

В. С. БЛЮМ

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, г. Санкт-Петербург

vlad@blum.spb.su

ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНАЯ МОДЕЛЬ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И ФЕДЕРАЛЬНЫЙ СЕРВИС «ИНТЕГРИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МЕДИЦИНСКАЯ КАРТА»

УДК 004.912

В.С. Блюм. Дискретно-событийная модель здравоохранения и федеральный сервис «Интегрированная электронная медицинская карта».

Аннотация. Предложен подход к определению дискретно-событийной модели здравоохранения. Модель рассматривается как математический образ вновь создаваемого федерального сервиса «Интегрированная электронная медицинская карта» и предназначена для анализа процессов формирования и использования полной, достоверной и доступной первичной медицинской информации.

UDC004.912

V. Blum. A discrete-event model of Health and the federal service "integrated electronic medical record."

Abstract. *An approach to the definition of a discrete-event model of health. The model is considered as a mathematical way of the newly created federal service "integrated electronic medical record," and is designed to analyze the formation and use of comprehensive, accurate and accessible primary health information.*

Введение

Одной из основных проблем применения математических методов моделирования сложных социально-экономических систем является проблема получения необходимого и достаточного количества достоверных исходных данных, без которых не может быть достигнуто должное доверие к результатам моделирования и полученным прогнозам. Современный уровень развития средств вычислительной техники и телекоммуникации позволил поставить задачи и приступить к реализации ряда амбициозных проектов федерального уровня, которые направлены на создание всеобъемлющих систем оперативного сбора достоверной информации об объективных характеристиках протекающих социально-экономических процессов.

Одним из наиболее значимых социальных процессов является процесс оказания профилактической и лечебно-диагностической помощи населению, который реализует система здравоохранения страны. Значимость этого процесса подтверждается, в частности, неуклонным повышением объёмов финансирования (правда, темп роста явно неудовлетворительный) и выделением значительных (более двух десятков миллиардов рублей на ближайшие два года) целевых средств на информатизацию этого процесса.

Особый интерес, с точки зрения перспектив использования объективных, достоверных данных об оказании лечебно-диагностической помощи населению для математического моделирования и решения актуальных задач практического здравоохранения (задача выживаемости, задача раннего обнаружения дефектов оказания медицинской помощи и т.д. и т.п.), вызывает реализация проекта федерального сервиса «Интегрированная электронная медицинская карта».

Перспектива создания этого интегратора рождает надежды на возможности появления, ранее немыслимых, систем программных агентов, способных оказывать

реальную информационную поддержку врачу и уберечь тысячи пациента от неминуемых врачебных ошибок.

Что же такое интегрированная электронная медицинская карта (ИЭМК)? С целью зафиксировать вполне определённый ответ на этот вопрос предлагается рассмотреть математическую модель этого объекта.

Федеральный сервис «Интегрированная электронная медицинская карта»

Согласно техническому заданию на создание первой очереди интегрированной электронной медицинской карты и сервисов доступа к ней [<http://zakupki.gov.ru>], работы по внедрению интегрированной электронной медицинской карты и сервисов доступа должны быть реализованы с использованием сервисно-ориентированных и облачных технологий, входящей в состав Единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения Российской Федерации. В документе указано, что «основной целью ведения Интегрированной электронной медицинской карты (далее ИЭМК) является обеспечения непрерывности, преемственности и качества лечения, а также своевременной профилактики и иных мероприятий по обеспечению здоровья конкретного индивида путем документирования и сохранения соответствующей медицинской информации и своевременного предоставления ее уполномоченным медицинским работникам и организациям, а также субъектам ИЭМК.»

Ожидаемым эффектом от внедрения ИЭМК должна стать качественно новая электронная история болезни (ЭИБ), в которой будут учтены все встречи пациента с системой охраны здоровья. Более того, ЭИБ будет доступна для анализа и принятия обоснованных решений из единого, федерального центра.

Не вдаваясь в особенности реализации проекта, рассмотрим ряд ожидаемых частных эффектов и перспектив использования данных, которые собирает указанный сервис, для математического моделирования лечебно-диагностического процесса.

Электронная история болезни и персональная электронная медицинская запись

Электронная история болезни (ЭИБ) согласно ГОСТ [ГОСТ Р 52636-2006] – это «информационная система, предназначенная для ведения, хранения на электронных носителях, поиска и выдачи по информационным запросам (в том числе и по электронным каналам связи) персональных медицинских записей.» ЭИБ состоит из размещённых в хронологической последовательности электронных персональных медицинских записей (ЭПМЗ). Понятие "электронная персональная медицинская запись" соответствует международному термину EHR – Electronic Health Record [1].

В системе здравоохранения существует два класса легитимных источников «производства» ЭПМЗ – это дипломированные (сертифицированные, лицензированные, аттестованные) врачи и лицензированные диагностические лаборатории (ДЛ). Ежедневно в России производится около миллиона таких записей [2].

Синтаксическая структура ЭПМЗ на метаязыке может быть представлена в виде:

$\langle \text{ЭПМЗ ВРАЧА} \rangle ::= \langle \text{время сеанса} \rangle \langle \text{идентификатор ВРАЧА} \rangle \langle \text{идентификатор ПАЦИЕНТА} \rangle \langle \text{документ ВРАЧА} \rangle$ (1)

$\langle \text{ЭПМЗ ДЛ} \rangle ::= \langle \text{время сеанса} \rangle \langle \text{идентификатор ДЛ} \rangle \langle \text{идентификатор ПАЦИЕНТА} \rangle \langle \text{документ ДЛ} \rangle$ (2)

Временно исключим из рассмотрения множество ЭПМЗ диагностических лабораторий на том простом основании, что в записях врача с необходимостью присутствует оценка результатов лабораторных исследований.

В настоящей статье не будут рассматриваться синтаксические и семантические особенности грамматической категории $\langle \text{документ ВРАЧА} \rangle$. Акцент будет сделан на два обязательных атрибута ЭПМЗ, на $\langle \text{время сеанса} \rangle$ и $\langle \text{идентификатор ПАЦИЕНТА} \rangle$.

Всё внимание сосредоточим на множестве событий, связанных с возникновением ЭПМЗ врача. Время записи, сделанной j -м врачом i -му пациенту обозначим как $(z_j(i))_t$ или $(z_{ji})_t$. Для начала, смысловое наполнение учтём только для двум типом врачебных записей: записи, в которых врач фиксирует появление (рождение) нового пациента, обозначим – $z_0(i)$, а записи, в которых врач констатирует смерть пациента, обозначим – $z_f(i)$.

Идентификация электронной истории болезни и персональных электронных медицинских записей

Если принять тезис о том, что именно врач принимает решение о факте рождении и смерти, то можно сделать первый вывод: система здравоохранения не нуждается в такого рода информации от отделов ЗАГС и других органов государственной власти для организации собственного документооборота. Более того, возникновение в системе новой записи $z_0(i)$, при условии централизованного учёта, может быть использовано для формирования уникального идентификатора истории болезни нового i -го пациента. Для этого достаточно использовать знания о среднем числе рождений в сутки и определить разрядность счётчика: для Петербурга достаточно трёхразрядного числа (около 150 рождений в сутки), для России – четырёхразрядного числа (порядка 5 000 рождений), для Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) – семиразрядного числа.

В этом случае, идентификатор интегрированной электронной истории болезни будет иметь вид:

$$\langle \text{Идентификатор ЭИБ} \rangle ::= \langle \text{дата рождения} \rangle \langle \text{учётный номер в системе здравоохранения} \rangle \quad (3)$$

Предложенный способ идентификации задаёт отношение строгого порядка на множестве ЭИБ. Тогда областью значений грамматической категории <Идентификатор ЭИБ> i -го пациента будет значение функции $Id(z_0(i)) = Id_{0i}$, где Id_{0i} уникальный терминальный символ.

Для $\forall i, j \quad Id_{0i} > Id_{0j}$ или $Id_{0i} < Id_{0j}$.

В этом случае, конечное множество идентификаторов ЭИБ ($ID = \{Id_{01}, Id_{02}, \dots, Id_{0n}\}$) может быть упорядочено на временной оси (см. рис.1) и интерпретироваться, как множество моментов времени, которые фиксируют события рождения пациентов. При таком подходе текущий момент времени $-t_0$ и идентификатор ЭИБ определяют реальный возраст пациента. Для заданного множества идентификаторов ЭИБ всегда может быть определён идентификатор ЭИБ самого возрастного пациента, не содержащего записи $z_f(i)$. Такой идентификатор обозначим как – Id_{0s} .

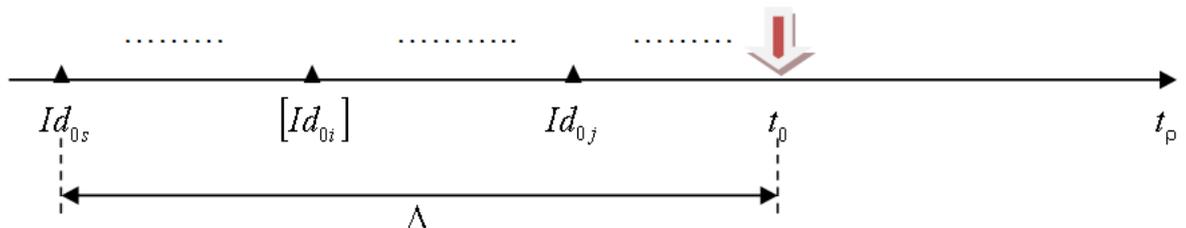


Рисунок 1 – Интервал жизни популяции

Интервал времени $\Delta = t_0 - Id_{0s}$ назовём актуальным интервалом времени жизни популяции. Ось времени, на которой размещены моменты рождения пациентов, назовём

осью времени жизни популяции и обозначим – t_p . Ясно, что на интервале Δ зафиксированы моменты рождения не только пациентов, требующих текущего внимания системы охраны здоровья, но и тех, в истории болезни которых имеется ЭПМЗ – $z_f(i)$. Такие ЭИБ будем считать закрытыми, но не потерявшими своего информационного значения для системы здравоохранения. Обозначать такие ЭИБ будем как $[Id_{0i}]$.

Дискретно-событийная модель здравоохранения

Для построения дискретно-событийной модели [3,4] определим ортогональную систему координат, в которой осью абсцисс станет t_p , а осью ординат будет также временная ось, которую назовём осью времени жизни пациентов и обозначим – t_t . Начало координат определим, как самый ранний момент времени рождения пациента, история болезни которого, по каким-то причинам, сохранилась в архивах системы здравоохранения (рис. 2), но так, чтобы все наши дальнейшие построения выполнялись в первом квадранте построенной системы координат.

Для самого возрастного пациента, идентификатор ЭИБ которого – Id_{0s} , построим вектор \vec{v}_{0s} , длина которого $|\vec{v}_{0s}|$ будет равна реальному времени жизни этого пациента. Вектор \vec{v}_{0s} разместим параллельно оси t_t с началом в точке Id_{0s} . Очевидно, что $|\vec{v}_{0s}| = \Delta$.

Заметим, что по существу вектор \vec{v}_{0s} есть проекция информационного вектора истории болезни на временную ось t_t .

Построим соответствующие вектора \vec{v}_{0i} для всех учтённых ЭИБ (имеющих идентификаторы – Id_{0i}), но не имеющих ЭПМЗ – $z_f(i)$. Начало этих векторов будет лежать на оси t_p , а конец окажется одной из точек гипотенузы прямоугольного треугольника.

Каждый из построенных векторов суть временной образ истории болезни конкретного пациента, который, в свою очередь, состоит из суммы векторов, число которых соответствует числу ЭПМЗ в данной ЭИБ.

$$\vec{v}_{0i} = \sum_{j=1}^k \vec{v}_j, \text{ где } k \text{ – число записей в ЭИБ } i\text{-го пациента, а } |\vec{v}_j| \text{ равна интервалу}$$

времени от данной ЭПМЗ до следующей, либо до текущего момента t_0 .

Прямоугольный треугольник, катетами которого являются вектор \vec{v}_{0s} и отрезок оси t_p – $[Id_{0s}, t_0]$, ограничивает временное пространство Ω , в котором размещены все, без исключения, актуальные события, которые фиксируют моменты возникновения ЭПМЗ вида (1) в системе здравоохранения. Актуальными будем называть такие события, которые соответствуют ЭПМЗ живых пациентов, то есть пациентов, в ЭИБ которых не содержится записи – $z_f(i)$.

Таким образом, мы построили ограниченное временное пространство Ω , в котором размещены и строго упорядочены ЭПМЗ ныне здравствующих потенциальных пациентов.

В данной модели для текущего момента t_0 векторные образы ЭИБ всех учтённых живых пациентов упорядочены по величине (времени жизни пациента), а вершины всех векторов лежат на одной прямой, которая является гипотенузой прямоугольного треугольника, ограничивающего временное пространство Ω . В пространстве $\Omega \subseteq T \times T$ размещены и строго упорядочены по оси t_p все ЭИБ, а по оси t_t строго упорядочены все ЭПМЗ ныне здравствующих потенциальных пациентов.

Гипотенуза равнобедренного треугольника (пространства Ω) – это отрезок прямой $y = -t + t_0$, длиной $\sqrt{2}|\vec{v}_{0s}|$. Особенностью этого отрезка является то, что он определяет интерфейс системы здравоохранения. Именно на этом ограниченном отрезке, и только на нём, могут возникнуть новые события (ЭПМЗ) в данной модели системы охраны здоровья.

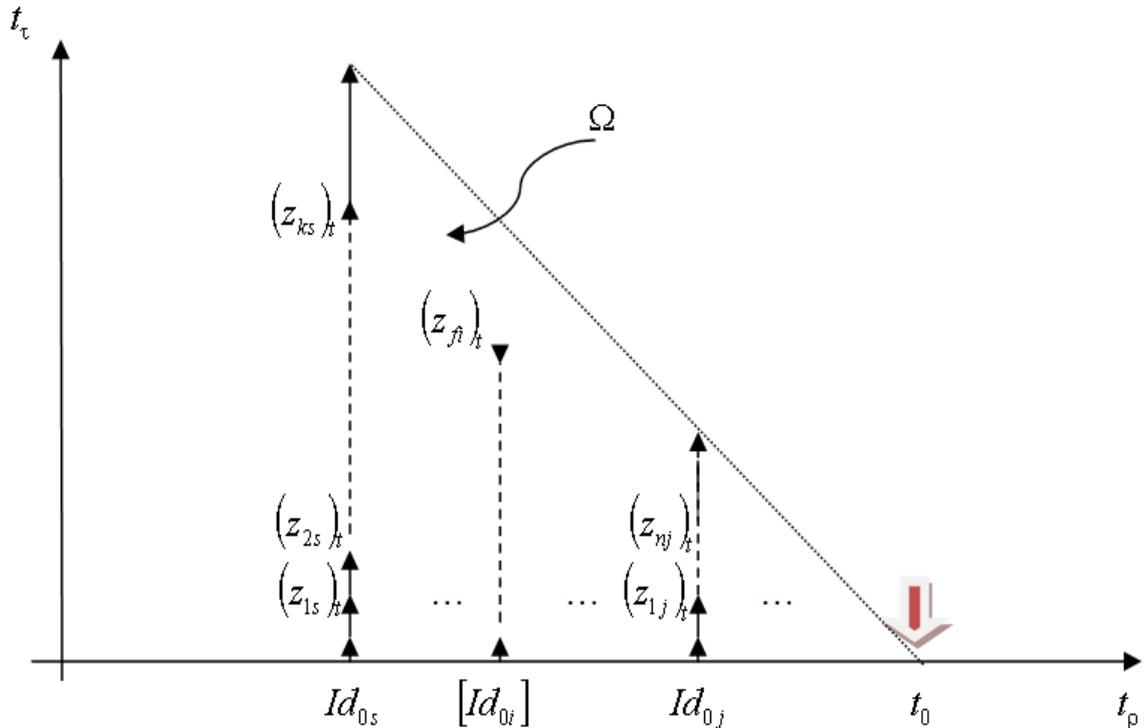


Рисунок 2 Дискретно-событийная модель системы здравоохранения

Динамика дискретно-событийной модели здравоохранения

Выбирая шаг h для наблюдения за динамикой развития модели, например суточный интервал, необходимо определить алгоритм учёта новых событий и исключения из рассмотрения не актуальных ЭИБ. Понятно, что правила внесения изменений в модель не должны приводить к временным коллизиям.

Пусть $h = t_1 - t_0$. Тогда прямая $y = -t + t_0$ примет вид $y = -t + t_1 + h$, где $t_0 = t_1 + h$ текущий момент времени (рис.3). Прямые $y = -t + t_0$ и $y = -t + t_1$ задают временное окно, в котором разрешены новые события (возникновение новых ЭПМЗ) в системе здравоохранения. Пространство Ω потенциально увеличивается на величину $\frac{h}{2}(2\Delta + h)$.

Для приведения модели в соответствие с текущим временем t_0 должны быть выполнены следующие операции.

1. Выделение вычислительных ресурсов для ЭИБ новых пациентов, родившихся на интервале h , т.е. формирование новых идентификаторы $Id_{0t_1}, Id_{0t_2}, \dots, Id_{0t_n}$ в порядке поступления n заявок (записей $z_{0t_1}, z_{0t_2}, \dots, z_{0t_n}$).
2. Для сохранения возможности фиксации точного времени событий в группе ЭИБ $Id_{0t_1}, Id_{0t_2}, \dots, Id_{0t_n}$ на интервале h , соответствующие вектора назначаются равными \vec{h} .

3. Каждый вектор \vec{v}_{0i} , за исключением векторов новорождённых, увеличивается до пересечения с $y = -t + t_0$, причем
- если на интервале h пациент i не встречался врачом, то $\vec{v}_{0i} + \vec{h} = \vec{v}'_{0i}$ и $|\vec{v}'_{0i}| = |\vec{v}_{0i}| + |\vec{h}|$, но k – число записей в ЭИБ i - го пациента к моменту t_0 не изменяется;
 - если на интервале h пациент i имел одну или более встреч с врачом, то $\vec{h} = \vec{v}_{0i_1} + \vec{v}_{0i_2} + \dots + \vec{v}_{0i_m}$, где m – число ЭПМЗ i - го пациента на интервале h и $\vec{v}_{0i} + \vec{h} = \vec{v}'_{0i}$ и $|\vec{v}'_{0i}| = |\vec{v}_{0i}| + |\vec{h}|$, но k – число записей в ЭИБ i - го пациента к моменту t_0 увеличивается на величину m .

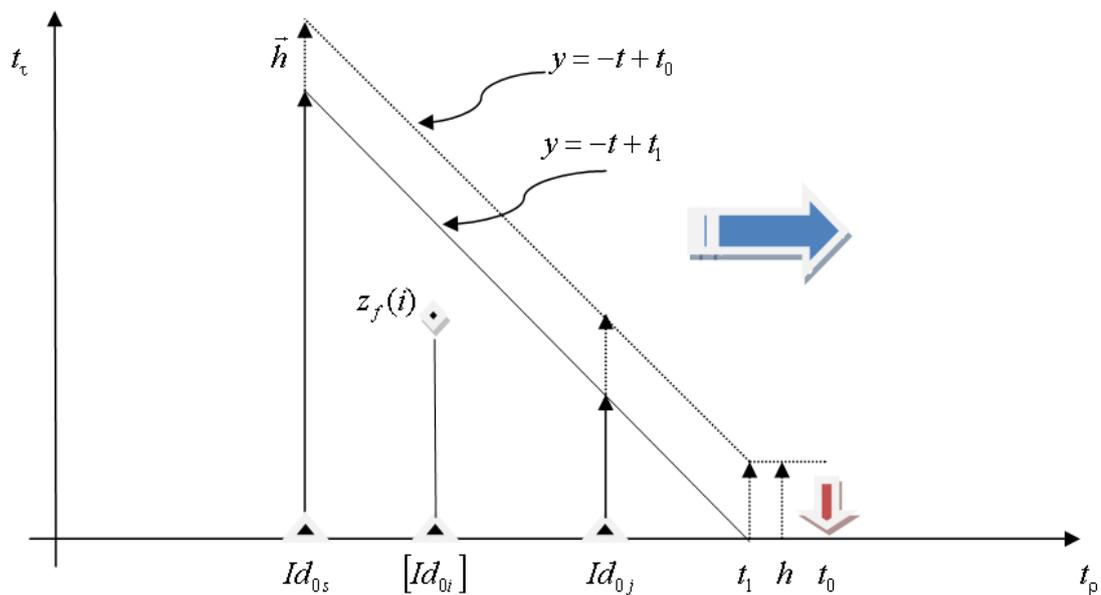


Рисунок 3 – Динамика дискретно-событийной модели

4. Если на интервале h у i - го пациента возникает запись $z_f(i)$, то ЭИБ закрывается, т.е. $Id_{0i} = [Id_{0i}]$ и вектор \vec{v}_{0i} обращается в скаляр $|\vec{v}'_{0i}| = |\vec{v}_{0i}| + |\vec{h}|$.
5. Если на интервале h у s - го пациента (самого возрастного) возникает запись $z_f(i)$, то выполняется коррекция (уменьшение) пространства Ω . Для этого в списке идентификаторов ЭИБ определяется такой не закрытый Id_{0i} , что $\Delta = t_0 - Id_{0i} = \max$. Для выбранного идентификатора ЭИБ Id_{0i} фиксируется статус Id_{0s} .
6. Вычисляются характеристики пространства Ω на момент времени t_0 :
 - Число актуальных историй болезни (число живых пациентов);
 - Число закрытых ЭИБ на интервале h ;
 - Коэффициент выживаемости для пространства Ω , а также для любой заданной возрастной категории пациентов (отношение числа актуальных ЭИБ к общему числу учтённых ЭИБ);
 - и т.д. и т.п.

Информационная составляющая интегрированной электронной медицинской карты

Как уже отмечалось, электронная история болезни это сумма векторов, которая корректируется системой охраны здоровья на протяжении всей жизни пациента. Начиная с момента рождения, система здравоохранения производит персональные медицинские записи (теперь – ЭПМЗ) и последовательно размещает их в истории болезни (теперь – ЭИБ). Каждая запись имеет собственное информационное наполнение. Не пытаясь на этом этапе оценивать семантику записи, мы всегда можем посчитать количество бит, необходимых для хранения данной ЭПМЗ в памяти компьютера. При этом каждый бит, в той или иной степени несёт в себе информацию о ресурсах затраченных системой здравоохранения на данного пациента. Очевидно, что каждый составляющий вектор ЭПМЗ (за исключением последней записи, конечно, если он не $z_f(i)$) будет иметь фиксированную по величине проекцию на информационную ось в пространстве $I \times T \times T$ (см. рис. 4).

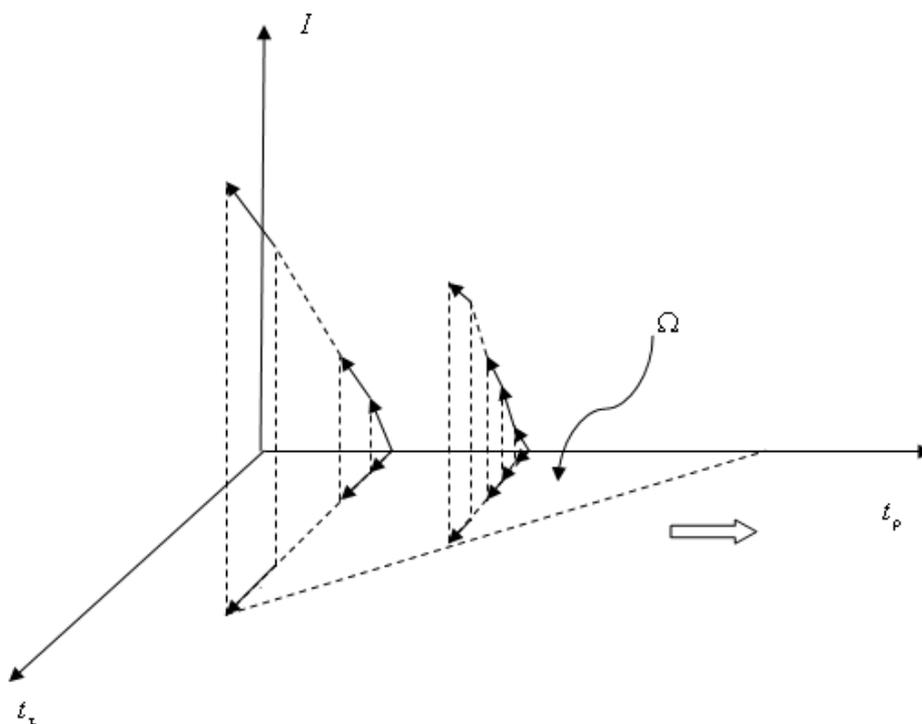


Рисунок 4 – Информационная составляющая модели

Вектор последней записи будет изменять величину и угол наклона к плоскости времён вплоть до появления очередной записи.

Каждая ЭИБ размещена в персональной для данного пациента информационно-временной плоскости ($I \times T$), которая характеризуется моментом рождения – Id_{oi} (рис.5).

В результате анализа информационного вектора ЭИБ, может быть оценено не только его информационное наполнение (объём ресурсов здравоохранения, затраченных на пациента), но и, так называемый, «угол внимания» системы здравоохранения по отношению конкретному пациенту. Этот параметр важен при организации государственной системы диспансерного контроля состояния здоровья.

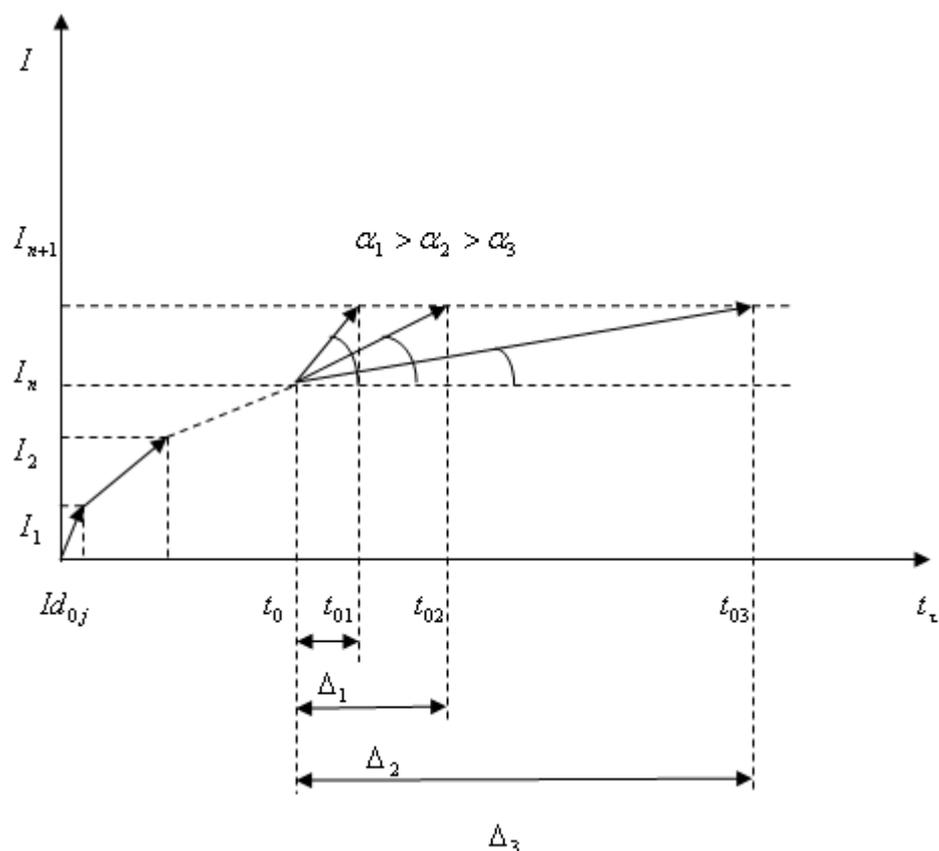


Рисунок 5 – Информационный вектор истории болезни

При увеличении интервала времени между посещениями врача $\Delta_1 < \Delta_2 < \Delta_3$ уменьшается угол наклона информационного вектора $\alpha_3 < \alpha_2 < \alpha_1$, что может быть использовано в качестве объективного критерия для проведения профилактического контроля здоровья.

Особенности дискретно-событийной модели здравоохранения

Главной особенностью предложенной модели является её технологическая направленность. То есть возможность использования алгоритма, описывающего процесс сбора первичной медицинской информации, в качестве «движка» интернет-сервиса «Интегрированная электронная медицинская карта».

Дискретно-событийная модель ориентирована на формирование полного потока событий, связанных с созданием ЭПМЗ. При этом новые пациенты (новые ЭИБ) могут вводиться в состав модели, не изменяя схемы её функционирования. Этот эффект возникает за счёт того, что каждая вновь возникшая ЭИБ актуального пациента встраивается в модель, не нарушая строгого порядка учёта. Что, в свою очередь, позволяет использовать тривиальные хэш-функции для эффективного доступа, как к конкретной ЭИБ, так и к конкретной ЭПМЗ, внутри выбранной ЭИБ.

Важным свойством модели является простота извлечения целостных фрагментов данных для их автономного использования. Речь идёт об извлечении заданного набора ЭИБ, которые обслуживаются, например, конкретной поликлиникой и могут использоваться для

оперативного управления лечебной работой. Можно говорить о территориальном принципе, заложенном в основу функционирования модели.

Следует также отметить перспективы использования модели для обеспечения достоверности первичной медицинской информации. Данный эффект может быть достигнут в следствии того, что врачи также являются потенциальными пациентами. Всякая ЭПМЗ есть реализация бинарного отношения на множестве врачей и пациентов. Можно говорить не только об ЭИБ пациента, но и об электронной истории врачевания (ЭИВ) конкретного врача. Контроль соответствия этих двух объектов (ЭИБ и ЭИВ) может быть использован как базовый алгоритм обеспечения достоверности первичной медицинской информации.

Наконец, следует ещё раз подчеркнуть территориальный принцип использования предложенной модели. Речь идёт о том, что извлечения из общей федеральной модели (интегрированной электронной медицинской карты) для региона и ЛПУ предполагают использование единой библиотеки алгоритмов для поддержания её функционирования. Очевидным синхронизирующим фактором при этом является время возникновения событий. Простой вывод заключается в том, что при внедрении в регионах модели полной достоверной и доступной первичной медицинской информации и соответствующей технологии ИЭМК, первоочередными объектами внедрения должна стать поликлиническая сеть региона и сеть родильных домов.

Заключение

В качестве выводов к данной статье отметим два положения.

Во-первых, вновь создаваемая федеральная информационная система (ИС), которая названа «Интегральной электронной медицинской картой», может оказать существенное влияние на совершенствование системы охраны здоровья в России. В связи с этим ИС ИЭМК требует особого и постоянного внимания как объект научных исследований и моделирования.

Во вторых, создание федеральной ИС ИЭМК открывает новые технологические возможности по реализации таких сложнейших централизованных программных проектов как

1. Разработка программного комплекса информационной поддержки врачебной деятельности, который предназначен для эффективного формирования ЭПМЗ врачами всех специальностей, определённых государственной номенклатурой. Предоставление этой поддержки врачам на основе облачных технологий, использующих федеральные ресурсы, что позволит минимизировать затраты, сделать эффективной и прозрачной конкурентную борьбу на рынке соответствующих программных продуктов.
2. Разработка программного комплекса для раннего обнаружения дефектов оказания медицинской помощи на основе многоагентной программной системы анализа полной, достоверной и доступной первичной медицинской информации.

Как неоднократно указывал профессор В.М.Тавровский [5, <http://vmtavr2.narod.ru/>], в электронной истории болезни есть вся необходимая информация для эффективного управления лечебно-диагностическим процессом. Интегрирование этой информации и её централизованное хранение может создать качественно новые условия для управления системой охраны здоровья.

Литература

1. Международный стандарт. ISO/TR 20514:2005. Информационные технологии в медицине - Электронная медицинская запись - Определение, назначение, содержание (Healthinformatics - Electronichealthrecord - Definition, scopeandcontext)

2. Блюм В.С., Заболотский В.П. Мысленный эксперимент по организации учета и обработки информационных медицинских услуг. Врач и информационные технологии, №4 2009. стр. 27-35
3. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технологии. СПб.: КОРОНА принт.; М.: Альтекс-А, 2004
4. Строгалев В.П., Толкачева И.О. Имитационное моделирование: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 280 с.: ил. ISBN 978-5-7038-3021-5
5. В.М.Тавровский. Автоматизация лечебно-диагностического процесса.ООО "Вектор Бук". Тюмень. 2009.- 464 стр.