

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МАГИСТРАЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ДОКАЗАТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ

Л.И. Константинова, А.И. Кочегуров, В.А. Кочегуров

Томский политехнический университет
E-mail: am@am.tpu.ru

Обсуждается проблема магистральной технологии представления результатов наблюдений, в которой используется возможность индивидуализированного подхода к принятию решений в задачах практической медицины. Обсуждается обоснованный выбор вектора показателей, характеризующих свойства магистралей и методов отображения результатов наблюдений, базирующихся на бионических моделях.

Ключевые слова:

Магистральная траектория, бионические модели, индивидуальное состояние, оценка напряженности состояния организма.

Key words:

Magistral trajectory, bionic models, individual state of the organism, estimate the organism's stress state.

Практическая медицина, как никакая другая деятельность, нуждается в разработке методов и критериев, обеспечивающих объективные доказательства принимаемых решений при обследовании пациентов [1]. Широко используемые в настоящее время статистические методы обработки результатов обследования в большинстве случаев позволяют понять общую тенденцию развития той или иной болезни без учета индивидуальных особенностей пациента. В этом отношении можно говорить о необходимости разработки принципов врачебной технологии, когда на фоне общих закономерностей лечебно-восстановительной терапии, была бы возможность делать доказательные выводы о состоянии здоровья каждого обследуемого.

В статье рассматриваются магистральные технологии представления результатов наблюдений, в рамках которой показывается возможность индивидуализированного подхода к принятию решений, когда определяется некоторая закономерность протекания процессов в организме, относительно которой оценивается индивидуальное состояние. Такой подход используется в математической теории экономики, когда рассматривается проблема сбалансированного развития производственных процессов в условиях межотраслевых связей. Перед выходом на магистраль, как правило, производятся необходимые им структурные преобразования, продолжительность которых зависит главным образом от их начального состояния. Важным остается обеспечение соответствующего контроля и поддержание необходимых условий магистрального развития при нарушениях под воздействием внутренних и внешних факторов.

При этом возникает проблема обоснованного выбора показателей, которые могли бы характеризовать как саму магистраль, так и свойства близлежащих траекторий, отражающих качество функционирования многомерных производственных процессов.

В биологических системах естественным образом формируются структуры, обеспечивающие магистральную траекторию их развития и необходимые информационные средства контроля и адаптивного управления в изменяющейся среде. Ука-

занные функции выполняют генетическая, иммунная и центральная нервная системы. Формально их можно объединить в комплексные взаимосвязанные средства обработки внутренней и внешней информации.

В настоящее время разработаны искусственные системы обработки информации, структурно отражающие функционирование генетических, иммунных и нейронно-сетевых алгоритмов, назовем их бионическими моделями. Известны работы, в которых делается попытка комплексного использования бионических моделей в технике [2–4].

Применение бионических моделей в медицинских приложениях позволяет решать важную задачу оценки развития биологических систем по магистральным траекториям в условиях нормального функционирования, позволяющие получить сведения об их здоровье.

Будем рассматривать организм человека как некую сложную динамическую систему, взаимодействующую с внешней средой и обладающую внутренними энергетическими ресурсами [5], рис. 1.

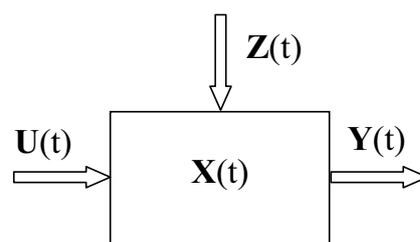


Рис. 1. Схематическое изображение динамической системы: $X(t)$ – переменные состояния; $Y(t)$ – переменные наблюдения системы; $U(t)$, $Z(t)$ – внешние управляемые и неуправляемые воздействия

Изменение состояния $X(t)$ такой системы происходит за счет обменных процессов, поддерживаемых, как внутренними энергетическими ресурсами, так и поступающими извне. Обменные процессы сопровождаются накоплением внутренней энергии и ее расходом на выполнение активной работы. На интервале времени Δt обменные процессы можно характеризовать энергетическими показателями, связанными с состоянием системы:

- изменение потенциальной энергии

$$\Delta W_{\text{п}}(t) = \mathbf{X}^T(t)q_{\text{п}}\dot{\mathbf{X}}(t)\Delta t;$$

- изменение кинетической энергии

$$\Delta W_k(t) = \dot{\mathbf{X}}^T(t)q_k\ddot{\mathbf{X}}(t)\Delta t;$$

- активные потери

$$\Delta W_a(t) = \dot{\mathbf{X}}^T(t)q_a\dot{\mathbf{X}}(t)\Delta t,$$

где q_n, q_k, q_a – симметричные положительно определенные матрицы, элементы которой в общем случае могут зависеть от времени и переменных состояния.

Тогда изменение полной энергии в единицу времени равно:

$$\frac{dW(t)}{dt} = \dot{\mathbf{X}}^T(t)[q_k\ddot{\mathbf{X}}(t) + q_{\text{п}}\dot{\mathbf{X}}(t) + q_a\mathbf{X}(t)].$$

Интерес представляет случай $W(t)=\text{const}$, когда система находится вблизи равновесного состояния и обеспечивается условие ее нормального динамического функционирования.

Это означает, что при $\dot{\mathbf{X}}(t) \neq 0$ (ее уровень поддерживается как за счет внутренних ресурсов, так и ресурсов, поступающих извне), выполняется условие:

$$\ddot{\mathbf{X}}(t) + A_1\dot{\mathbf{X}}(t) + A_2\mathbf{X}(t) = 0, \quad (1)$$

где $A_1=q_k^{-1}q_a, A_2=q_k^{-1}q_{\text{п}}$.

Полученное уравнение в общем случае является нелинейным. Его структура указывает на наличие в системах, обладающих внутренними энергетическими ресурсами и взаимодействующих с внешней средой, циклических и монотонно изменяющихся процессов. Для нормально функционирующих систем можно выделить равновесные траектории $\mathbf{X}_0^{(0)}, \dot{\mathbf{X}}_0^{(0)}$ вблизи которых обеспечивается устойчивое динамическое равновесие. Назовем эти траектории магистралью развития системы, которые в общем случае описываются системой нелинейных дифференциальных уравнений.

Для равновесной траектории выполняется равенство:

$$\dot{\mathbf{X}}_0(t) = F(\mathbf{X}_0(t), \mathbf{U}_0(t), \mathbf{Z}_0(t)). \quad (2)$$

При малых отклонениях компонент текущих траекторий от равновесных значений матрицы A_1 и A_2 можно считать постоянными и обозначить в виде $A_1=A_{10}$ и $A_2=A_{20}$. Уравнение (1) можно представить как:

$$\Delta\ddot{\mathbf{X}}(t) + A_{10}\Delta\dot{\mathbf{X}}(t) + A_{20}\Delta\mathbf{X}(t) = 0, \quad (3)$$

где

$$\Delta\mathbf{X}(t) = \mathbf{X}(t) - \mathbf{X}_0(t), \quad \Delta\dot{\mathbf{X}}(t) = \dot{\mathbf{X}}(t) - \dot{\mathbf{X}}_0(t),$$

$$\Delta\ddot{\mathbf{X}}(t) = \ddot{\mathbf{X}}(t) - \ddot{\mathbf{X}}_0(t) = \ddot{\mathbf{X}}(t).$$

Уравнения (2) и (3) фактически являются моделями, позволяющими получать оценки динамических свойств систем по наблюдениям. Это можно сделать на основании следующих предположений.

Для оценки свойств системы, связанной с закономерностью изменения переменных состояния,

целесообразно применять среднегеометрическое значение [7].

$$\mathbf{X}_{\Gamma}(t) = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i(t)}.$$

Для равновесной траектории среднегеометрическое значение имеет вид:

$$\mathbf{X}_{\Gamma_0}(t) = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_{i_0}(t)}.$$

Относительные отклонения среднегеометрического значения индивида от равновесных определяются в виде:

$$\frac{\Delta\mathbf{X}_{\Gamma_0}(t)}{\mathbf{X}_{\Gamma_0}(t)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i(t)}{x_{i_0}(t)}.$$

При известных значениях $\mathbf{X}_0^{(0)}$ для интервалов времени, в пределах которых $\mathbf{X}_0^{(0)}$ остается неизменным, оценкой принадлежности наблюдений $\mathbf{X}(t)=\mathbf{X}_0^{(0)}+\Delta\mathbf{X}(t)$ к траектории $\mathbf{X}_0^{(0)}$ является условие:

$$\sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i(t)}{x_{i_0}(t)} = 0.$$

С другой стороны при устойчивом функционировании нелинейных динамических систем вблизи равновесной траектории, которые должны быть заранее известны, в (3) должно обеспечиваться условие с учетом внутренних затрат и внешних компенсаций:

$$A_{10}\Delta\dot{\mathbf{X}}(t) = 0.$$

В этом случае уравнение (3) можно обобщить выражением:

$$\Delta\dot{\mathbf{X}}^T(t)A_{20}^{-1}\dot{\mathbf{X}}(t) + \Delta\mathbf{X}^T(t) \cdot \Delta\mathbf{X}(t) = C^2.$$

Здесь $C^2 \leq \Delta\mathbf{X}_m^T \cdot \Delta\mathbf{X}_m$; $\Delta\mathbf{X}_m$ – максимально допустимые отклонения переменных состояния.

Введем коэффициент, характеризующий относительное отклонение текущих значений переменных состояния от допустимых при реальных изменениях:

$$\alpha^2 = \frac{\Delta\mathbf{X}^T(t) \cdot \Delta\mathbf{X}(t)}{\Delta\mathbf{X}_m^T \cdot \Delta\mathbf{X}_m}.$$

Тогда оценку напряженности текущего состояния системы можно представить в виде:

$$\gamma = \frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2}.$$

Здесь $0 \leq \alpha \leq 1$; $0 \leq \gamma \leq \infty$.

Характер напряженности состояния системы может быть определен с использованием относительного изменения среднегеометрических показателей $x_i, i=1, n$:

$$\frac{\Delta\mathbf{X}_{\Gamma}}{\mathbf{X}_{\Gamma_0}} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i(t)}{x_{i_0}(t)},$$

где x_{i_0} – среднеарифметические значения показателей x_i для здоровых.

Ниже приводятся результаты обработки данных для выявления закономерности становления показателя

телей метаболизма лимфоцитов у детей первого года жизни. Для изучения особенности их становления врачами-экспертами были выбраны 4 группы детей: группа здоровых детей и дети, родившиеся от матерей групп риска, и которые были отнесены по степени воздействия неблагоприятных факторов.

К 1-й группе риска отнесены дети, влияние неблагоприятных факторов на которых внутриутробно было в наименьшей степени. К 3-й группе риска отнесены дети, влияние неблагоприятных факторов на которых было в наибольшей степени.

Закономерность становления показателей определялась путем моделирования усредненных значений для указанных выше групп детей, относительно которых формировались индивидуальные модельные траектории. Для аналитического описания возрастных изменений показателей использовались кубические интерполяционные сплайны [7, 8].

В таблице 1 приведены усредненные значения активности фермента митохондриальной дегидрогеназы (БДГ) в лимфоцитах (гр/кл) для здоровых детей и детей групп риска.

Таблица 1. Усредненные значения активности фермента БДГ в лимфоцитах (гр/кл) для здоровых детей и детей 1–3-й групп риска

Группы детей	Возраст в сутках									
	1	3	5	7	14	30	90	180	270	360
Здоровые	8,39	9,09	8,77	8,86	10,14	8,28	9,6	9,63	9,2	7,33
1-я	8,90	9,27	9,55	9,76	10,92	8,96	9,24	10,8	10,57	8,34
2-я	11,01	11,27	11,47	11,58	11,70	11,70	11,4	11,78	11,70	10,00
3-я	10,71	10,53	10,41	10,32	11,31	10,4	11,68	11,54	11,36	10,91

В таблице 2 приведены модельные значения активности фермента БДГ в лимфоцитах (гр/кл) для здоровых детей и детей 1–3-й групп, полученные на основе сплайн-аппроксимации усредненных реальных данных.

Таблица 2. Модельные значения активности фермента БДГ в лимфоцитах (гр/кл)

Группы детей	Возраст в сутках									
	1	3	5	7	14	30	90	180	270	360
Здоровые	8,39	8,98	9,46	9,82	10,14	8,28	9,60	9,63	9,20	7,33
1-я	8,90	9,56	10,09	10,50	10,92	8,96	9,24	10,80	10,57	8,34
2-я	11,01	11,15	11,27	11,38	11,70	11,70	11,40	11,78	11,70	10,00
3-я	10,70	10,82	10,93	11,02	11,31	10,4	11,68	11,54	11,36	10,91

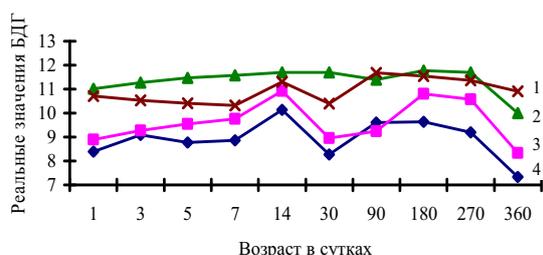
В таблице 3 приведены значения модельных индивидуальных траекторий активности ферментов БДГ (гр/кл) в лимфоцитах для здоровых детей и детей групп риска.

На рис. 2–4 приводятся графики модельных индивидуальных траекторий и траекторий закономерностей для здоровых детей и детей групп риска для показателя активности фермента БДГ в лимфоцитах (гр/кл).

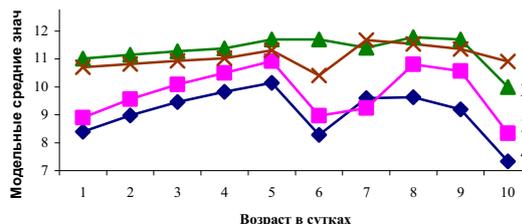
Из приведенных графиков видно разделение траекторий, определяющих закономерности динамики и индивидуальных траекторий показателя для здоровых детей и детей групп риска. Это означает, что предложенный подход позволяет определять модельные траектории, которые можно использовать для изучения тенденции изменения показателей для каждой однородной группы и определять принадлежность ребенка однородной группе, тем самым устанавливая риск его заболевания.

Таблица 3. Значения модельных индивидуальных траекторий активности ферментов БДГ (гр/кл) в лимфоцитах

Группы детей	Возраст в сутках									
	1	3	5	7	14	30	90	180	270	360
Здоровый 1	8,32	8,92	9,4	9,77	10,24	8,14	9,47	9,5	9,07	7,2
Здоровый 2	8,25	8,85	9,34	9,72	10,2	8	9,34	9,38	8,95	7,07
Ребенок 1 (1 гр.)	9,05	9,69	10,21	10,6	11,14	9,64	9,88	11,42	11,15	8,94
Ребенок 2 (1 гр.)	8,97	9,62	10,14	10,55	11,09	9,27	9,54	11,09	10,84	8,62
Ребенок 1 (2 гр.)	10,94	11,08	11,21	11,33	11,59	11,65	11,35	11,7	10,61	9,91
Ребенок 2 (2 гр.)	10,87	11,02	11,15	11,37	11,53	11,61	11,31	11,63	10,52	9,82
Ребенок 1 (3 гр.)	10,71	10,82	10,93	11,02	11,25	11,4	11,68	11,54	11,36	10,91
Ребенок 2 (3 гр.)	10,57	10,69	10,8	10,9	11,14	11,3	11,57	11,44	11,26	10,81



а



б

Рис. 2. Реальные (а) и модельные (б) траектории закономерностей: 1) 3-я группа; 2) 2-я группа; 3) 1-я группа; 4) здоровые дети

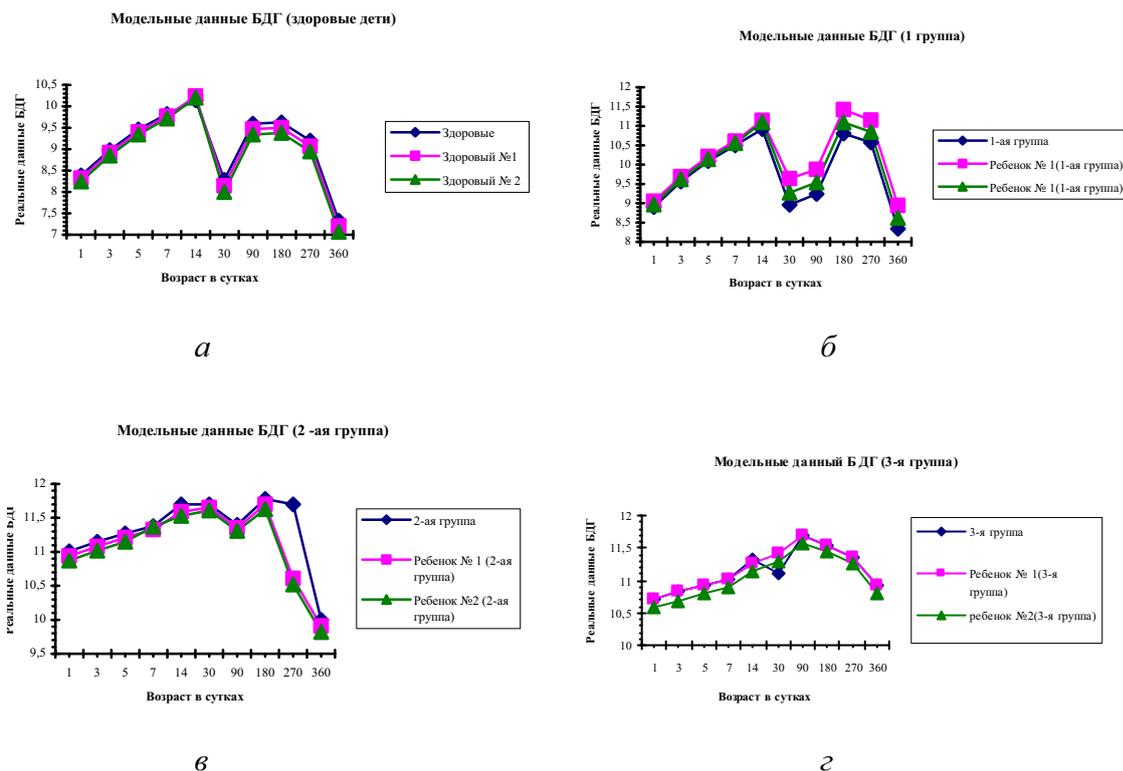


Рис. 3. Модельные траектории закономерностей и индивидуальные модельные траектории детей из группы здоровых и групп риска

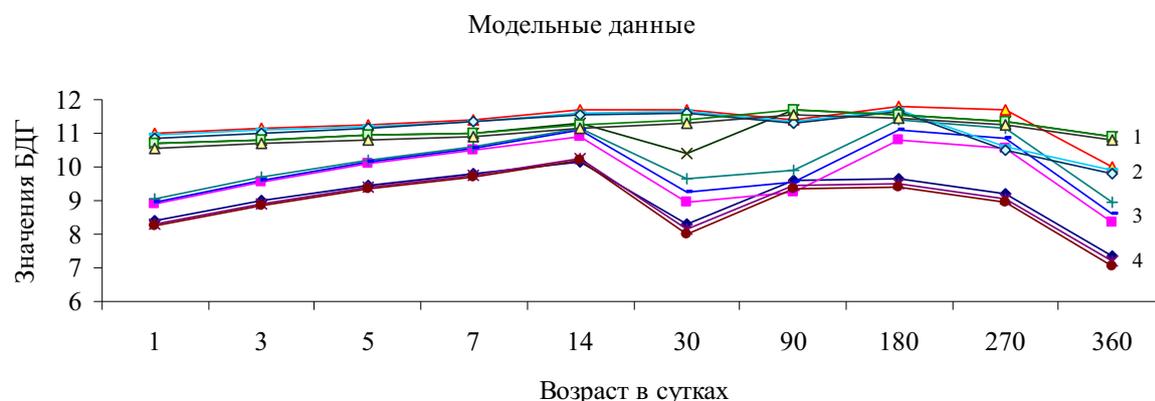


Рис. 4. Модельные траектории закономерностей и принадлежащие им индивидуальные траектории здоровых и групп риска: 1) 3-я группа; 2) 2-я группа; 3) 1-я группа; 4) здоровые дети

Выводы

Рассмотрена возможность использования магистрального отображения закономерности развития биологических систем. Получены аналитические выражения, позволяющие получать объективные

оценки временных закономерностей. Показана возможность создания информационных технологий обработки наблюдений на основе бионических моделей, представляющие практически врачам принимать доказательные выводы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов В.В. Введение в доказательную медицину. – М.: Медиа Сфера, 2001. – 392 с.
2. Васильев В.И., Жернаков С.В. Диагностика состояния авиационных двигателей с использованием нейронных сетей // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2007. – № 10. – С. 34–38.

3. Гаврилов А.И. Нейросетевая реализация процедуры идентификации динамических систем // Автоматизация и современные технологии. – 2002. – № 1. – С. 22–25.
4. Зубков А.В. Предсказание многомерных временных рядов с помощью нейронных сетей // Информационные технологии. – 2002. – № 2. – С. 20–26.
5. Баевский Р.Н., Чернышов М.К. Некоторые аспекты системного подхода и анализа временной организации функций в жи-

- вом организме // В кн.: Теоретические и прикладные аспекты временной организации биосистем. – М.: Наука, 1976. – С. 174–186.
6. Ершов Ю.А., Карпов А.И., Костырин Е.В. Вектор состояния подсистем организма как основа автоматизации медицинской диагностики // Биомедицинские технологии и радиотехника. – 2004. – № 12. – С. 37–42.
 7. Константинова Л.И., Кочегуров В.А., Шумилов Б.М. Параметрическая идентификация нелинейных дифференциальных уравнений на основе сплайн схем, точных на многочленах // Автоматика и телемеханика. – 1997. – № 5. – С. 15–20.
 8. Степанова Е.И., Нарциссов Р.Т., Кочегуров В.А., Константинова Л.И. Прогнозирование здоровья детей раннего возраста. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1987. – 156 с.

Поступила 14.12.2010 г.

УДК 004.822:004.4

СИСТЕМА КОЛЛЕКТИВНОЙ ПОДДЕРЖКИ ОНТОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

И.А. Заикин, А.Ф. Тузовский, В.З. Ямпольский

Томский политехнический университет
E-mail: i@tpu.ru

Рассмотрена модель жизненного цикла онтологии; сформулированы задачи, решаемые на каждом из его этапов. Предложена архитектура системы, обеспечивающей поддержку онтологических моделей на этапах анализа предметной области, реализации, тестирования, внедрения и корректировки несколькими пользователями, каждый из которых может использовать привычный для него редактор онтологий. Предложен вариант реализации системы с использованием компонентов OWL API, Pellet, RCO Fact Extractor SDK и OpenLink Virtuoso.

Ключевые слова:

Онтология, онтологическое моделирование, жизненный цикл онтологии, управление версиями, анализ текста, аксиома онтологии, OWL 2, SPARQL.

Key words:

Ontology, ontology modeling, ontology lifecycle, version control, text analysis, ontology axiom, OWL 2, SPARQL.

Введение

Современные информационные системы позволяют выполнять все более сложную обработку разнотипной, распределенной информации. Происходит переход от работы с синтаксисом документов к работе с их семантикой (смыслом). Интенсивное развитие семантических технологий привело к возможности создания более совершенных информационных систем на основе онтологических моделей. Увеличение количества и разнообразия информации привело к возрастанию сложности онтологических моделей. Современные онтологические модели являются модульными, то есть состоят из множества связанных между собой онтологий, каждая из которых описывает отдельную предметную область или задачу. Онтологические модели не являются статичными, они развиваются в связи с появлением новых данных, изменением предметной области или задачи. Онтологии, как и программное обеспечение, имеют свой жизненный цикл [1–4]. Для создания и поддержки модульных онтологических моделей требуется система, решающая задачи, возникающие на каждом из этапов жизненного цикла.

При создании онтологии от специалистов часто требуется анализ текстов по соответствующей предметной области или задаче, что занимает значительное время. В то же время, существуют инструменты [5], позволяющие автоматически выде-

лать из текста на русском языке ключевые слова, которые могут быть использованы в качестве основы для создания онтологии. Для поддержки постоянно развивающейся модульной онтологической модели требуется совместная работа специалистов, для чего требуется механизм управления версиями. Использование с этой целью классических систем управления версиями, применяемых при разработке программного обеспечения, связано с несколькими проблемами. Онтологическая модель может быть представлена в виде списка рёбер графа, порядок которых не играет роли при интерпретации такого представления, в то время как классические системы управления версиями учитывают любое изменение файла. Кроме того, классические системы управления версиями не позволяют учитывать связь изменений с элементами онтологии и связи между онтологиями в модели.

1. Этапы жизненного цикла онтологии

Рассмотрим этапы жизненного цикла онтологии (рис. 1) и задачи, решаемые разработчиками на этих этапах.

На первом этапе выполняется **анализ осуществимости**, то есть анализ факторов, влияющих на успех онтологии: идентификация проблемных областей, возможностей и потенциальных решений. Выполняется также оценка трудозатрат и стоимости разработки на основе имеющихся знаний о