медицинский альманах. 2007. № 1. – С. 47–49.
 12. Олейник Г.А. Теоретические и методологические основы формирования региональной ценовой политики в системе лекарственного обеспечения: автореф. дис.... докт. фарм. наук: 15.00.01 / Олейник Галина Анатольевна. Пермь, 2000. – 40 с.
 13. 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.
 14. Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова. MATLAB 7. Самоучитель. М.: ИТ Пресс, 2006. ISBN: 5-477-00283-2.
 15. Якимов И.М., Кирпичников А.П., В. В. Мокшин. Обучение имитационному моделированию в пакете SIMULINK системы MATLAB. // Вестник технологического университета. 2015. Т. 18. № 22. С. 184-188.
 16. Эминов Ф. И. Офисные и промышленные информационные системы сети. Казань: Мастер Лайн, 2016. 346 с. ISBN 978-5-931-39249-3.
 17. Современные системы управления / Р. Дорф., Р. Бишоп. Пер. с англ. Б.И. Копылова. - М.: лаборатория базовых знаний, 2002. - 832 с.
 18. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Мокшин В.В. Моделирование сложных систем в имитационной среде ANYLOGIC. // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. №13. С. 352-357.
 19. Карпов Ю. Г. Интервью с президентом компании XJ Technologies. // ТЕМА НОМЕРА: ФИНАНСОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ПЛАТФОРМЕ ANYLOGIC. – 2015.; URL: <http://www.ifel.ru/br4> (дата обращения: 01.03.2019).
 20. Якимов И.М., Кирпичников А.П., Трусфус М.В., Мокшин В.В. СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ СТРУКТУРНОГО И ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC, EXTENDSIM, SIMULINK // Вестник технологического университета. 2017. Т.20, №15. С. 119-121.
 21. Antigoni A, Groumpos P. A new mathematical model for fuzzy cognitive maps-application to medical problems/ // Системная инженерия и информационные технологии–2019.–№1.–С.63-66.