



В.Л. МАЛЫХ,

к.т.н., зам. руководителя Исследовательского центра медицинской информатики Института программных систем им. А.К. Айламазяна РАН, г. Переславль-Залесский, Россия, mvl@interin.ru

Я.И. ГУЛИЕВ,

к.т.н., руководитель Исследовательского центра медицинской информатики Института программных систем им. А.К. Айламазяна РАН, г. Переславль-Залесский, Россия, viit@yag.botik.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛЕЧЕБНО- ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА В КЛАССЕ УПРАВЛЯЕМЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ПАМЯТЬЮ

УДК 61:00, УДК 519.711.3

Малых В.Л., Гулиев Я.И. Моделирование лечебно-диагностического процесса в классе управляемых стохастических процессов с памятью (Институт программных систем им. А.К.Айламазяна РАН, г. Переславль-Залесский, Россия)

Аннотация: Статья посвящена проблеме математического моделирования лечебно-диагностического процесса. Предложен подход к построению модели процесса в классе управляемых стохастических процессов с памятью. Концептуальная основа модели имеет ясную содержательную интерпретацию для специалистов-медиков.

Ключевые слова: математическая модель, лечебно-диагностический процесс, медицинские информационные системы, управляемый процесс с памятью, стохастический процесс, прецеденты, Марковская модель

UDC 61:007, UDC 519.711.3

Malykh V.L., Guliev Y.I. Modeling of medical-diagnostic process in a class of controlled stochastic processes with memory (Ailamazyan Program Systems Institute of the RAS, Pereslavl-Zalessky, Russia)

Abstract: the Article is devoted to problem of mathematical modeling of medical-diagnostic process. An approach is proposed to build a model of the class of controlled stochastic processes with memory. Conceptual framework of the model has a clear meaningful interpretation of the medical specialists.

Keywords: mathematical model, the medical-diagnostic process, medical information systems, controlled process with memory, stochastic process, precedents, Markov model

Введение

В Институте программных систем им. А.К. Айламазяна РАН разработан концептуально новый подход к математическому моделированию лечебно-диагностического процесса (ЛДП). В настоящей статье излагается «философия» подхода. Математические аспекты подхода детально не рассматриваются, так как в ближайшее время должна выйти из печати статья, в которой эти аспекты будут отражены.

Проблема построения математической модели лечебного процесса не нова, достаточно привести выполненные по этой теме работы отечественных авторитетных авторов с указанной в них библиографией [2,7]. Но в силу своей сложности проблему нельзя считать решенной, и перед исследователями все еще стоят задачи разработки новых подходов к моделированию ЛДП.



Используемые врачами в практике протоколы лечения, как правило, не формализованы и по форме являются свободно написанными текстами. Практическую медицину вполне могут удовлетворить руководства, написанные в свободном формате. Но информационная система требует четкой формализации как самих лечебно-диагностических процессов, так и технологических карт — руководств по ведению процессов. Работы в этом направлении ведутся во всем мире, но нельзя сказать, что они привели к построению общепринятых формализаций лечебно-диагностических процессов. Достаточно указать на наличие различных стандартов обмена медицинской информацией, на различные подходы к формализации медицинских документов, отражающих лечебно-диагностические процессы. Актуальность построения эффективных, практически используемых, математических и информационных моделей лечебно-диагностических процессов и технологических карт очевидна.

Современная прикладная наука накопила целый арсенал методов, предназначенных для обработки экспериментальных данных, построения моделей динамических объектов (процессов), описываемых в общем случае нелинейными нестационарными многомерными временными рядами, методов для оценки состояния таких динамических объектов и прогнозирования их поведения. Согласно обзору из монографии [5], для построения динамических моделей и идентификации параметров моделей динамических объектов, анализа временных рядов, выявления закономерностей и прогнозирования применяются статистические, вероятностные, логические, нечеткие и нейросетевые методы, методы нелинейной динамики и эвристические. Несмотря на обилие подходов и методов, мы все еще продолжаем испытывать огромные трудности при формализации и построении модели ЛДП. В первую очередь для автоматизации процесса построения стандарта

лечения нас будут интересовать события ЛДП, инициированные врачами. Фактически эти события можно рассматривать либо как управление динамическим объектом, управление здоровьем пациента, либо как наблюдение за состоянием объекта. И вектор управления (лечебно-диагностические мероприятия), и вектор наблюдаемых характеристик состояния объекта (медицинские симптомы и показатели) имеют очень большую размерность, что создает барьер на пути к формализации и построению динамической модели ЛДП на основе опытных данных.

Статистический подход к ЛДП породил стандарты медицинской помощи и медико-экономические стандарты, в которых указываются средняя частота появления лечебных и диагностических событий ЛДП, средняя длительность процесса. При этом из этих стандартов практически исчезает темпоральное развертывание процесса, что, конечно же, обедняет стандарты. Разрабатываются и более сложные процессные логические модели ЛДП [2], разбивающие процесс на отдельные этапы, с описанием логики развития процесса, логики перехода между состояниями процесса. При детерминированном подходе модельный ЛДП ведет себя полностью детерминированно и определяется начальным состоянием и «управлением» (лечебно-диагностическими мероприятиями), что противоречит общему убеждению о присущей лечебным процессам вариабельности и выраженной вероятностной природе. Вряд ли найдутся желающие оспаривать тот факт, что человеческий организм как систему следует относить к сложным системам, и, согласно классификации систем Р. Эшби, сложные системы и протекающие в них процессы должны иметь стохастическую природу. Итак, одно из принятых нами концептуальных требований к построению модели ЛДП состояло в разработке именно стохастической модели, адекватной природе моделируемых процессов.





Другое концептуальное требование к построению модели ЛДП состояло в рассмотрении процесса как управляемого процесса с управлением, основанным на прецедентах. То, что медики предпринимают активные действия, направленные на достижение определенных целей в отношении здоровья людей, очевидно. Общепринято активные целенаправленные действия называть управлением. Но крайне важно отметить прецедентный характер «управления» в медицине. Медицине свойственен консервативный характер принятия решений, активные действия (управление) зачастую выбираются на основе уже известных прецедентов, доказавших свою эффективность в статистическом смысле (доказательная медицина), при этом также учитывается история процесса. Схожесть и повторяемость ситуаций приводят к схожести и повторяемости управления в этих ситуациях. Прецеденты становятся носителями знаний о том, как следует поступить, как поступали ранее, в данной ситуации. Насколько нам доступно это знание? Современный этап развития медицины характеризуется активной информатизацией и автоматизацией. Возник новый класс информационных систем — медицинские информационные системы (МИС). Эти информационные системы содержат информацию о миллионах клинических случаев, являются носителями знаний. С информационной точки зрения, в настоящее время сложились все условия для того, чтобы эти знания были извлечены из МИС и формализованы в виде моделей ЛДП. О высокой эффективности и практическом применении прецедентного подхода в медицинских информационных системах дополнительно см. работу [4]. Итак, второе из принятых нами концептуальных требований к построению модели ЛДП состояло в прецедентном характере управления процессом.

Третье концептуальное требование к построению модели ЛДП заключалось в необходимости обобщения (генерализации)

описания состояний ЛДП. При этом предполагалось «стереть случайные черты», обобщая описание состояния, но при этом одновременно сохранить стохастический характер процесса. Это утверждение звучит несколько противоречиво, но при дальнейшем чтении работы станет ясно, что имелось в виду.

Для построения модели ЛДП применяется методология теории управления. Имеется собственное движение (динамика, жизнь объекта), имеется внешнее активное воздействие на объект со стороны медиков, которое в определенном смысле можно считать управлением объектом. Используются общие понятия из теории управления и теории динамических систем: состояние, пространство состояний, переходы между состояниями, дискретный управляемый процесс, Марковский процесс и т.п. Использование этой терминологии оправдано, в этих терминах строится модель. Напомним, что основополагающая классическая работа Норберта Винера называлась «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине», и в содержании, и в самом названии работы уже подчеркивалась возможность применения теории управления к изучению и моделированию живых организмов. Для упрощения понимания подхода нами далее выбран повествовательный стиль изложения.

Математическая модель

«...вид математической модели, ее логическая конструкция определяются теми природными соотношениями (отношениями), которые требуется изучить» [6., С. 181].

Математическая модель управляемого процесса должна связать между собой динамику состояния объекта управления и управление. Формально можно считать, что врач на каждом шаге ЛДП выбирает в качестве управления некоторое подмножество элементов ЛДП (диагностические исследования, лабораторные тесты, назначения лекарственных



ных средств и т.п.), и выбор врача осуществляется на основании накопленных медицинской знаний о том, как надо лечить данное заболевание, на основании собственного опыта врача. Не все подмножества из элементов ЛДП рассматриваются врачом в качестве кандидатов на управление в данной ситуации, но лишь те из них, которые применялись в схожих ситуациях в прошлом, которые доказали свою клиническую эффективность. Управление носит ярко выраженный прецедентный характер, и поэтому задача управления имеет особенность, отличающую ее от классической постановки задачи управления. Стохастический характер процесса проявится позже. Появление новых ранее не наблюдавшихся ситуаций — это эксперимент, это возникновение нового прецедента, нового знания, обогащающего медицину и личный опыт врача. Именно поэтому медицина является экспериментальной наукой.

Дискретность процесса. Для ЛДП характерно пошаговое развитие. С каждым шагом процесса можно связать определенную временную длительность. Процесс может члениться на регулярные шаги, например, для стационарного пациента характерны шаги длительностью в одни сутки. Врач раз в сутки в стационаре осматривает пациента и принимает решение о необходимых в данной ситуации лечебно-диагностических мероприятиях. В случае тяжелого состояния пациента частота наблюдения пациента врачом увеличивается, в палатах интенсивной терапии ведутся карты интенсивной терапии, в которых ЛДП фиксируется с шагом в 30–60 минут. Для амбулаторного лечения может быть характерен свой ритм ЛДП, например, периодическое диспансерное наблюдение с большим временным шагом. В любом случае, не нарушая общности рассмотрения, мы будем рассматривать ЛДП как дискретный процесс.

Управляемый процесс с памятью. Управление в текущей ситуации будет определяться не только текущим состоянием, но и

состояниями и управлением на более ранних шагах ЛДП. Это вытекает из самого характера лечебного процесса. Врач, принимая решение о необходимых в данной ситуации лечебно-диагностических мероприятиях, безусловно, принимает во внимание историю процесса, учитывает уже оказанные на пациента воздействия. Если мы строим текущее управление на основе знания состояния и управления на предыдущих шагах процесса, то это управляемый процесс с памятью.

Интегральные характеристики управления. Выше уже было отмечено, что формирование управления сводится к выбору некоторого подмножества из множества возможных лечебно-диагностических действий. Мы предполагаем, что с каждым лечебно-диагностическим элементом можно сопоставить некоторую интегральную характеристику применения этого элемента в ЛДП. Например, для лекарственного средства такой характеристикой будет суммарная принятая пациентом доза, для лучевой терапии — суммарная доза облучения, интегральной характеристикой часто может быть кратность применения данного элемента, например, число проведенных электрокардиографических исследований. Итак, с нашей точки зрения, управление — это конечная последовательность элементов управления с их интегральными характеристиками.

Время как управление. Как известно, время лечит. Время, безусловно, является важнейшим лечебным фактором с интегральным характером воздействия. Поэтому время также включается в модель, именно как управление, в своей интегральной характеристике, хотя мы и не можем им явно управлять. Это как бы управление, заданное нам самой природой. Под интегральной характеристикой времени в лечебном процессе можно понимать временную длительность, например: число дней, прошедших с начала госпитализации, число дней, прошедших с момента заболевания, и т.п. Отметим, что введение



временной длительности позволяет рассчитывать временную интенсивность управления для произвольного множества последовательных шагов процесса путем нормирования разности интегральных характеристик управления на временную длительность данной последовательности шагов процесса.

Тонким содержательным моментом в наших рассуждениях является то, что для принятия решения в текущей ситуации управления нам дается в своих интегральных характеристиках, учитывающих историю процесса, а состояние дается только текущее. Теперь необходимо уточнить наше понимание состояния. Не надо понимать текущее состояние процесса только как некий мгновенный снимок состояния пациента: температура, пульс, давление и т.п. В характеристики состояния попадают и события из прошлого (анамнез болезни, анамнез жизни, семейный анамнез и т.п.). Следовательно, состояние может характеризоваться не только настоящим пациента, но и его прошлым. Раздел между состоянием и управлением проходит не по качествам: «прошлого не помню» — «прошлое помню», а по характеру «учета» в модели изменений характеристик. Переменные характеристики состояния просто изменяются, отражая текущее значение, а характеристики управления накапливают суммы (интегралы) интенсивностей управления на каждом шаге процесса. Фактически речь идет о постулате, на котором строится модель, и который должен быть подтвержден в дальнейшем в ходе моделирования реальных ЛДП и оценки полученных результатов врачами-экспертами. Врачи должны подтвердить, что такое представление ЛДП не теряет ничего существенного и может быть использовано в практике лечения.

Кластеризация состояний. Перейдем от рассмотрения отдельного процесса к рассмотрению ансамбля процессов. Сразу же отметим, что в рамках каждого ансамбля процессы связаны между собой одной нозо-

логией, одним заболеванием. Именно эта связь и позволяет надеяться на то, что как состояния, так и управления в отдельных процессах будут схожи между собой. Решение диагностической задачи, дифференциальная диагностика в работе не рассматриваются. Расширим пространство состояний, включив в него управление в своих интегральных характеристиках.

Начнем с условного примера. Пусть мы имеем две реализации ЛДП с диагнозом «ОРЗ». Характеристики текущего состояния первого пациента: возраст 39 лет, температура 38,5°C. Характеристики текущего состояния второго пациента: возраст 45 лет, температура 38,7°C. Пусть, с точки зрения врача, назначающего лечение, различие в значениях двух приведенных характеристик несущественное, и в обоих случаях может быть назначено одно и то же лечение. Объединение этих двух состояний в одно состояние упростит модель и позволит нам считать, что оба процесса находятся в одной ситуации. Для объединения этих состояний мы должны сделать формальный вывод, что, с точки зрения данного лечебного процесса, возраст 39 лет «равен», а точнее, в некотором смысле эквивалентен возрасту 45 лет, а температура 38,5°C эквивалентна температуре 38,7°C. И тогда характеристики объединенного состояния можно записать в виде: возраст — «больше или равен 18 годам», температура — [37°C, 39°C] (вот и появились ранговые характеристики, о которых мы говорили выше) или возраст — «взрослый», температура — «повышенная».

Переходя к более формальным математическим утверждениям, мы говорим о том, что на множестве значений каждой характеристики в рамках данной нозологии можно ввести отношение эквивалентности, которое разобьет множество значений характеристики на классы эквивалентности. Указанные выше в кавычках значения и есть названия соответствующих классов эквивалентности. Почему



мы подчеркнули, что отношение эквивалентности вводится именно в рамках данной нозологии, что отношение эквивалентности на характеристике не инвариантно относительно нозологии? Дело в том, что различия в характеристиках, не существенные для одного заболевания, могут оказаться существенными для другого заболевания. В качестве примера приведем цитату из протокола диагностической игры, проводимой математиком (М), врачом-экспертом (Э) и врачом (В) [7., С. 65]. «М. Вам предстоит по клиническим данным узнать, какой менингит у больного... Э. Возраст больного? В. 7 месяцев. Э. Течение болезни во многом определяется возрастом. Еще важно знать время года... М. Скажите, если бы больному было шесть месяцев, а не семь, это было бы для Вас существенно? Э. Нет. М. А пять? Э. Нет. М. Четыре месяца? Э. В определенной степени. М. Три? Э. Безусловно. М. Какие есть у Вас возрастные периоды (они могут перекрываться)? Э. Новорожденные, 1-я неделя, 1–2 месяца, от 2 до 5–6 месяцев, от 5–6 месяцев до года. М. Понятно... Заметим, что ответ врача на прямой вопрос о возрастных периодах в некоторой степени противоречит его предыдущим ответам... Возможно, существуют различные критерии возрастной периодизации». Очевидно, что возрастная периодизация (отношение эквивалентности, заданное на возрасте), предложенная врачом-экспертом для менингита, может не подойти для другого заболевания. Это серьезно осложняет моделирование и требует определения отношений эквивалентности для каждого заболевания в отдельности. Такова уж сложность предметной области — медицины, и с этим ничего не поделаешь. Но использование в модели отношений эквивалентности чрезвычайно желательно. Во-первых, мы уверены, что врач использует такие отношения в своей лечебно-диагностической деятельности (см. пример). Во-вторых, введение отношений эквивалентности на характеристиках состояния позволя-

ет упростить модель ЛДП, перейти к классам эквивалентности. В-третьих, введение отношений эквивалентности позволяет построить метрику в пространстве состояний, что позволит находить состояния, близкие к данному состоянию, и использовать прецеденты управления в состояниях, близких к данному.

Добавим еще несколько слов об информационной природе характеристик состояния. Характеристики могут иметь как достаточно простой тип: перечислимый тип, размерная числовая физическая величина, интервал физических величин (ранг) и т.п., так и сложный, например: график, диагностическое изображение. На сложных типах непосредственно трудно задавать отношения эквивалентности, хотя современные информационные технологии позволяют распознавать на изображениях различные образы, и в каких-то случаях вопрос об эквивалентности диагностических изображений можно свести к задаче распознавания заданных образов. Будем считать, что сложные типы данных подверглись анализу и интерпретации врачом-экспертом, и тем самым мы перешли к вторичным производным характеристикам, имеющим простые типы, для которых несложно ввести отношения эквивалентности.

Свертка процесса в пространстве состояний. У нас есть две возможности упростить модельное представление ЛДП в пространстве состояний. Первая возможность связана с тем, что мы рассматриваем процесс в контексте определенной нозологии. Это означает, что диагноз уже поставлен и фактически диагностическая задача считается решенной a priori. Возможно, что часть характеристик состояния, которые наблюдались в ходе ЛДП в связи с решением диагностической задачи, можно будет опустить (свернуть) без потери качества управления. Вопрос к врачу о возможности такой свертки звучит так: Когда диагноз уже поставлен, за какими характеристиками состояния пациента можно перестать следить и при этом не опа-





саться потерять в качестве ЛДП? Если ответ для какой-то части характеристик состояния будет положительным, то эти характеристики можно будет в модели просто опустить. Вторая возможность свертки связана с введением отношений эквивалентности на характеристиках состояния и соответственно с переходом к рассмотрению классов эквивалентных состояний.

Отношения эквивалентности на характеристиках. Введение отношения эквивалентности состояний позволяет разбивать состояния для рассматриваемого ансамбля ЛДП на классы эквивалентности. Заменяя состояния ансамбля ЛДП классами эквивалентности, мы упрощаем модель для данного ансамбля и получаем в модели новое качество. Теперь вместо множества отдельных, не связанных или слабо связанных в общем случае реализаций ЛДП мы можем получить сеть связанных, разделяющих одни и те же эквивалентные состояния реализаций! Собственно здесь и должна проявиться та самая ожидаемая из общепhilosophических соображений [4, 6], общность ЛДП для данной нозологии. Заметим, что теперь мы можем и должны! (при адекватной кластеризации состояний) столкнуться с тем, что в один класс мы можем попадать из других различных классов состояний и переходить из данного класса состояний в другие различные классы состояний даже при условии одного и того же управления. Таким образом, ансамбль реализаций ЛДП после кластеризации состояний начинает моделироваться *случайным* дискретным Марковским процессом.

Марковский процесс в расширенном пространстве состояний. Итак, после введения отношений эквивалентности на характеристиках в расширенном пространстве состояний лечебно-диагностический процесс моделируется дискретным Марковским процессом. На основании экспериментальных данных мы можем дать оценку вероятностям перехода процесса между классами эквива-

лентных состояний. Для каждого перехода мы можем в модели указать, какие управления вызвали этот переход, указать относительную частоту (оценку вероятности) выбора управления для данного перехода. Для каждого состояния можно также указать все известные модели, прецеденты управлений в этом состоянии с оценкой вероятности выбора каждого управления. Марковская модель сразу же открывает перед нами возможности расчета различных статистик ЛДП: вероятности различных исходов процесса, средняя длительность процесса, распределение интегральных характеристик лечебно-диагностических мероприятий (управления). Врач получает возможность, пользуясь данной моделью ЛДП, знать все прецеденты управления для данной ситуации, знать частоту применения в прошлом различных управлений в данной ситуации, прогнозировать дальнейшее поведение процесса для каждого прецедента управления. В рамках модели можно сформировать желаемую, с медицинской точки зрения, траекторию процесса, для каждого состояния определить желаемые переходы в следующие состояния, определить в каждом состоянии прецеденты управлений, для которых желаемые переходы будут иметь наибольшую вероятность. Модель становится для врача путеводителем по прецедентам лечения данной нозологии, становится своеобразным клиническим руководством по лечению данной нозологии, основанному на реальных фактах, на реальных реализациях ЛДП.

Технологическая карта лечебно-диагностического процесса. Технологическая карта по данной нозологии должна описывать «правильные», эталонные ЛДП. При этом вопрос о форме представления и содержании технологических карт все еще дискутируется. Предложенная нами Марковская модель ЛДП сразу же дает свой ответ на этот вопрос. Технологическая карта должна отражать ЛДП в расширенном кластеризованном пространстве состояний с указанием вероят-



ностных характеристик переходов между состояниями, с указанием объема лечебно-диагностических мероприятий, оказанных при переходе из состояния в состояние. Чтобы построить такую «идеальную» эталонную карту, нам надо будет отобрать в ансамбль только те реализации ЛДП, в которых отсутствуют отклонения от технологии лечения или же эти отклонения элиминированы из реализаций. Но что делать, если были допущены ошибки, если процесс пошел не так, как того требует технологическая карта, выражаясь образно, что делать с падающей Пизанской башней, если руководства по строительству учат строить только вертикальные башни и не знают, что делать с падающими? Ценность предлагаемой модели ЛДП, построенной по всем реализациям ЛДП для данной нозологии, в том, что эта модель знает и о допущенных в прошлом ошибках и о том, как эти ошибки исправлялись. Технологическая карта, построенная по полному ансамблю процессов, должна определять желаемые с медицинской точки зрения траектории процессов, но не забывать и «ошибочные». И если произошло нежелательное отклонение ЛДП, то можно не только указать врачу на ошибку, но и подсказать, как выйти из ситуации. Технологическая карта, отражающая всю полноту накопленных знаний, в том числе и знаний об ошибках! Возможно, такая точка зрения покажется медикам достаточно неожиданной и новой. В наших рассуждениях мы уже зашли на территорию практической медицины и должны признать, что верность наших тезисов должны все-таки подтвердить врачи-практики, врачи-эксперты.

Самообучение модели лечебно-диагностического процесса. Привлекательной особенностью предложенной модели ЛДП является возможность самообучения модели. При появлении нового клинического случая, новой реализации ЛДП по данной нозологии, можно включить эту реализацию в ансамбль процессов и актуализировать

модель с учетом появления новой реализации. При этом могут появиться новые классы состояний, состояний, ранее не наблюдаемых, и будут «уточнены» вероятностные характеристики модели, то есть произойдет обучение и усвоение моделью знаний, принесенных новой реализацией ЛДП. Таким образом модель сможет реагировать на изменения в технологии ЛДП, на появление в арсенале врача новых способов лечения и диагностики. В случае радикального пересмотра технологии лечения можно начать построение модели заново, начав обучение «с нуля».

Экономика лечебно-диагностического процесса. Экономика ЛДП в наше время занимает место столь же важное, как и медицинская технология ЛДП, если не сказать большее, что экономика начинает во многом определять и лимитировать объем лечебно-диагностических мероприятий. Не вдаваясь в оценку этого факта, отметим, что Марковская модель процесса позволяет не только моделировать процесс с медицинской точки зрения, но и рассчитывать различные экономические показатели процесса, включая ожидаемую себестоимость данного клинического случая, ожидаемую стоимость ЛДП для платных пациентов и т.п. Собственно здесь мы начинаем пересекаться с медико-экономическими стандартами (МЭС), которые также построены на основании статистического анализа множества клинических случаев. Экономическая составляющая ЛДП не является целью данной статьи, поэтому мы не будем углубляться в эту тему, наметив только лишь потенциальные экономические возможности предложенной модели ЛДП. О широких экономических возможностях прецедентного подхода, в рамках которого выполнена данная работа, см. [4, 8].

Понятие близости состояний ЛДП. Завершим формальное описание модели рассмотрением вопроса о близости состояний ЛДП между собой. Переходя от рассмотрения отдельных состояний к классам эквива-





лентных состояний, мы уже фактически решали задачу о близости состояний. Все «достаточно близкие» состояния оказываются в одном классе эквивалентности. Тем не менее, остается актуальным вопрос о близости классов (состояний — представителей классов) друг к другу. Решение этого вопроса имеет важное практическое значение. При появлении в ходе самообучения модели или в ходе контроля реализации процесса, нового класса эквивалентности, мы имеем дело с новым прецедентом клинической ситуации, ситуации, с которой раньше в модели не сталкивались. Модель не может предложить для новой ситуации прецеденты управления, не может подсказать врачу, что делали ранее в данной ситуации. Очевидным выходом из данной ситуации было бы нахождение в модели состояний, близких к данному, близких состояний, для которых известны прецеденты управления. На основе введенных в модель отношений эквивалентности на характеристиках расширенного состояния можно построить метрику в пространстве состояний и тем самым определить расстояние и количественно оценить близость между состояниями (доказательство опускаем).

Использование мер и расстояний близости. Практическое значение от введения расстояния между состояниями мы уже отмечали. Врач, оказавшись в новой для себя ситуации, формально может определить самые близкие ранее наблюдавшиеся известные модели состояния и рассмотреть течение процесса в этих состояниях. Отметим, что кластеризация состояний, свертка процесса по пространству состояний и предложенная количественная мера близости состояний взаимно дополняют друг друга. При «слабых» отношениях эквивалентности и соответственно «сильной» кластеризации состояний необходимость в нахождении близких состояний будет меньше, чем в условиях, когда определены «сильные» отношения эквивалентности и соответственно число классов велико

и велика вероятность наблюдения нового ранее неизвестного класса. В предельном случае, определив отношение эквивалентности для каждой характеристики как равенство, мы придем к множеству «непредставительных», то есть представленных в пределе всего одним состоянием, классов. В этом предельном случае применение мер близости состояний даст врачу инструмент поиска общности и генерализации опытных данных.

Заключение

Подведем итоги работы. По классификации Gartner (June 2007) на подходе уже пятое поколение МИС. МИС нового поколения — это Система Наставник (Mentor). Основной отличительной чертой этого поколения будут функциональные возможности приложений подсказывать врачам возможные пути лечения и диагностики пациентов. Системы пятого поколения, возможно, появятся после 2015 года. Решить задачи МИС пятого поколения невозможно без построения достаточно общей и абстрактной модели лечебно-диагностического процесса. В работе предложена концепция такой модели ЛДП, базирующейся на прецедентном подходе. Из БД МИС извлекается накопленное в ней и формализованное знание в форме прецедентов ЛДП по данной нозологии. ЛДП рассматривается как дискретный управляемый Марковский процесс с памятью. Состояния, они же прецеденты, являются результатом статистической обработки и генерализации знаний, заключенных в ансамбле реализаций ЛДП для данной нозологии. Введены в рассмотрение операции свертки процесса во времени и по пространству состояний. Эффект памяти для управляемого процесса предлагается учесть в виде интегральных характеристик управления, включаемых в расширенное состояние процесса. Кластеризация в пространстве состояний производится на основе введения в модель отношений эквивалентности на характеристиках состоя-



ния. Включение в модель отношений эквивалентности позволяет построить метрику в пространстве состояний и оценивать близость состояний ЛДП друг к другу. Сама метрика параметризуется мерой, задаваемой относительно характеристик состояния. ЛДП рассматривается в контексте уже решенной диагностической задачи, что значительно упрощает моделирование процесса. Рассмотрена форма и содержание руководств по лечению — технологических карт, соответствующих концептуальной модели ЛДП. Результаты работы могут найти широкое практическое применение в МИС нового поколения, представляют интерес для разработчиков медицинских информационных систем и для медиков, решающих зада-

чи управления качеством и совершенствования ЛДП. Построение моделей ЛДП для различных нозологий должно вестись в сотрудничестве с врачами-практиками. Они же должны оценивать практическую программную реализацию предложенной модели, оценивать влияние модели на повышение качества ЛДП.

В настоящее время в ИПС им. А.К. Айлазяна РАН на реальных клинических данных проводятся эксперименты по моделированию ЛДП, разработана информационная модель ЛДП, отработывается методика моделирования, реализуются программные средства для моделирования, в том числе для врача-эксперта. Полученные практические результаты будут представлены сообществу.

ЛИТЕРАТУРА



1. Назаренко Г.И., Полубенцева Е.И. Управление качеством медицинской помощи. — М.: Медицина, 2000.
2. Назаренко Г.И., Осипов Г.С. Основы теории медицинских технологических процессов. Том 1. — М.: Физматлит, 2005.
3. Информационное письмо Минздравсоцразвития России № 14-3/10/2-11668 от 24 ноября 2011 г.: <http://www.minzdravsoc.ru/docs/mzsr/spa/112>.
4. Малых В.Л., Гулиев Я.И. Прецеденты в медицинских информационных системах//Программные продукты и системы. — 2009. — № 2 (86). — С.19–27.
5. Букреев В.Г., Колесникова А.Е., Янковская А.Е. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010.
6. Белов А.К. Философия естественной природы. (Метафизика для физиков и математиков). Часть первая. Совершенная материальная действительность. — М.: Издательство «Спутник+», 2011.
7. Гельфанд И.М., Розенфельд Б.И., Шифрин М.А. Очерки о совместной работе математиков и врачей. — М.: Едиториал УРСС, 2005.
8. Малых В.Л., Гулиев Я.И., Крылов А.И., Рюмина Е.В. Проблемы автоматизации учета прямых материальных затрат в медицине. Архитектура прецедентного материального учета//Аудит и финансовый анализ. — 2009. — № 2. — С. 465–471.

