

удк 002.53:61

Д. В. Алимов, А. Е. Михеев, Г. И. Назаренко, М. И. Хаткевич

## Визуализация и анализ потока пациентов в комплексном лечебно-профилактическом учреждении

Аннотация. Перед любым лечебно-профилактическим учреждением (далее ЛПУ) стоит задача повышения качества медицинской помощи пациентам и эффективности работы ЛПУ в целом. Одним из подходов к решению данной задачи является анализ потоков пациентов в ЛПУ и основанные на этом анализе оптимизация путей прохождения пациентов и динамическая адаптация ресурсов ЛПУ для достижения большей адекватности потоку. В настоящей статье излагаются концептуальные предложения по созданию подсистемы визуализации и анализа потоков в качестве подсистемы корпоративной ИС. Представлена обобщенная структура комплексного лечебно-профилактического учреждения, определяются уровни потоков пациентов и механизмы управления потоками. Рассматриваются возможные схемы визуализации информации о потоках и излагаются принципы реализации подсистемы визуализации и анализа потоков.

*Ключевые слова и фразы:* комплексное лечебно-профилактическое учреждение, потоки пациентов, механизмы управления потоком, элемент потоковой схемы, стационар, поликлиника, здравпункт.

### 1. Введение

Крупное комплексное лечебно-профилактическое учреждение — ЛПУ — представляет собой сложный механизм с множеством взаимодействующих между собой сущностей и значительным количеством формальных и неформальных связей. Отладить работу этого механизма, чтобы он работал «как часы», — стремление каждого руководителя, поскольку в результате оптимизируется нагрузка на исполнителей, улучшается психологический климат в коллективе, что делает коллектив более динамичным и привлекательным для работы профессионалов высокой квалификации. Естественным следствием этого является повышение качества медицинской помощи пациентам и повышение эффективности работы ЛПУ в целом.

Одним из подходов к решению данной задачи является анализ потоков пациентов в ЛПУ и основанные на этом анализе оптимизация путей прохождения пациентов и динамическая адаптация ресурсов ЛПУ для достижения большей адекватности потоку. В рамках решения данной задачи должны анализироваться и представляться в удобном для специалиста виде данные о траекториях потоков, интенсивности потоков, длине очередей, количестве и частоте отказов в обслуживании, а также суточных, недельных, месячных и сезонных изменениях данных характеристик. Система должна предусматривать ввод списков пороговых значений для данных характеристик, что позволило бы системе автоматически сигнализировать о выходе за пределы порогового значения, чтобы привлечь внимание ответственного лица и предоставить всю необходимую для принятия решения информацию.

Если в мелком и среднем ЛПУ возможно решение данной задачи без применения средств информатизации, то в крупном комплексном ЛПУ это практически невозможно. В сфере информатизации медицины за рубежом в настоящее время активно разрабатывается концепция рабочего места руководителя ЛПУ, основанная на понятии «панель управления» (control panel). Это специализированное рабочее место, куда выводятся все основные интегральные показатели деятельности ЛПУ, с возможностью по желанию детализировать информацию вплоть до конкретного случая медицинской помощи. Если общая идея «панели управления» достаточно очевидна, то при реализации возникают многочисленные вопросы, связанные, в первую очередь, с информационным наполнением данного механизма: какую информацию, какого уровня агрегирования, в каком виде надо отобразить, какие элементы анализа информации необходимо использовать и какие «ручки управления» предоставить пользователю данного инструмента?

Очевидно, что, с одной стороны, задача анализа потоков пациентов — это задача уровня пользователя «панели управления», а с другой стороны, средства информатизации, созданные для решения задачи визуализации и анализа потока пациентов, могли бы стать разделом средств информатизации «панели управления».

Ввиду того, что для решения задачи визуализации и анализа потоков требуются данные обо всех аспектах медицинской деятельности ЛПУ, эффективное решение данной задачи возможно лишь в рамках корпоративной информационной системы (ИС). В настоящей статье

излагаются концептуальные предложения по созданию подсистемы визуализации и анализа потоков в качестве подсистемы корпоративной ИС, которая бы решала означенную выше задачу, а кроме того, являлась бы базисом для дальнейшего развития подсистемы в сторону создания «панели управления».

## 2. Модель комплексного ЛПУ

**2.1. Уровни потоков в комплексном ЛПУ.** Входной поток пациентов в комплексном ЛПУ постепенно разбивается на более мелкие потоки, каждый из которых можно отнести к определенному уровню. Можно выделить следующие уровни потоков:

- потоки комплексного ЛПУ в целом;
- потоки компоненты комплексного ЛПУ;
- поток уровня профиля медицинской помощи (терапия, хирургия, и т. д.);
- потоки внутри компоненты между субъектами лечебно-профилактической деятельности (отделение, центр, кабинет, лаборатория);
- поток уровня специалиста.

В общем случае, комплексное ЛПУ может состоять из стационара, диагностического центра, поликлиники, реабилитационного центра и здравпунктов. Причем каждая компонента может присутствовать в нескольких экземплярах. Например, может быть несколько профильных стационаров, несколько территориально удаленных здравпунктов и т. д. Причем даже в случае с выделенным диагностическим центром каждая компонента может иметь свой внутренний диагностический центр, что почти всегда бывает в случае с территориально распределенными компонентами, при этом распределение потока между внутренними диагностическими службами и внешним диагностическим центром — предмет особого внимания, так как прохождение пациента по внутреннему по отношению к компоненте циклу существенно ускоряет лечебно-диагностический процесс и является более щадящим для пациента.

**2.2. Схема комплексного ЛПУ.** На рис. 1 представлена схема обобщенного комплексного лечебно-профилактического учреждения.

На данной схеме использованы следующие обозначения:

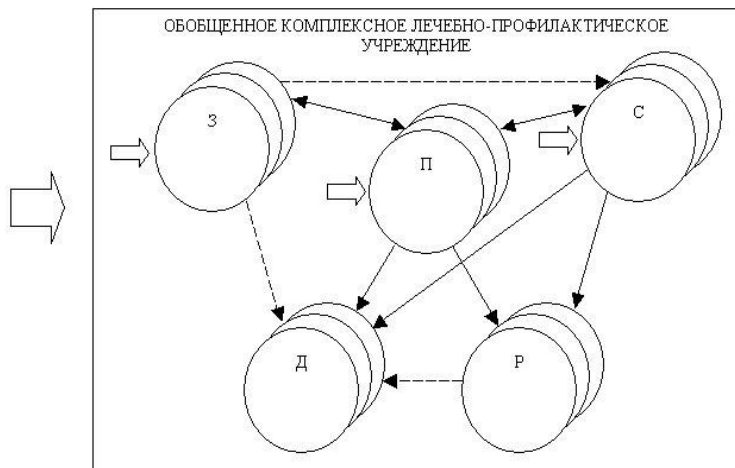


Рис. 1. Схема обобщенного комплексного лечебно-профилактического учреждения.

- З — здравпункт;
- П — поликлиника;
- С — стационар комплексного ЛПУ;
- Д — диагностический центр;
- Р — реабилитационный центр (санаторий).

Большими стрелками обозначены входные потоки пациентов в комплексный ЛПУ в целом и по компонентам в отдельности. Тонкими стрелками обозначены возможные потоки пациентов между компонентами. Пунктирными стрелками обозначены возможные, но маловероятные потоки, которыми для простоты анализа можно пренебречь.

**2.3. Схема компоненты комплексного ЛПУ.** На рис. 2 представлена типичная схема компоненты комплексного ЛПУ. Каждая компонента имеет механизм управления потоком. Внутри компоненты поток разбивается на подпотоки более низкого уровня. Внутренний оборот потоков может быть двух типов: с использованием механизма управления входным потоком (например, когда специалист поликлиники назначает пациенту консультацию другого специалиста или направляет на диагностическое исследование, но талон на прием

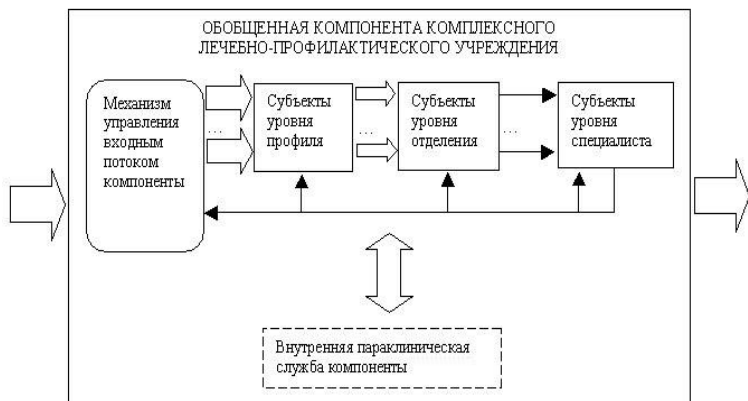


Рис. 2. Схема обобщенной компоненты ЛПУ

пациент должен взять сам) и без него, когда врач-специалист в рамках отведенного ему ресурса направляет пациента непосредственно к другим субъектам лечебно-профилактической деятельности. Кроме того, пациенты могут направляться в другие компоненты ЛПУ: в стационар для госпитализации, в поликлинику после госпитализации, в реабилитацию после госпитализации и диагностический центр для проведения исследований. Следует отметить, что для проведения исследований пациенты не всегда направляются в диагностический центр. Некоторые исследования, например, часто выполняемые анализы, могут проводиться в лабораториях, территориально расположенных внутри поликлиники, но логически относящихся к диагностическому центру.

**2.4. Механизмы управления входным потоком.** В качестве механизма управления входным потоком компоненты могут использоваться:

- механизм с использованием очередей;
- механизм с использованием талонов;
- комбинированный механизм.

**2.4.1. Использование очередей.** Если при работе компоненты в качестве механизма управления входным потоком используется механизм с очередями, все поступающие заявки на обслуживание попадают в одну или несколько очередей. Наиболее ярким примером

механизма очередей компоненты является план (или очередь) госпитализации в стационаре. Рассмотрим его в качестве примера более подробно. В очередь на госпитализацию пациенты могут направляться как извне компоненты, например, по направлению поликлиники, так и из самой компоненты, например, при назначении даты следующей госпитализации для обследования или оперирования пациента. При принятии решения о госпитализации пациенту назначается койка в том или ином отделении с коечным фондом. Таким образом, основным распределяемым ресурсом обслуживания пациента в стационаре является койка. Решение неизбежно возникающей проблемы планирования госпитализации затруднено по причине отсутствия четкого знания даты освобождения койки. Однако на некотором этапе лечения, особенно после постановки клинического диагноза, врач может прогнозировать дату выписки пациента из стационара, тогда в этот момент становится возможным оценить интервал пребывания пациента в отделении с той или иной степенью вероятности.

Естественно, что оптимальная загруженность компоненты определяется соотношением двух противоположных требований:

- (1) Минимизации среднего времени ожидания пациентом госпитализации или аналогичной характеристики — средней длины очереди на госпитализацию.
- (2) Максимизации загруженности койкоместа. Загруженность койкоместа — это частное от деления времени занятости койкоместа за период на период. Эта величина находится в обратной пропорции к величине простоя койкоместа, поэтому данное требование можно сформулировать по-другому: минимизация среднего времени простоя койкоместа.

Поскольку нахождение оптимального соотношения данных требований — дело текущей политики руководства ЛПУ, подсистема визуализации и анализа должна предоставлять руководителю возможность задавать список пороговых значений для любой из перечисленных выше характеристик. При переходе через пороговое значение подсистема должна сообщать пользователю об этом событии, а система визуализации должна выделять «интересный» фрагмент схемы другим цветом. Например, при помощи двух пороговых значений можно на числовой оси выделить три диапазона: норма, ниже нормы и выше нормы, — и норму отображать без выделения цветом, ниже нормы — зеленым цветом, выше нормы — красным.

Механизм очередей эффективно используется в случаях, когда заранее не ясно, сколько временного ресурса понадобится, чтобы осуществить все необходимые лечебно-профилактические действия над пациентом. Такой механизм лучше всего подходит для стационара. Для поликлиники более предпочтительно использование механизма талонов.

2.4.2. *Механизм талонов.* Еще одним механизмом управления входного потока компоненты является механизм талонов, суть которого заключается в том, что весь ресурс компоненты разбивается на минимальные кванты ресурса — талоны, которые и распределяются пациентам. Наиболее часто этот механизм используется в поликлиниках. Талон определяет время приема пациента одним специалистом поликлиники. Обычно данный механизм работает следующим образом: составляется график работы специалистов поликлиники. По графику каждый день порождаются талоны на тот же день следующей недели. Талоны распределяются в порядке живой очереди и, возможно, по телефону. В отличие от механизма с очередями, важнейшей характеристикой загруженности компоненты является характеристика среднего количества отказов в обслуживании. Причем можно выделить отказы двух степеней:

- (1) Частичный отказ. Пациенту не удалось получить талон к такому специалисту и на такое время, которое максимально удобно для него, но несмотря на это, пациент согласился на другой предложенный регистратором талон.
- (2) Полный отказ. Пациент ушел без талона.

Как и в предыдущем механизме, оптимальная загруженность компоненты определяется соотношением двух противоположных требований:

- (1) Минимизация частоты частичного и полного отказов.
- (2) Минимизация времени простоя специалиста или максимизация занятости специалиста.

Как и в предыдущем механизме, нахождение оптимального соотношения данных требований — дело текущей политики руководства ЛПУ, подсистема визуализации и анализа должна предоставлять руководителю возможность задавать список пороговых значений для любой из перечисленных выше характеристик.

2.4.3. *Комбинированный механизм.* Иногда механизмы с очередями и талонами комплексуются. Например, в поликлиниках, где организуется очередь за дефицитными талонами, часто используется комбинированный механизм управления входным потоком. В этом случае, управление потоком дефицитных талонов происходит с использованием механизма очередей, а потоком обычных талонов — с использованием механизма талонов. Таким образом, можно считать, что компонента имеет два входных потока и, как и в предыдущих случаях, руководитель должен иметь возможность задания пороговых значений для обоих этих потоков.

### 3. Схемы визуализации информации о потоках

Для достижения максимального удобства восприятия информации о потоках необходимо отображать данную информацию поверх схем ЛПУ. На схемах показываются стрелки потоков, значения характеристик потоков и пропускная способность субъектов лечебно-профилактической деятельности. Необходимо иметь возможность задавать прямо на схеме списки пороговых значений для любой характеристики потока и цветовые выделения. Можно использовать несколько схем в качестве «подложки»:

- **Схема физической структуры ЛПУ.** С той или иной степенью абстракции на схеме изображается план зданий ЛПУ, на который нанесены основные помещения лечебно-профилактической деятельности: отделения, кабинеты, посты, процедурные, палаты. Навигация производится в терминах зданий, этажей, помещений. Данная схема визуализации хороша тем, что ее можно использовать в качестве основы многих автоматизированных рабочих мест, например, старших и постовых медсестер, руководителя отделения и др. В качестве недостатка использования данной схемы можно отметить излишнюю конкретность фоновой информации.
- **Схема логической структуры ЛПУ.** На схеме изображается логическая структура организации, основывающаяся на информации отдела кадров. Данная схема имеет то преимущество, что не содержит излишних деталей, связанных с отображением плана помещений. В качестве недостатка использования данной схемы можно отметить следующий: не всегда интересующие пользователя потоки — это потоки между элементами логической структуры организации. Например,



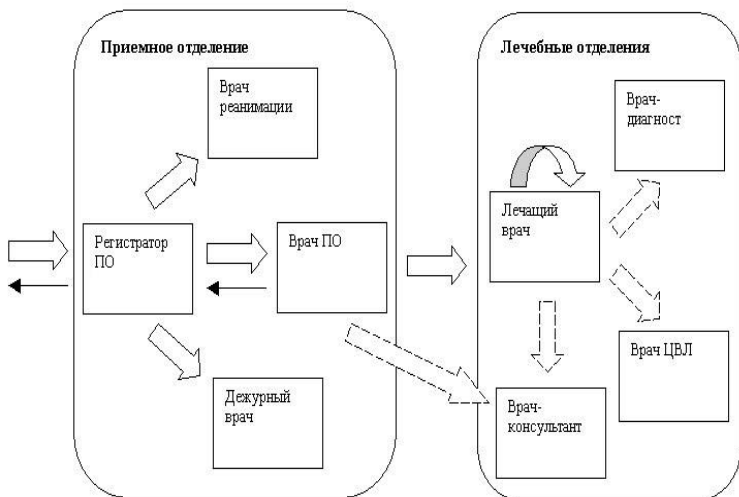


Рис. 3. Функциональная схема прохождения в стационаре

понятия «лечащий врач», «врач-диагност» не являются элементами логической структуры организации, но, очевидно, являются субъектами лечебно-профилактической деятельности и поэтому могут быть элементами схем потоков.

- Функциональная схема ЛПУ. На схеме отображаются функциональные элементы лечебно-профилактической деятельности. Для примера на рис. 3 приведена одна из возможных функциональных схем работы стационара, удобная для отображения информации о потоках.

На этом рисунке толстыми сплошными стрелками показаны основные направления потоков пациентов, тонкими — возможные отказы в обслуживании, а толстыми пунктирными стрелками показаны потоки, при которых пациент реально не переходит к другому субъекту лечебно-профилактической деятельности, а лишь на время попадает в его поле зрения для осуществления порученных первым субъектом функций. Ярким примером является направление лечащим врачом пациента к консультанту либо к врачу-диагносту.

Подсистема визуализации и анализа потоков должна позволять конструировать схемы перечисленных трех видов, с возможностью

комбинирования элементов данных схем. Для схемы в целом задаются следующие параметры:

- Дата конца периода усреднения потока (если не задана, то по умолчанию берется текущая дата).
- Период усреднения значения потока (это может быть день, неделя, месяц и т. д.).
- Единицы измерения потока.

Значения данных параметров могут быть переопределены для каждого элемента потоковой схемы, что важно для схем, на которых одновременно отображаются потоки с существенно разной скоростью.

Необходимо иметь возможность «раскрыть» исполнителя. При этом должна вызываться потоковая схема более низкого уровня, на которой детально представлена потоковая модель внутри объемлющего исполнителя. Например, на логической схеме структуры организации потоковый элемент «стационар» мог бы раскрываться в схему, на которой представлены отделения стационара и потоки между ними.

На каждой потоковой схеме могут объединяться потоки, участвующие в разных процессах. Необходимо предусмотреть механизм тематических слоев (layer), чтобы была возможность фильтрации процессов, не представляющих в данный момент интереса для пользователя. Перечислим основные процессы в ЛПУ, связанные с потоками пациентов:

- прикрепление к обслуживанию;
- госпитализация в стационаре;
- амбулаторный прием специалиста поликлиники;
- профосмотр в поликлинике;
- диспансерный учет в поликлинике;
- выдача листков нетрудоспособности.

В качестве дальнейшего развития подсистемы визуализации и анализа потоков можно предусмотреть типизацию потоков по основному объекту деятельности. Тогда можно было бы перечислить следующие типы потоков:

- пациентов;
- назначений;
- медицинских документов (осмотры, эпикризы, дневники);
- медикаментов и перевязочных средств;
- сотрудников.

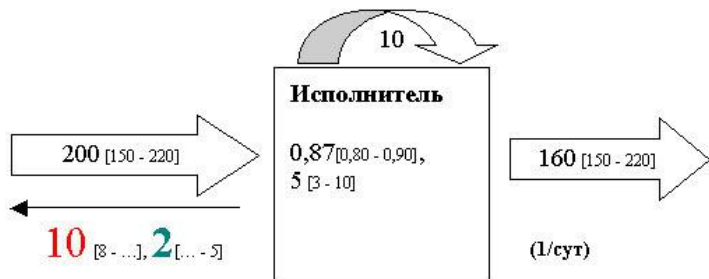


Рис. 4. Основной элемент потоковой схемы

#### 4. Основной элемент потоковой схемы

На рис. 4 представлено визуальное отображение основного элемента потоковой схемы.

Элемент потоковой схемы состоит из одного «исполнителя» — субъекта лечебно-профилактической деятельности, входного потока, потока отказов в обслуживании, внутреннего потока и выходного потока. Для всего элемента задаются следующие параметры:

- Период усреднения значения потока.
- Единицы измерения потока.

В квадрате исполнителя визуализируются параметры: загруженность исполнителя и средняя длина очереди. Справа от этих значений визуализируется интервал пороговых значений, в который попадают эти величины.

Для каждого потока может задаваться список пороговых значений и атрибутов выделения в случае перехода значения потока через пороговые величины. На стрелке или рядом отображается значение интенсивности потока, а также, в квадратных скобках, — интервал между пороговыми значениями, в который попадает вычисленная интенсивность потока. На схеме показаны превышение порогового значения потока частичных отказов в обслуживании (значение отображается красным цветом и увеличенным размером символов) и понижение порогового значения полных отказов (значение отображается зеленым цветом и увеличенным размером символов).

Необходимо предусмотреть возможность анализа каждого из потоков с использованием фильтров (одного или нескольких) по всем

атрибутам анкетной и медицинской информации о пациенте, например:

- нозология в стационаре по диагнозу при поступлении, основному клиническому диагнозу или по заключительному диагнозу;
- цель обслуживания в поликлинике (лечебно-диагностическая, консультативная, диспансерное наблюдение, медико-социальная, прочие цели);
- нозология в поликлинике по диагнозам в листе уточненных диагнозов (ЛУД);
- анкетная информация: пол, возраст, профессия, образование и т. д.

## 5. Принципы реализации

Для достижения максимальной эффективности работы подсистемы визуализации и анализа потоков пациентов необходимо придерживаться следующих принципов реализации:

- **Реализация в виде подсистемы корпоративной медицинской ИС.** Подсистема будет работать эффективно, если большая информации о субъектах потоковых схем, их структуре, а также сырой информации о потоках будет получаться автоматически из медицинской корпоративной ИС.
- **Использование двух независимых механизмов сбора сырой информации о потоках.** Если корпоративная медицинская ИС (МИС) имеет хранилище элементов потока, то эти данные используются механизмом непосредственно из МИС. Если в МИС нет такого хранилища элементов потока, но есть события, то, с использованием событийного интерфейса, данные поступают в собственное хранилище событий механизма и накапливаются в нем.
- **Наличие внутреннего хранилища событий и событийный интерфейс между медицинской ИС и подсистемой.** На любое интересующее событие, происходящее в МИС, можно «навесить» датчик со стороны подсистемы, снимать информацию и сохранять во внутреннем хранилище. С использованием внутреннего хранилища элементов потоков можно существенно расширить количество визуализируемых подсистемой потоков.

- **Наличие внутреннего хранилища описания субъектов потоков, их структуры, разделов, типов и экземпляров потоков.** Не все субъекты потоков можно заимствовать из МИС, поэтому необходимо иметь собственное хранилище, в котором можно было бы определить недостающие субъекты и задать их структуру.
- **Наличие механизма составления схем потоков и развитых средств их визуализации.** Подсистема сможет выполнить свою функцию, если использование ее конечным пользователем не будет вызывать затруднения. Необходимо как можно более четко разделить настройки подсистемы на два уровня: уровень администратора системы и уровень конечного пользователя.

В настоящее время идеи, изложенные в данной статье, проходят апробирование на этапах разработки и экспериментирования в рамках реализации комплексной медицинской системы ЛПУ. Первые полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что основные концептуальные положения данной подсистемы выбраны верно.

### Список литературы

- [1] Хаткевич М. И., Алимов Д. В. Процессно-документальный подход к построению подсистемы «Движение пациентов» корпоративной медицинской ИС // Сборник «Математика, информатика: теория и практика». Под ред. А. К. Айламазяна. — Переславль-Залесский: Университет города Переславля, 2003, с. 105–108. ↑
- [2] Малых В. Л., Пименов С. П., Хаткевич М. И. Объектно-реляционный подход к созданию больших информационных систем // Программные системы. — Москва: Наука Физматлит, 1999, с. 177. ↑
- [3] Айламазян А. К., Гулиев Я. И., Малых В. Л., Морозов В. Ю. Информационные системы в медицине: проблемы и решения // Программные системы. — Москва: Наука Физматлит, 1999, с. 162. ↑

D. V. Alimov, A. E. Mikheev, G. I. Nazarenko, M. I. Khatkevich. *Patient Flow Visualization and Analysis in a Complex Healthcare Institution.* (in russian.)

ABSTRACT. Every healthcare delivery institution faces the task of improving the quality and efficiency of patient care. One of the possible ways of addressing this problem is to analyze patient flow in order to be able to streamline it, and dynamically manage clinical resources to better accommodate patient flow. The paper sets out conceptual proposals for building a patient flow visualization and analysis system as part of a corporate healthcare information system. A generic structure of a complex healthcare institution is outlined; the various patient flow levels and flow management mechanisms are identified. Possible schemes of visualization for patient flow information are considered, and implementation principles of patient flow visualization and analysis subsystem are stated.