

# Моделирование работы лечебного учреждения как системы массового обслуживания<sup>1</sup>

**Аннотация.** Рассматриваются принципы моделирования систем на основе языка GPSS и сетей Петри. Моделирование дает возможность контролировать работу медицинского учреждения, анализировать показатели работы различных подразделений и служб. Приводится пример работы лаборатории анализа биологических жидкостей как интеллектуального звена системы массового обслуживания.

**Ключевые слова:** моделирование, лечебное учреждение, технологический процесс, языки моделирования, системы массового обслуживания, показатели качества.

## Введение

Информационные технологии все чаще внедряются в медицину в виде систем анализа ситуации и поддержки принятия решений. Формализация описания лечебного процесса, представление средств анализа работы отдельных элементов в их взаимосвязи, фактически превращают традиционный лечебный процесс в медицинский технологический процесс (МТП). Достоинством МТП является возможность создания различных сценариев и их исследования с целью получения интересующей информации и оптимизации управления. В настоящее время появились медицинские информационные системы («Интерин» [1,2], МИАЦ [3] и др.), которые позволяют повысить качество обслуживания населения путем четкого управления документооборотом и потоками пациентов. Они выполняет следующие функции: управление потоками пациентов; управление клиникой; управление отделениями; администрирование.

Формализация и представление процессов обслуживания населения в виде информационных моделей позволяет обнаруживать недос-

татки. Как правило, лечебно-профилактические учреждения (ЛПУ) имеют существенные скрытые резервы по совершенствованию их структуры и организации лечебного процесса.

## 1. Задачи моделирования работы ЛПУ

Технологический процесс является оптимальным, если он обеспечивает экстремум целевой функции при выполнении системы ограничений, отражающих условия протекания МТП и требования, предъявляемые к нему. Для постановки задачи оптимизации необходимо сформировать математическую модель процесса обслуживания пациентов, которая должна включать в себя: критерии оптимальности МТП, целевую функцию, систему ограничений, входные, выходные и внутренние параметры, управляемые (варьируемые) параметры.

Процесс, оптимальный по одному критерию, может быть не оптимальным по другому. Например, максимум производительности ЛПУ может не соответствовать минимуму стоимости обслуживания. Поэтому при постановке задачи

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках программ фундаментальных исследований Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН: «Биоинформатика, информационные технологии в медицине» (проект «Развитие методов интеллектуального анализа данных и их применение в задачах синтеза персональных лечебно-диагностических процессов на основе прецедентной информации») и «Информационные технологии и методы анализа сложных систем» (проект 2.2 «Развитие методов интеллектуального управления на основе анализа потоков данных»).

проектирования оптимального МТП весьма важным является выбор критерия оптимальности. Основными критериями оптимизации являются: расходы на лечение, качество лечения, время (производительность) лечения, количество персонала и приборов, количество врачебных ошибок. В процессе построения математической модели необходимо определить метод решения задачи оптимизации. Различают два вида оптимизации МТП: структурную и параметрическую. Структурная оптимизация – определение оптимальной структуры МТП, включая технологический маршрут, состав применяемого оборудования, методы лечения и т.д. В основе решения задач структурной оптимизации заложен перебор конечного множества вариантов (синтез вариантов, анализ и оценка варианта, принятие решения). Поиск оптимального варианта методом перебора требует значительных затрат машинного времени. Поэтому на каждом шаге вводятся косвенные или эвристические, основанные на накопленном опыте проектирования, критерии. Руководствуясь ими, отбрасываются малоэффективные варианты. В итоге, на заключительном этапе анализируются лишь несколько наиболее рациональных вариантов, среди которых и выбирается оптимальный вариант. Параметрическая оптимизация МТП заключается в расчете оптимальных показателей составляющих качество лечения. Для решения параметрической задачи используют методы линейного и нелинейного программирования. Параметрическая оптимизация является наиболее сложной и, как правило, применяется достаточно редко. Возможны различные подходы к совершенствованию ЛПУ, основанные на теории расписаний, теории массового обслуживания, методах математического программирования. Могут привлекаться языки моделирования, такие как GPSS и сети Петри, которые, обладая мощными программными и выразительными средствами, автоматизируют исследования, существенно облегчая труд аналитика.

## 2. Имитационная модель медицинского учреждения в среде GPSS

Существуют самые разные постановки задач, например, построение допустимого варианта технологического процесса лечения или

процесса обеспечивающего решение задачи управления ресурсами. Ресурсами могут быть люди (врачи и другой персонал), оборудование или помещения, например, операционные. Модель информационного обеспечения управления ресурсами создается в целях повышения эффективности обслуживания потоков пациентов, нуждающихся в оказании консультативной и стационарной помощи в ЛПУ. Комплексное ЛПУ – это крупная организация, которая состоит из нескольких отдельных подразделений, таких как поликлиника, здравпункт, диагностический центр, стационар, реабилитационный центр (санаторий). Каждое подразделение состоит в свою очередь из нескольких более мелких подразделений. Для того чтобы достаточно эффективно анализировать работу такой организации, применяется имитационное моделирование. При моделировании не требуется вмешиваться в работу самой организации, после создания модели с ней можно проводить любые испытания и эксперименты. Для изучения работы ЛПУ в целях анализа его эффективности и последующей оптимизации могут быть использованы различные средства моделирования, среди которых выделяется язык GPSS (General Purpose Simulating System) [4]. С позиций возможностей этого языка медицинское учреждение рассматривают как систему массового обслуживания (СМО). Строится GPSS – модель технологического процесса ЛПУ или его подразделения, на основе которой получают информацию о загрузке отдельных участков, наличии очередей, средней длительности пребывания пациента в системе и другие важные данные. По результатам GPSS-отчета принимаются решения об оптимизации работы медицинского учреждения: ликвидация очередей, перераспределение потоков работ, улучшение режимов работы врачей.

Рассмотрим в качестве конкретного примера имитационную модель поликлиники с регистратурой и тремя кабинетами (хирурга, окулиста, терапевта) и стационара с тремя отделениями (хирургии, офтальмологии, терапии). Структура ЛПУ в виде схемы взаимодействия подразделений поликлиники и стационара приведена на Рис.1.

Поликлинику и стационар можно представить как совокупность одноканальных систем и многоканальных систем массового обслуживания



Рис. 1. Структура лечебного учреждения

ния с очередью. В поликлинике основным ресурсом является врач, в стационаре – койко-место. В GPSS- модели медицинского учреждения активный элемент (заявка, пациент) называется транзактом. Блок генерации заявок создает поток транзактов, имитирующий поток пациентов. Пациенты становятся в очередь к регистратуре, где они определенное время обслуживаются. После выхода из регистратуры пациенту назначается приоритет, соответствующий определенному заболеванию. После этого пациент направляется в один из трех кабинетов на прием. Из кабинета он направляется либо на выход из модели, либо в соответствующее отделение стационара. В стационаре пациент задерживается на определенное время, зависящее от типа заболевания. После обслуживания в стационаре он направляется на выход из модели. После прохождения через модель транзакт уничтожается, чтобы не занимать память. Упрощенная GPSS-модель медицинского учреждения представлена на Рис. 2.

На Рис.3 приведен пример фрагмента программы, моделирующей работу медицинского учреждения в соответствии с установленными входными потоками пациентов (GPSS-программа реализована инженером А.С. Наседкиным).

Моделирование предоставляет большие возможности для анализа и обыгрывания различных ситуаций путем изменения законов по-

ступления заявок в систему и величин задержек в блоках обслуживания. На Рис. 4 представлен пример фрагмента отчета.

Подробный анализ работы учреждения с помощью модели показывает места, где наблюдаются большие задержки в обслуживании пациентов, что удлиняет лечение и увеличивает его стоимость. Становятся очевидными пути оптимизации работы отделений и оборудования, повышения пропускной способности ЛПУ. Анализ деятельности ЛПУ учреждения позволяет добиться повышения качества медицинской помощи и улучшить экономическую ситуацию.

#### 4. Возможности использования сетей Петри для моделирования МТП

В качестве языка для описания МТП можно дополнительно использовать аппарат обыкновенных, цветных (раскрашенных) и временных сетей Петри [5]. Сети Петри - одно из самых выразительных средств моделирования параллельных, синхронных и асинхронных процессов, характерных, в том числе, и для работы ЛПУ. Аппарат сетей Петри является математическим аппаратом, который позволяет реализовывать имитационные модели подсистем, проводить дополнительный к GPSS-моделям

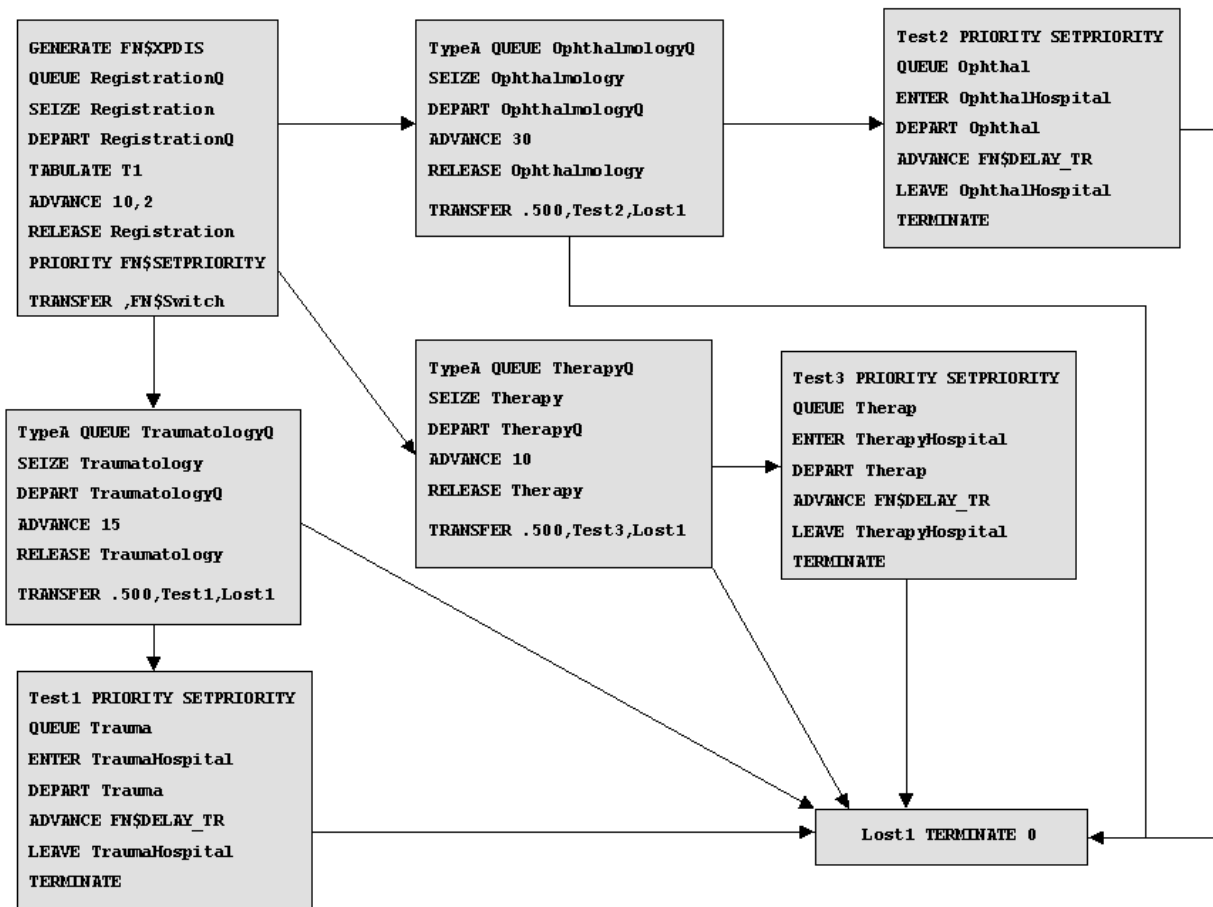


Рис. 2. Функциональная модель лечебного учреждения

анализ безопасности (ограниченности), живости, наличия тупиков, ловушек. Для этого имеется хорошо развитый аппарат алгебраического исследования сетей Петри. Можно отобразить МТП в сеть Петри и далее исследовать его в соответствующих симуляторах. Сети Петри отражают логическую последовательность событий, позволяют проследживать потоки информации, отрабатывают взаимодействие процессов. Следовательно, они являются удобным аппаратом для моделирования потоков пациентов и описания лечебного процесса. Их преимущество заключается в простоте восприятия человеком и понимания графических образов, в том числе динамических. Сеть Петри представляется графом, узлами которого служат позиции (обозначаемые кружочками) и переходы (обозначаемые черточками), связанные направленными дугами. Активный элемент – фишка определяет порядок функционирования сети. Пример сети Петри, моделирующей работу учреждения, обслуживающего поток заявок, показан на Рис.5 [6].

Можно проследить связь GPSS-моделей и сетей Петри. Позиции сети Петри моделируются операторами языка GPSS: SEIZE и RELEASE, описывающими процессы загрузки и освобождения устройства; оператором ADVANCE, реализующим задержку и операторами QUEUE и DEPART, имитирующими очередь. Работа перехода моделируется в общем случае тремя этапами: 1) проверка условия существования во входных позициях хотя бы по одной фишке и изъятие (сбор) фишек оператором ASSEMBLE или GATHER; 2) если это временная сеть Петри, то этап задержки срабатывания перехода реализуется оператором ADVANCE; 3) передача фишек в выходные позиции операторами TRANSFER.

Сети Петри позволяют рассмотреть и проанализировать внутреннюю структуру лечебного учреждения и промоделировать имеющиеся в нем МТП. Моделирование позволяет выполнить верификацию алгоритмов обработки потоков работ, выявить эффективность структурной организации ЛПУ. Язык GPSS имеет

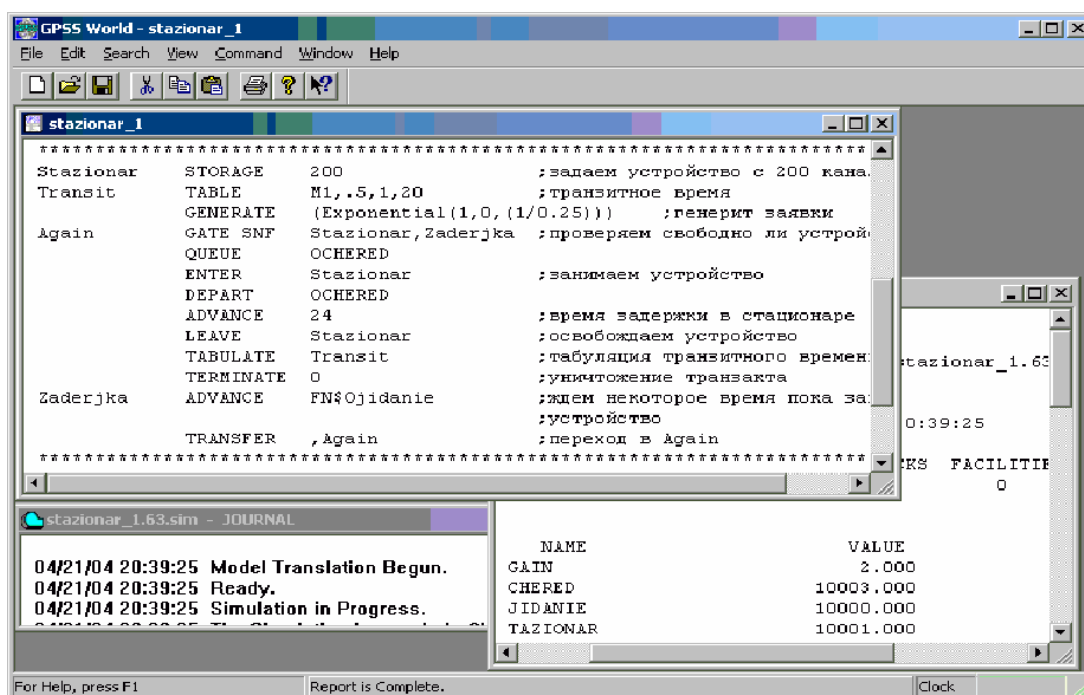


Рис. 3. Фрагмент GPSS -программы

The screenshot shows a GPSS report window titled 'Hospital.132.1 - REPORT'. The report contains the following data:

FACILITY	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
REGISTRATION	49	0.998	9.777	1	50	0	0	0	420
THERAPY	21	0.438	10.000	1	0	0	0	0	0
OPHTHALMOLOGY	16	0.954	28.614	1	43	0	0	0	5
TRAUMATOLOGY	6	0.188	15.000	1	0	0	0	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY(0)	AVE.CONT.	AVE.TIME	AVE.(-0)	RETRY
REGISTRATIONQ	420	420	469	1	207.073	211.929	212.382	0
THERAPYQ	1	0	21	15	0.024	0.553	1.937	0
THERAP	1	0	7	7	0.000	0.000	0.000	0
OPHTHALMOLOGYQ	6	5	21	2	2.540	58.055	64.166	0
TRAUMATOLOGYQ	1	0	6	6	0.000	0.000	0.000	0
TRAUMA	1	0	1	1	0.000	0.000	0.000	0
OPHTHAL	1	0	4	4	0.000	0.000	0.000	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE.C.	UTIL.	RETRY	DELAY
TRAUMAHOSPITAL	100	99	0	1	1	1	0.794	0.008	0	0
OPHTHALHOSPITAL	50	46	0	4	4	1	1.128	0.023	0	0
THERAPYHOSPITAL	30	23	0	7	7	1	3.418	0.114	0	0

TABLE	MEAN	STD.DEV.	RANGE	RETRY FREQUENCY	CUM.%
T_1	110.495	62.658		0	

Рис. 4. Пример GPSS -отчета

преимущества по части формирования отчетности, генерации и передачи транзактов, проверки логических ключей, отметки времени прохождения транзактов через блоки модели. В то же время GPSS не имеет средств визуализации работы системы и наглядного отображения ее структуры, какими обладает сеть Петри. Таким образом, при совместном использовании языка моделирования GPSS и сетей Петри можно более полно проанализировать работу такой сложной системы как ЛПУ.

## 5. Пример работы лаборатории анализа биологических жидкостей как интеллектуального звена системы массового обслуживания

Для успешного функционирования СМО населения все ее звенья должны быть оснащены специальными медицинскими аппаратами и аппаратно-программными комплексами, как это показано, на примере построения медицинского

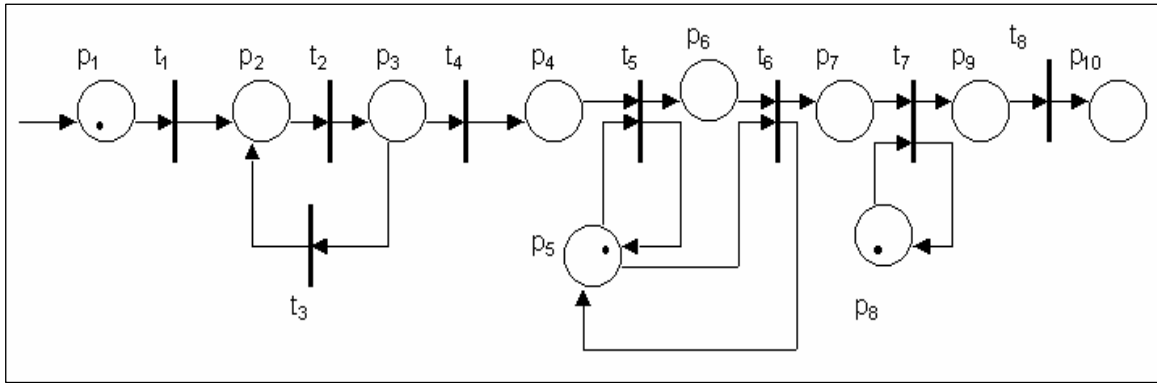


Рис.5. Пример модели учреждения

конвейера [7]. Желательно, чтобы каждое звено СМО было оснащено интеллектуальной системой поддержки принятия решений врача-исследователя.

Рассмотрим работу одного из подразделений ЛПУ, а именно лаборатории анализа биологических жидкостей Российского НИИ геронтологии Минздрава России. Морфология биологических жидкостей (мочи, крови, слюны) – новое научное направление, сформированное учеными этого учреждения [8]. В частности,

исследование морфологии мочи позволяет получать интегрированную информацию о состоянии органов мочевой системы. С развитием средств анализа изображений, методов искусственного интеллекта и распознавания образов появляется возможность автоматического анализа морфологической картины фаций мочи (высохших капель биологической жидкости) по интенсивности насыщения кристаллами солей, распределенных по областям фаций, форме и величине кристаллических образований.

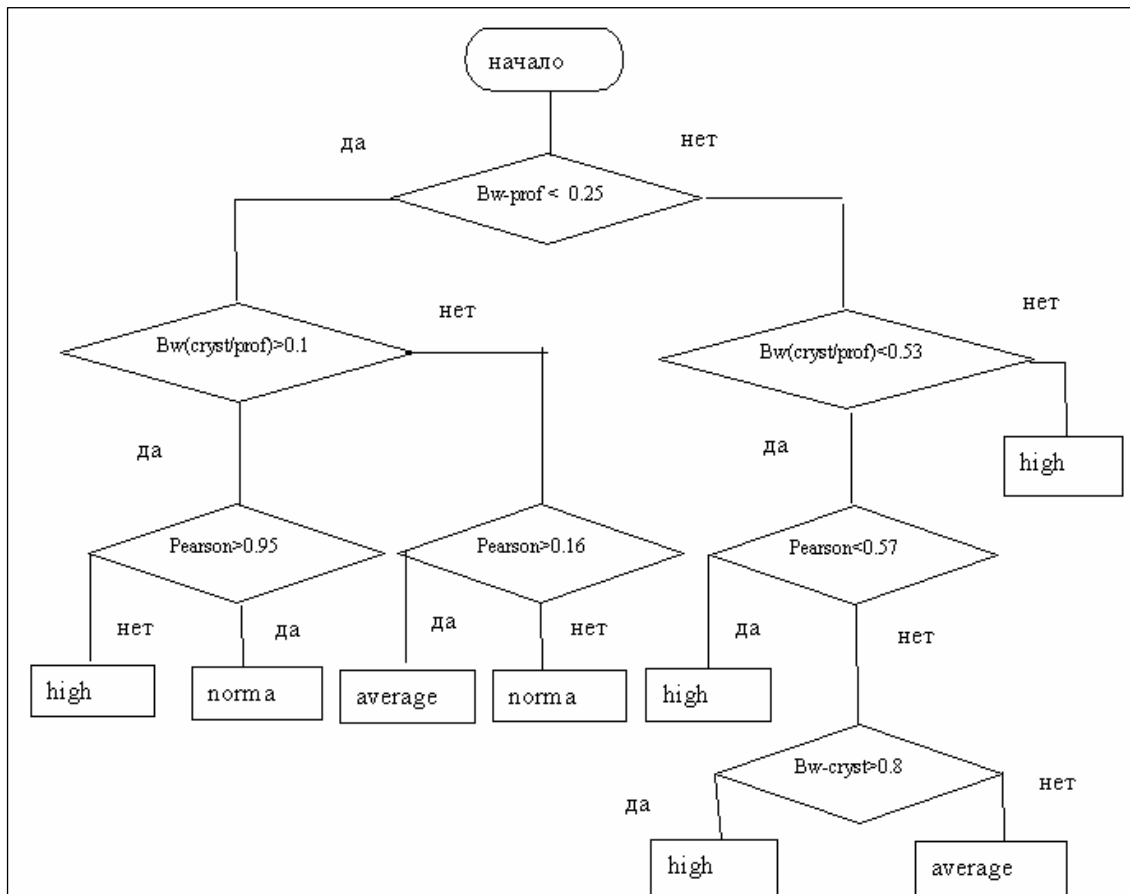


Рис. 6. Пример дерева решений

Предлагаемая технология позволяет автоматизировать наблюдения за изменениями в структурах фаций, организовать потоковую обработку образцов, а лабораторию представить в виде интеллектуального звена СМО. Назначение такого звена – классификация болезней и степени их тяжести по результатам анализа потока фаций.

Технология обработки содержит следующие этапы: прием биологической жидкости, получение ее фации – кристаллизованного образца, исследование образца под микроскопом и получение графического изображения (снимка) в поляризованном или обычном свете, подача снимка в графическом формате в сопряженный с микроскопом программно-аппаратный комплекс, классификация изображения интеллектуальной системой на основе базы прецедентов. Для построения автоматического диагноза используются следующие методы: предобработка снимков, выделение информативных параметров; построение продукционных правил, деревьев решений или других инструментов, например, искусственных нейронных сетей, прошедших этап обучения.

Пример построения дерева решений (по методу CART) применительно к анализу степени тяжести мочекаменной болезни (high, average, normal) показан на Рис. 6.

Для работы алгоритма используют информативные параметры, полученные в результате специальной глубокой обработки снимков фаций [9]. Диагноз отображается в буквенно-цифровом виде, как это показано на Рис.7, в области *E* графического интерфейса (разработан в Институте программных систем имени А.К. Айламазяна РАН).

Качество и скорость обслуживания являются составляющими элементами автоматизированного звена медицинской СМО, помогающей врачу-исследователю в принятии решений.

В ходе испытаний прототипа интеллектуальной системы было продемонстрировано приемлемое качество распознавания стадий мочекаменной болезни. Нераспознанные фации обрабатываются врачом – экспертом путем визуального рассмотрения снимков.

## Заключение

Обеспечение информационной поддержки деятельности ЛПУ целесообразно с использо-

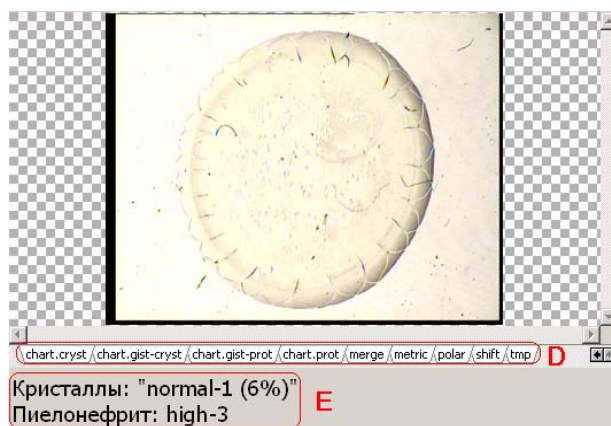


Рис. 7. Визуализация результатов обработки фации

ванием аппарата языка GPSS и сетей Петри, обеспечивающих моделирование структурной организации и потоков информации. Рассмотрение ЛПУ как СМО позволяет оценивать ситуацию и управлять потоками пациентов, находить узкие места и ограничивать нагрузку на отдельные подразделения, в случае создания очередей. Моделирование обеспечивает руководителей сводной и детальной информацией, дает возможность контролировать работу различных подразделений и служб, анализировать динамику изменений ключевых показателей работы медицинского учреждения. Одним из способов повышения эффективности деятельности лечебных учреждений является внедрение систем интеллектуального анализа данных в каждом звене СМО для распознавания ситуации и поддержки принятия решений.

## Литература

1. Информационные технологии поддержки лечебно-диагностического процесса. – <http://brain.botik.ru/pls/interin/docs/INTERIN/advanta.htm>
2. Пресс-релиз Интерин PROMIS 3.5. – <http://www.interin.ru/page-id-321.html>
3. Программные продукты МИАЦ – <http://www.mcramn.ru/products.aspx>
4. Бычков С.П. Храмов А.А. Разработка моделей в системе моделирования GPSS. Учебное пособие. М.: МИФИ, 1997. – 32с.
5. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
6. Хачумов М.А., Хачумов С.В. Моделирование работы информационного портала сетями Петри. – Научное обозрение, № 2, 2006, с.103-110.
7. Хачумов В.М. Модели конвейерного медицинского технологического процесса. – Искусственный интеллект и принятие решений №3, 2009, с.25-32.
8. Шабалин В.Н., Шатохина С.Н. Морфология биологических жидкостей человека. – М.: Хризостом, 2001. – 304 с.

9. Мажуга В.В., Хачумов В.М. Контроль и диагностика технических и биологических систем на основе метода группового учета аргументов. – Искусственный интеллект и принятие решений № 4, 2009, с.80-87.

**Хачумов Вячеслав Михайлович.** Главный научный сотрудник Института системного анализа РАН. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт в 1971 году. Доктор технических наук, профессор. Автор 130 печатных работ, в том числе 2-х монографий. Область научных интересов: искусственный интеллект, распознавание образов, параллельные вычисления. E-mail: [vmh48@mail.ru](mailto:vmh48@mail.ru), [vmh@isa.ru](mailto:vmh@isa.ru).

**Погодин Сергей Владимирович.** Аспирант Института программных систем им. А.К. Айламазяна. Окончил Университет им. А.К. Айламазяна г. Переславля в 2007 году. Автор 3 печатных работ. Область научных интересов: искусственный интеллект, распознавание образов, параллельные вычисления. E-mail: [sodzo@pereslavl.ru](mailto:sodzo@pereslavl.ru).