

Интеграция медицинских информационных систем

С.А.Лупин, Е.В.Шерина

Московский государственный институт электронной техники
(технический университет)

Н.Ю.Пономарева

Московский научно-исследовательский институт педиатрии
и детской хирургии

Предложен метод интеграции отдельных специализированных медицинских информационных систем в единую территориальную систему, основанный на выделении общего информационного ядра. Проведенное с помощью расширенных сетей Петри и системы моделирования Winsim исследование механизма интеграции доказывает работоспособность метода.

Информационные системы (ИС) находят все большее применение во многих областях человеческой деятельности [1]. Медицина не является исключением. Во всем мире создано достаточно большое число успешно работающих систем, использующих последние достижения информационных технологий. Наиболее «популярные» направления медицинской информатизации:

- автоматизация документооборота (как медицинского, так и бухгалтерского) внутри лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ);
- медицинское страхование;
- АРМ врача-специалиста;
- сбор медицинской статистики;
- телемедицина.

Имеющийся положительный опыт должен был перевести исследования в области медицинских информационных систем (МИС) из теоретического в практическое русло. Однако интенсивный рост возможностей современных ИС заставляет искать новые ответы на вопрос об их эффективном использовании в такой специфической сфере, как медицина.

Необходимо выяснить, почему же увеличение возможностей ИС только обостряет проблему их использования в медицине. Будем рассматривать только медицинский аспект проблемы.

Объектом изучения медицины является человек, который с точки зрения современной науки представляет собой сложную систему $\{A\}$, причем, наверное, самую сложную из тех, с которыми приходится иметь дело ученым. Одним из методов изучения сложных систем является их декомпозиция:

$$\{A\} = \{\{A_1\}, \{A_2\}, \dots, \{A_{K-1}\}, \{A_K\}\}.$$

В медицине это соответствует наличию множества специализированных врачей – кардиологов, невропатологов, окулистов и др. Но даже при таком разбиении на части система (в нашем случае человек) все еще остается чрезвычайно сложной. Поэтому для каждого врача-специалиста требуется ИС, оперирующая большими объемами данных о

каждом пациенте (не редкость 1000 и более параметров). Задачу хранения и обработки таких массивов данных современные информационные системы уже могут решать и, возможно, поэтому именно специализированные МИС развиваются наиболее динамично.

Для получения знаний о системе в целом надо провести процесс обратный декомпозиции – интеграцию и собрать разрозненные знания о компонентах системы в единую модель. Но знание отдельных свойств объекта даже при правильной его декомпозиции не всегда позволяет делать выводы о системе в целом. При этом под правильной декомпозицией чаще всего понимают разбиение объекта на отдельные слабо взаимодействующие части, что может быть справедливо в случае технической системы, но вряд ли применимо к живой системе:

$$\begin{aligned}\{A\} &= \{\{A_1\}, \{A_2\}, \dots, \{A_{K-1}\}, \{A_K\}\}, \\ \{A_1\} &= \{X_1, \dots, X_N\}, \dots, \{A_K\} = \{X_M, \dots, X_P\}, \\ \{X_1, \dots, X_N\} \cap \{X_M, \dots, X_P\} &\neq \emptyset.\end{aligned}$$

Таким образом, получается, что в медицине мы не можем (по крайней мере, сейчас) построить единую информационную систему для такой сверхсложной системы, как человек и, следовательно, должны использовать некий конгломерат специализированных ИС (СИС) врачей-специалистов. При этом на первый план выходит задача интеграции таких СИС, так как только вся совокупность параметров, даже если сегодня мы еще не знаем взаимосвязи между ними, может правильно характеризовать всю систему (человека) в целом. В работах некоторых авторов в качестве возможного решения предлагается переход от реляционных к постреляционным СУБД, предполагающим обработку не отдельных атрибутов объекта, а некоторой их совокупности (документов). Однако такой подход существенно снижает информационную ценность ИС и, следовательно, интеграция на основе реляционной модели представления данных является более перспективной. Интегрированные системы предполагают наличие некоторого ядра $\{R\}$, к которому и будут присоединяться различные подсистемы, тогда:

$$\{A_1\} = \{R, X_1, \dots, X_N\}, \dots, \{A_K\} = \{R, X_M, \dots, X_P\}.$$

В случае МИС к ядру предъявляются следующие требования. С одной стороны, ядро должно быть максимально информативно, чтобы обеспечивать достаточную «силу притяжения» для всех подсистем, иначе мотивация для интеграционных процессов будет слаба. С другой стороны, «утяжеление» ядра делает систему более консервативной, снижая (иногда существенно) мобильность отдельных подсистем. Очевидно, что это – противоречивые требования и оптимальное решение должно учитывать и то и другое.

С учетом сказанного, «легкое» ядро МИС может содержать следующую информацию о пациенте:

- идентификационный ключ (медицинский полис, паспорт, ИНН и т.п.);
- анкетные данные (ФИО, дата рождения, социальный статус);
- сведения о месте регистрации и проживания;
- основное ЛПУ;
- основное заболевание;
- массив данных о проведенных исследованиях и установленных заболеваниях в стандартизированной форме.

Информационная структура СИС, с одной стороны, должна обеспечивать необходимую для врача-специалиста информативность, а с другой – поддерживать интеграционные процессы в ядре системы. Казалось бы, эти требования достаточно мягкие и легко находят приемлемые решения в технических системах, однако если речь идет о меди-

пине, их выполнение связано с решением серьезных проблем. Одна из них – это классификация заболеваний человека (диагнозов). Существующий сегодня классификатор МКБ10 слишком подробен для врачей широкого профиля (терапевтов), но в то же время недостаточно информативен для врачей-специалистов, которые вынуждены постоянно его расширять для более точной постановки диагноза. Подобная проблема стоит и перед фармакологами, использующими для обозначения одного и того же лекарственного препарата несколько названий. Следовательно, единственно возможным решением для СИС будет поддержка нескольких справочников – одного для интеграции (например, МКБ10), а другого, более подробного («узкого», но «глубокого»), для внутренних задач. При этом очевидно, что для обмена информацией между отдельными СИС придется вводить некоторые ограничения. Так, если передавать данные из одной СИС, использующей свой внутренний справочник, в другую, то мы вынуждены либо передавать вместе с данными еще и справочник, либо пересылать их в «неформализованном» виде аналогично записям в истории болезни, где каждый врач может вносить произвольные записи. Первый вариант – передача специализированных справочников является возможным с точки зрения информатизации решением, но вряд ли применимым на практике, так как многие термины и определения, содержащиеся в них, будут понятны только специалистам в узкой области медицины. Такой подход можно использовать для полноценного взаимодействия однородных СИС, использующих разные справочники. Второй вариант соответствует принятой в медицине методике, когда результаты обследования врачами-специалистами попадают в историю болезни в виде «приложений» – кардиограмм, энцефалограмм и т.п. Для его реализации требуется только согласовать форматы представления текстовой и графической информации, например .doc и .bmp. В какой то мере это можно считать элементами постреляционной модели, однако наличие ядра системы позволит по мере накопления знаний восстановить реляционную структуру и для пересекающихся областей данных отдельных СИС.

На наш взгляд, предлагаемый подход и современный уровень развития средств вычислительной техники и телекоммуникаций позволяют ставить задачу по созданию территориальных МИС (ТМИС), интегрирующих имеющиеся специализированные МИС.

Процесс интеграции МИС может идти по следующей схеме:

- создается общедоступное хранилище медицинских данных пациентов округа, пополняемое результатами текущих осмотров, анализов и т.п., результаты специальных исследований будут представлены там только в виде ссылок на соответствующие документы СИС;
- разрабатываются механизмы доступа из среды СИС к общей информации и методы передачи данных из одной СИС в другую.

Вот лишь некоторые новые возможности, которые принесет медицине внедрение ТМИС:

- медицинская статистика получит возможность вести оперативный учет заболеваемости, частоты и структуры патологии данной территории, а также своевременно отслеживать эпидемиологическую ситуацию;
- врачи-терапевты получают доступ ко всей информации о состоянии здоровья пациента, что позволит отказаться от необходимости проведения повторных исследований, оценить динамику в изменении состояния больного, эффективность проводимых лечебно-профилактических мероприятий;
- врачи-специалисты, например генетики, смогут проводить не только диагностику и мониторинг нарушений развития у детей [2], но и оценивать риск проявления врожденной или наследственной патологии у плода на основе анализа данных здоровья родителей, особенностей течения беременности с учетом влияния вредных средовых факторов в ответственные периоды органогенеза.

Естественно, что все эти возможности станут реальностью, только если информационная структура ТМИС будет правильно спроектирована. Эффективность процессов обработки информации во многом определяется способом ее представления в различных хранилищах. При проектировании распределенных информационных систем, к которым можно отнести и окружные МИС, необходимо уже на ранних стадиях разработки учитывать интенсивность и виды задач по обработке данных, которые будут решаться в ней. Будем исходить из того, что основным предназначением ТМИС можно считать обеспечение доступа врача к оперативной (последней) информации, а проведение статистических исследований за относительно большой промежуток времени является несомненно важной, но дополнительной возможностью. Отсюда вытекает и основное требование к информационной интеграции МИС – новые возможности не должны ухудшать работу объединяемых специализированных составляющих. На наш взгляд, один из возможных подходов к решению такой задачи состоит в том, что общедоступное хранилище должно быть построено по иерархическому принципу. Это предполагает разделение информации между отдельными хранилищами по временному признаку – по мере «старения» информация вытесняется в более «удаленное хранилище», уступая место более актуальной.

Очевидно, что, по крайней мере на первом этапе интеграции, необходимо сохранить информационную структуру всех СИС. Это позволит обеспечить бесперебойность их функционирования и сосредоточить усилия на разработке механизмов информационного взаимодействия различных хранилищ данных. Такое взаимодействие предполагает как процедуру транспортировки данных СИС на верхний уровень системы (UT – *up transport*), так и перемещение данных из общего хранилища в локальные (DT – *down transport*) (рис.1).

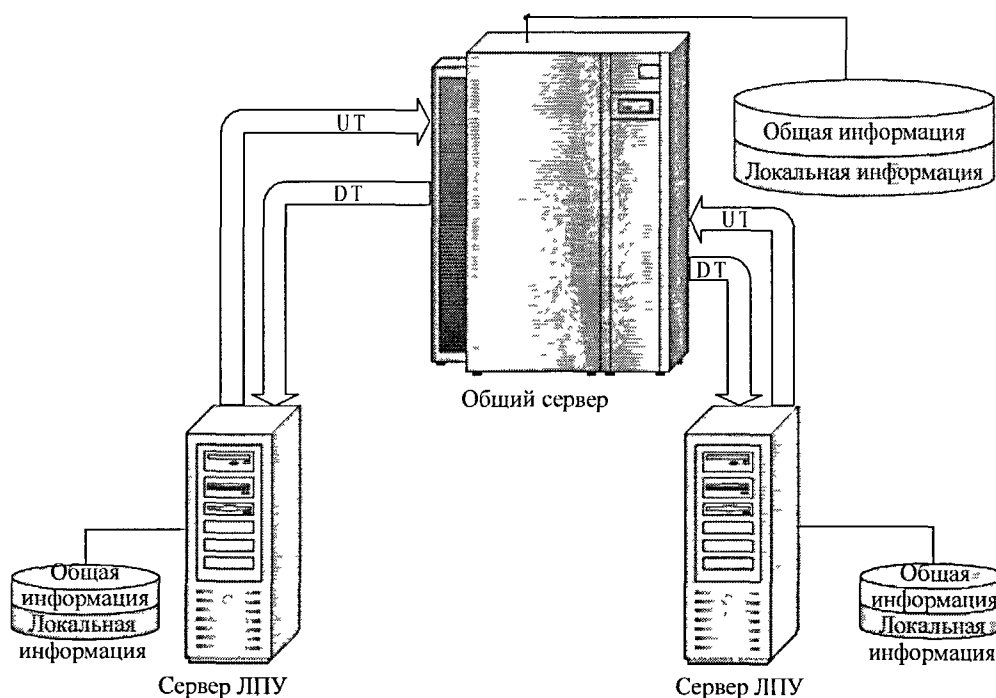


Рис.1. Реализация процедур *up transport* и *down transport* в ТМИС

Рассмотрим возможные стратегии реализации UT- и DT-операций. Необходимость выполнения UT-операций связана с обеспечением доступа всех звеньев ТМИС к актуальной информации. Существуют два основных метода выполнения UT-операций – по запросу и с упреждением. Первый метод предполагает пересылку информации между хранилищами только при возникновении соответствующего запроса и реализуется, как правило, в распределенных ИС, не имеющих центрального хранилища данных. Второй требует наличия в каждом узле ТМИС некоторого монитора, обеспечивающего выполнение UT-операций либо по заданному расписанию, либо при низкой загрузке сети.

Необходимость DT-операций менее очевидна, однако оценки для основных задач по обработке информации в МИС позволяют сделать вывод о том, что ТМИС будет устойчива только в случае решения большинства задач на локальном сервере. Для этого требуется скопировать актуальные для данного узла ТМИС данные из централизованного хранилища на локальный сервер (можно считать это PROXY технологией).

Для снижения вероятности проектных ошибок целесообразно провести анализ работоспособности предлагаемых решений. Такую оценку возможно получить, используя один из методов моделирования систем массового обслуживания. В качестве механизма представления модели целесообразно использовать расширенные сети Петри [3].

Модель ТМИС будем строить исходя из следующих взаимодействий, имеющих место в системе:

- заявка на обслуживание, адресованная на локальный сервер «своего» ЛПУ (Z_1);
- заявка на обслуживание, адресованная на локальный сервер «соседнего» ЛПУ (Z_2);
- заявка на обслуживание, адресованная на сервер ТМИС (Z_3);
- заявка от локального сервера ЛПУ на реализацию UT операций (Z_4);
- заявка от сервера ТМИС на реализацию DT-операций (Z_5).

Характеристики потоков заявок являются случайными величинами, для которых должны выполняться следующие соотношения:

$$P(Z_1) + P(Z_2) + P(Z_3) = 1; P(Z_4 + Z_5) = 0,$$

где $P(Z_i)$ – вероятность появления заявки.

Это означает, что потоки заявок (Z_1), (Z_2), (Z_3) образуют полное множество, а процедуры UT и DT одновременно не реализуются.

Модель ТМИС, разработанная с использованием расширенных сетей Петри, показана на рис.2.

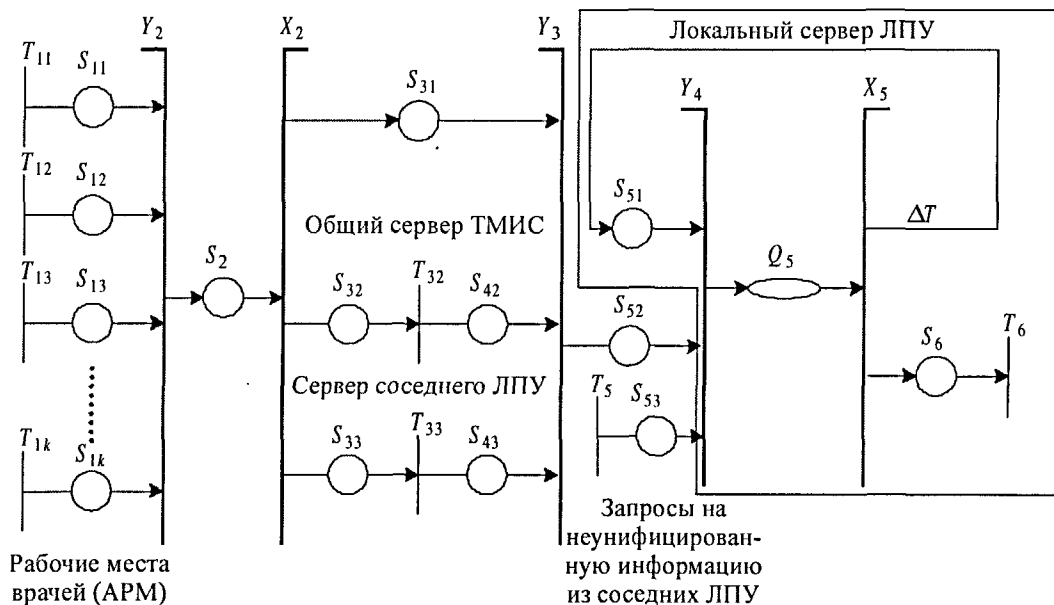


Рис.2. Общий вид модели ТМИС

В представленной модели:

- переходы T_{11}, \dots, T_{1k} представляют АРМ врачей, различаясь по времени срабатывания перехода и соответственно времени появления заявки в системе;
- на переходе Y_2 происходит сбор всех заявок, поступающих в систему от врачей ЛПУ;
- X_2 распределяет потоки заявок в зависимости от присвоенного им адреса;
- T_{32}, T_{33} – моделируют задержку, возникающую при обработке заявки на другом сервере;
- часть модели, состоящая из переходов Y_4, X_5, T_6 и очереди Q_5 , реализует работу локального сервера ЛПУ, обрабатывая несколько различных типов заявок.

Для примера приведем фрагмент листинга, описывающего структуру и поведение модели сервера:

```

SEGMENT SERV, TICK = MSEC;
ATTRIBUTES tid :real;
          sid :integer;
data a/0/: real;
NET T1: S1/S2;
TIME T1:
if %s1.sid = 3 then %a:= 1.0e+4 else
          %a:= 1.0e+3;
%DELAY := EXPON(2,%a );
SEGENO.

```

В таблице представлены численные характеристики, использованные при моделировании системы. Данные значения являются реальными и получены из ЛПУ Зеленоградского АО.

Характеристики моделируемой системы ТМИС

Параметр	Значение
Математическое ожидание интервала между поступлением заявок, имитирующих работу терапевта, мс	$1,2 \cdot 10^6$
Математическое ожидание интервала между поступлением заявок, имитирующих работу специалиста, мс	$1,8 \cdot 10^6$
Математическое ожидание интервала между поступлением заявок, имитирующих работу процедурного кабинета, мс	$3,0 \cdot 10^5$
Математическое ожидание интервала между поступлением заявок, имитирующих работу статистического кабинета, мс	$1,2 \cdot 10^5$
Математическое ожидание интервала между поступлением заявок, имитирующих работу лаборатории, мс	$3,6 \cdot 10^5$
Математическое ожидание интервала между поступлением заявок, имитирующих внешние запросы, мс	$0,7 \cdot 10^5$
Вероятность того, что заявка будет адресована на сервер соседнего ЛПУ	0,06
Вероятность того, что заявка будет адресована на сервер ТМИС	0,09
Время обработки заявки на сервере соседнего ЛПУ, мс	$1 \cdot 10^4$
Время обработки заявки на общем сервере ТМИС, мс	$1 \cdot 10^3$
Время обслуживания заявки, уже обработанной сервером ТМИС или сервером соседнего ЛПУ, на локальном сервере, мс	1
Время обслуживания заявки, порожденной при вводе данных о пациентах, находящихся дома, мс	$1 \cdot 10^3$
Математическое ожидание времени обработки местной заявки на локальном сервере, мс	$2 \cdot 10^3$
Время обработки запроса, пришедшего от соседнего ЛПУ, мс	$1 \cdot 10^4$
Квант времени, выделяемый сервером для обслуживания одной заявки, мс	10

В процессе моделирования информационных потоков, протекающих в поликлинике, в системе моделирования Winsim были получены результаты, представленные в виде гистограмм и соответствующих им табличных данных. Примеры гистограмм приведены на рис.3 и 4.

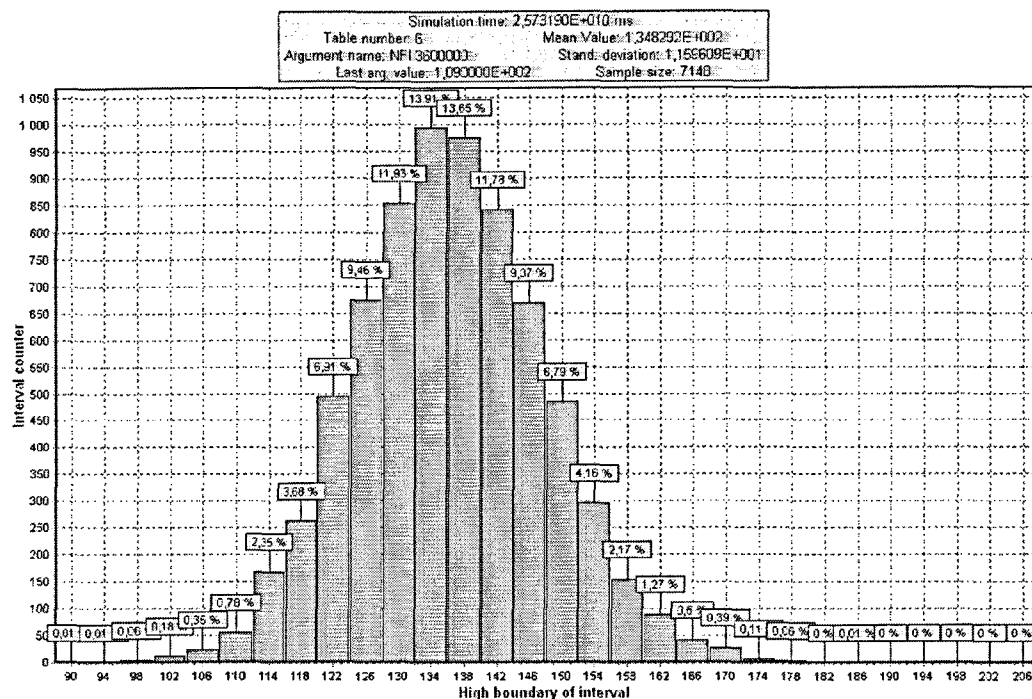


Рис.3. Интенсивность заявок, поступающих от всех АРМ в поликлинике

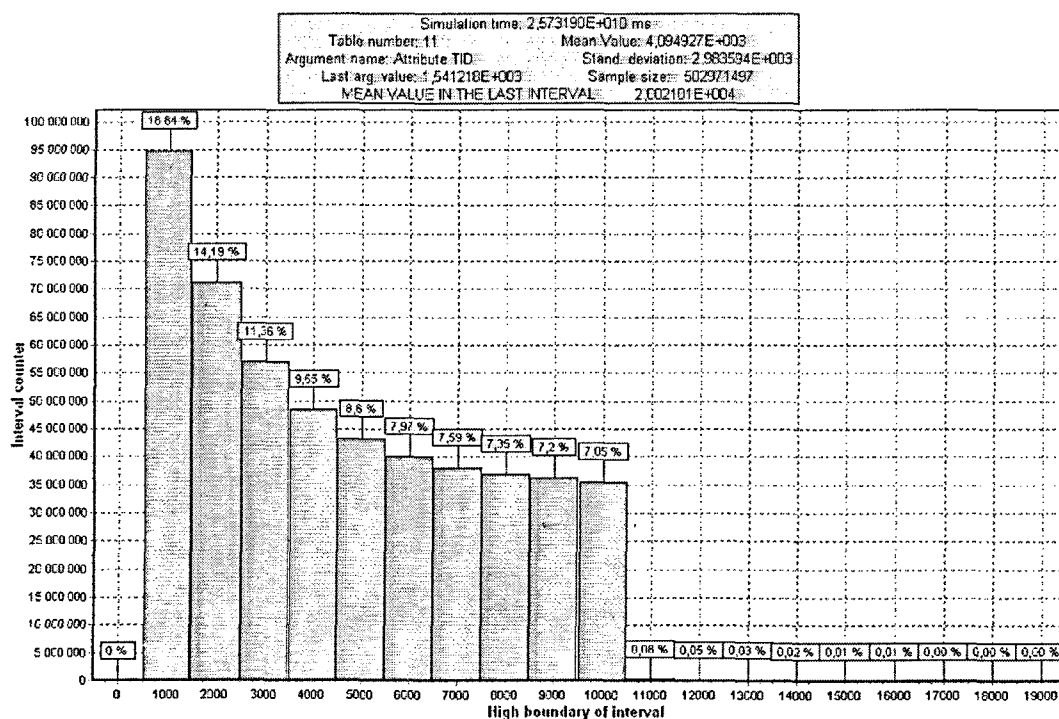


Рис.4. Распределение заявок по требуемому времени обслуживания

На рис.3 по оси *OX* отложена интенсивность (количество заявок в час) поступающих на переход, отвечающий за сбор всех заявок по ЛПУ, а по оси *OY* – число событий, соответствующих такой интенсивности.

На рис.4 показано распределение заявок по требуемому времени обслуживания на локальном сервере ЛПУ. По оси *OX* отложено время обслуживания заявки, по оси *OY* – количество заявок, удовлетворяющих этому времени.

Результаты моделирования соответствуют реальным статистическим данным, полученным из ЛПУ.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- модель корректна;
- модель адекватно отображает распределение информационных потоков ЛПУ;
- система устойчива, так как отсутствуют отказы в обслуживании;
- предложенное информационное ядро системы обеспечивает возможность интеграции СМИС врачей различного профиля;
- предлагаемый метод интеграции может быть практически реализован с использованием современных информационных технологий;
- интегрированная ТМИС позволяет обеспечить новые функции ИС, связанные с возможностью анализа обобщенной информации о пациенте.

Литература

1. Гусев А.В., Романов Ф.А., Дуданов И.П. Опыт разработки медицинской информационной системы // Медицинский академический журнал. Приложение 1. – 2001. – С. 18.
2. Кобринский Б.А. Принципы и организация компьютерного мониторинга здоровья детей как основы профилактики хронических заболеваний (генетически детерминированных и с наследственным предрасположением): Дисс. докт. мед. наук. – М., 1991. – 90 с.
3. Simulation System Winsim. Based on Extended Petri Nets. /User Manual/ Ver.2.0

Статья поступила
4 июля 2003 г.

Лупин Сергей Андреевич – кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники МИЭТ. *Область научных интересов:* информационные технологии.

Шерина Евгения Владимировна – аспирант кафедры вычислительной техники МИЭТ. *Область научных интересов:* информационные технологии.

Пономарева Наталья Юрьевна – окружной генетик, заведующая генетическим кабинетом г. Зеленограда. Аспирант МНИИПидХ. *Область научных интересов:* педиатрия, генетика.