

ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



1 (20) / 2006

Главный редактор

М. Б. Сергеев,
доктор технических наук, профессор

Зам. главного редактора

Г. Ф. Мощенко

Редакционный совет:

Председатель А. А. Оводенко,
доктор технических наук, профессор
В. Н. Васильев,
доктор технических наук, профессор
В. Н. Козлов,
доктор технических наук, профессор
Ю. Ф. Подоплекин,
доктор технических наук, профессор
Д. В. Пузанков,
доктор технических наук, профессор
В. В. Симаков,
доктор технических наук, профессор
А. Л. Фрадков,
доктор технических наук, профессор
Л. И. Чубраева,
доктор технических наук, профессор, чл.-корр. РАН
Р. М. Юсупов,
доктор технических наук, профессор

Редакционная коллегия:

В. Г. Анисимов,
доктор технических наук, профессор
В. Ф. Мелехин,
доктор технических наук, профессор
А. В. Смирнов,
доктор технических наук, профессор
В. А. Фетисов,
доктор технических наук, профессор
В. И. Хименко,
доктор технических наук, профессор
А. А. Шальто,
доктор технических наук, профессор
А. П. Шепета,
доктор технических наук, профессор
З. М. Юлдашев,
доктор технических наук, профессор

Редактор: А. Г. Ларионова

Корректор: Т. Н. Гринчук

Дизайн: М. Л. Черненко, М. А. Морозов

Компьютерная верстка: А. Н. Колешко, А. А. Буров

Ответственный секретарь: О. В. Муравцова

Адрес редакции: 190000, Санкт-Петербург,

Б. Морская ул., д. 67

Тел.: (812) 710-66-42, (812) 313-70-88

Факс: (812) 313-70-18

E-mail: ius@aanet.ru

Сайт: www.i-us.ru

Журнал зарегистрирован
в Министерстве РФ по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12412 от 19 апреля 2002 г.

Журнал распространяется по подписке.

Подписку можно оформить через редакцию, а также
в любом отделении связи по каталогам:

«Пресса России» – № 42476;

«Роспечать» («Газеты и журналы») – № 15385

УПРАВЛЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ

- Афанасьева В. В., Кубайчук А. Б., Шаповалов В. В.** Построение решающих правил для систем автоматизированного скрининга 2
- Ковалев Д. В.** Модель медико-социальной экспертизы ребенка-инвалида 7
- Воронков К. Л., Шерстюк Ю. М., Романенко А. И.** Методика синтеза структуры витрины данных медико-генетического мониторинга 14
- Манило Л. А., Зозуля Е. П.** Автоматическое распознавание мерцательной аритмии с использованием оценок аппроксимированной энтропии 21
- Бегун П. И., Кривохижина О. В., Сухов В. К.** Компьютерное моделирование и биомеханический анализ критического состояния и коррекции структур сосудистой системы (Часть 2) 28
- Юлдашев З. М., Мухаметшина В. А.** Автоматизированная система для анализа ионного состава биосубстратов 33
- Пахарьков Г. Н.** Проблемы оптимизации медико-технического оснащения отечественного здравоохранения 39
- Василевский А. М., Коноплев Г. А.** Оптико-электронная информационно-измерительная система спектрального анализа состава поликомпонентных сред по доминирующей компоненте 48

ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ

- XII Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» (RLNC-2006) 55
- VII Международная научно-техническая конференция «Кибернетика и высокие технологии XXI века» (C&T-2006) 56
- Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микроэлектронных систем – 2006» (МЭС-2006) 57
- Всероссийская школа молодых ученых «Проблемы и перспективы разработки и практического применения САПР-изделий микроэлектроники» (ШМУ-2006) 58
- Международный научно-методический симпозиум «Современные проблемы многоуровневого образования» 59

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

60

АННОТАЦИИ

63

ЛР № 010292 от 18.08.98.

Сдано в набор 25.01.2006. Подписано в печать 21.02.2006. Формат 60×90/8.
Бумага офсетная. Гарнитура SchoolBookC. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 8,0. Уч.-изд. л. 9,0. Тираж 1000 экз. Заказ 9.

Оригинал-макет изготовлен
в отделе электронных публикаций и библиографии ГУАП.
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в отделе оперативной полиграфии ГУАП.
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

УДК 004.435 + 004.4'423

ПОСТРОЕНИЕ РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СКРИНИНГА

В. В. Афанасьева,

заведующая отделением медицинской профилактики

Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова

А. Б. Кубайчук,

начальник отдела медицинских информационных систем

В. В. Шаповалов,

доктор техн. наук, профессор, директор

Федеральное государственное научное учреждение «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт биотехнических систем»

В статье рассматриваются подходы к построению врачебных решающих правил для автоматизированных систем скринирующей диагностики. Основное внимание уделено применению метода дискриминантных функций и методов нечеткой логики в алгоритмах анализа информации.

Methods of medical decision rules building for automated screening systems are considered in this article. The main consideration has been given to using the discriminant functions method and fuzzy logic methods in information analysis algorithms

Решение большого класса диагностических задач сводится к скринингу текущего или прогнозируемого состояния некоторого объекта (системы). Скрининг (в пер. – просеивание) представляет собой быстроосуществимый тест, который обычно имеет характер экспресс-анализа принадлежности объекта скрининга к некоторой группе объектов [1].

Автоматизация процессов скринирующей диагностики на базе новых информационных технологий (в основе которых лежит применение средств вычислительной техники для частичного или полного осуществления процессов сбора, хранения, преобразования и передачи информации) предполагает создание и внедрение автоматизированных систем скринирующей диагностики (АССД).

В АССД медицинского назначения важнейшую роль играют врачебные решающие правила, на основании которых производится оценивание принадлежности состояния объекта скрининга некоторой области пространства его возможных состояний [2].

Для построения врачебных решающих правил при создании АССД могут быть использованы подходы, основанные на применении метода дискриминантных функций и методов нечеткой логики в алгоритмах анализа информации.

Суть первого подхода, математический аппарат которого подробно описан, в частности, в ра-

ботах [3–5], сводится к построению детерминированной функции $f(\mathbf{x})$, где \mathbf{x} – вектор признаков, принимающий различные значения. В зависимости от значений $f(\mathbf{x})$ принимается та или иная гипотеза.

Различают линейные и нелинейные дискриминантные функции. В линейном случае функция $f(\mathbf{x})$ для n признаков имеет вид

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n C_i X_i + C_0$$

либо является полиномом более высокого порядка.

В случае построения линейных дискриминантных функций существует довольно большое число различных методов для нахождения коэффициентов (C_0, C_1, \dots, C_n) . Простейшим из них является метод наименьших квадратов для нахождения коэффициентов линейной регрессии по обучающей выборке – набору статистических данных о пациентах с известным диагнозом. При этом в случае двухальтернативной ситуации (ставится один из возможных диагнозов – имеется или отсутствует рассматриваемая патология) при наличии одного диагноза соответствующему вектору из обучающей выборки приписывается значение «+1», а в случае другого – «-1». Тогда, если объем обучающей выборки обозначить как m , то коэффици-

енты (C_0, C_1, \dots, C_n) будут находиться из условия минимизации функционала

$$\sum_{k=1}^m \left[(-1)^{x(x^k)} - C_0 - C_1 \mathbf{X}_1^k - \dots - C_n \mathbf{X}_n^k \right]^2,$$

где $\mathbf{X}(\mathbf{X}^k) = 0$, если вектор \mathbf{X} соответствует первому диагнозу, и 1 в противном случае. При этом x_i^k равно 1, если у k -го обследуемого имеется $(i-1)$ -й признак, и 0, если его нет.

Если $m > +1$, то условие минимальности функционала сводится к невырожденной системе из $n+1$ линейных уравнений относительно (C_0, C_1, \dots, C_n), что позволяет легко найти последние. В дальнейшем при использовании построенной таким образом дискриминантной функции будет выноситься тот или иной диагноз в зависимости от знака $f(\mathbf{x})$.

Возможны и иные способы нахождения коэффициентов (C_0, C_1, \dots, C_n), когда условия оптимальности и соответствующий функционал, их определяющий, выбираются из других соображений: максимизация средневзвешенного расстояния векторов обучающей выборки до разделяющей гиперплоскости (вектор, оказавшийся по «чужую» сторону гиперплоскости, соответственно, уменьшает это расстояние, т. е. входит в функционал, определяющий средневзвешенное расстояние, с обратным знаком) и т. д.

Привлекательность описанного выше подхода в значительной мере объясняется простотой соответствующих вычислительных процедур. Он был применен, в частности, при создании программного комплекса АСПОН-Д и подтвердил свою высокую эффективность на практике, поскольку тщательный анализ обучающих выборок на большом объеме информации позволил достаточно точно оценить значимости симптомов [6].

Однако построение более сложной системы АСПОН-РВ (для детей раннего возраста до 3 лет) потребовало, в связи со значительно более сложными отношениями между параметрами и большим объемом входной информации (более 4000 данных на ребенка), применения более сложных методов анализа информации. В этих условиях был успешно использован описанный далее подход, основанный на применении методов нечеткой логики в алгоритмах анализа информации.

Одно из упрощающих предположений, принимаемых с самого начала, состоит в том, что заранее фиксируется обсуждаемый применительно к данному обследуемому диагноз (профиль патологии), а затем дается ответ на вопрос, в какой мере показатели, характеризующие обследуемого, позволяют сделать вывод о наличии у него данного профиля патологии. В простейшем случае ответ может носить бинарный характер, т. е. «нет» или «да», а в общем случае степень уверенности в наличии у данного обследуемого фиксированного профиля патологии может характеризоваться ко-

личественно. При такой схеме заключение по каждому профилю патологии выносится в результате применения специфической для данного профиля процедуры обработки данных обследования без учета возможных корреляций с другими профилями, а полная обработка результатов обследования представляет собой перебор всех профилей патологии с применением соответствующих этим профилям процедур.

Стоит заметить, что такой подход, приемлемый для предварительных профилактических обследований, ориентированных на ограниченное число профилей патологии, не подходит для диагностической системы с большим количеством возможных диагнозов. В этой ситуации система должна сама отбирать в ходе анализа данных обследования ограниченное число возможных диагнозов (профилей патологии), причем не посредством простого перебора всех мыслимых диагнозов (что имело бы неприемлемо высокую трудоемкость), а путем целенаправленного поиска по определенному алгоритму.

Простейший вариант такого алгоритма требует задания древовидной структуры на совокупности профилей (диагнозов) и состоит в последовательном уточнении, т. е. в переходе от некоторой группы диагнозов (профилей патологии) к некоторой подгруппе. При этом для детализации заключения привлекаются данные обследования, которые могли быть не использованы на предыдущих этапах при более грубом анализе. Разумеется, разработка таких непереборных методов целесообразна только в том случае, когда необходимо сократить время компьютерной обработки результатов обследования.

Ограничимся, однако, отдельным рассмотрением различных профилей патологии и в дальнейшем будем считать, что речь идет о некотором фиксированном профиле.

Один из наиболее естественных подходов к решению рассматриваемой задачи состоит в том, что каждому профилю патологии и каждому возможному уровню обобщенного медицинского показателя (ОМП) сопоставляется балльная оценка, отражающая значимость данного уровня ОМП для вынесения заключения о наличии и степени выраженности данного профиля патологии. Затем балльные оценки по всем ОМП, принимаемым в рассмотрение применительно к данному профилю патологии, суммируются, и окончательно классификация обследуемых производится в зависимости от соотношения значений этой суммы и нескольких установленных заранее пороговых значений. Балльные оценки и пороги определяются экспертами и отражают их субъективные представления о связях между ОМП и профилями патологии.

Следует обратить внимание на некоторые проблемы, связанные с описанным подходом.

Первой проблемой можно считать выбор балльных оценок для уровней ОМП применительно к

данному профилю патологии. Сюда же относится вопрос о выборе самих уровней конкретными ОМП и о числе этих уровней.

Вторая проблема связана с вопросом о том, каким образом должна выражаться балльная оценка профиля патологии через балльные оценки отдельных ОМП. Дело в том, что аддитивное выражение, применяющееся в работе [3], не в состоянии передать все представления врача-эксперта о взаимосвязи значений ОМП и данного профиля патологии. Как, например, отразить представление о том, что, скажем, одновременное обнаружение значений некоторой совокупности ОМП уже достаточно для вынесения заключения о наличии данного профиля патологии независимо от значений остальных ОМП?

В обычной аддитивной формуле низкие значения остальных ОМП могут скомпенсировать высокие значения ОМП из указанной совокупности, что не дает возможности по суммарному баллу сделать вывод о наличии данного профиля патологии. Этого можно попытаться избежать посредством перехода от аддитивной модели к линейной, включающей масштабированные множители при каждом из баллов отдельных ОМП. Для выбора таких множителей необходимо произвести разделение ОМП применительно к данному профилю патологии на группы (незначимые, неспецифические, полуспецифические, специфические), для каждой из которых имеется свой характерный масштаб вклада в результирующую балльную оценку. Заметим также, что при таком подходе трудно выразить представление эксперта о том, что достаточная выраженность какого-то ОМП (или нескольких ОМП) свидетельствует об отсутствии данного профиля патологии. Это приводит к мысли о полезности включения в число функций, характеризующих выраженность данного профиля патологии в зависимости от совокупности значений ОМП, неаддитивных и даже нелинейных функций. Такое расширение выразительных возможностей своей обратной стороной имеет проблему выбора вида подобной функции (будем называть ее критерием). Эту задачу в большинстве случаев возлагают на эксперта.

Следует отметить, что для линейных критериев при определенных условиях вид критерия может быть определен с помощью методов математической статистики (в первую очередь, регрессионного и факторного анализа). Для этого необходимы достаточно репрезентативные сведения о наблюдавшихся у обследуемых ОМП и о наличии у них заболеваний, относящихся к данному профилю патологии (сведения по профилю патологии должны быть получены в результате дополнительного специализированного обследования).

Кроме того, существует проблема интерпретации значений критериев, т. е. определения критических порогов и заключений о результатах обследова-

ния, соотносимых с интервалами между соседними порогами.

Далее в общих чертах описан подход, который можно использовать для построения диагностических критериев и который определенным образом позволяет решить указанные выше проблемы.

В качестве средства описания критериев выбрана теория нечетких множеств [6]. Характерными особенностями этого аппарата являются, с одной стороны, почти полный параллелизм с аппаратом классической двузначной логики, а с другой стороны – возможность формализовать представления о степени выраженности того или иного качества (признака). Первое свойство делает этот аппарат удобным для формализации высказываний, сделанных с помощью обычного языка, например представлений экспертов, второе же дает возможность введения достаточно тонких градаций в высказываемые суждения. Данное положение можно проиллюстрировать следующим примером.

Заключение о наличии некоего признака по значениям ряда других признаков может быть выражено в терминах классической логики высказываний в виде формул типа

$$A = (B \wedge \hat{C}) \vee (D \wedge E).$$

Эту формулу можно интерпретировать следующим образом: профиль патологии A приписывается обследуемому тогда, когда у него имеется признак B и отсутствует признак C или имеются признаки D и E . При этом A , B , C , D и E нужно понимать как высказывания об обследуемом. Выделяется некоторое количество элементарных высказываний, а остальные образуются из элементарных с помощью логических связок.

Следует помнить, что каждый признак либо отсутствует, либо присутствует, причем какие-либо промежуточные градации исключаются. Двузначность становится наглядной на так называемом модельном уровне, когда фиксируется некоторое множество S (называемое универсальным), а высказывания понимаются как его подмножества.

В интересующих нас ситуациях S можно понимать как совокупность всевозможных наборов данных обследования. Если при обследовании проверяются N бинарных признаков, то результат одного обследования может быть представлен вектором длины N из нулей и единиц, при этом показатель, соответствующий признаку A , будет стоять на i -м месте ($N \geq i \geq 1$). Объединение всех значений признака A , имеющих в S , образует множество A , являющееся подмножеством множества S .

Все операции над обычными множествами имеют свои аналоги среди операций над нечеткими множествами, но у одной операции может оказаться несколько аналогов, и ни при каком выборе этих аналогов нельзя добиться того, чтобы набор операций над нечеткими множествами обладал всеми свойствами операций над обычными. Поэтому не-

обходима осторожность при экстраполяции обычных представлений.

Наиболее совершенной в этом плане является формальная система, включающая операции \cap , \cup , $-$, константы \emptyset и S [7]. Результаты этих операций над функциями принадлежности выглядят так:

$$\begin{aligned} f_{(A \cup B)} &= f_A \cup f_B; \\ f_{(A \cap B)} &= f_A \cap f_B; \\ \hat{f}_A &= f_S - f_A, \end{aligned}$$

где \cap , \cup обозначают взятие минимума и максимума соответственно, а функция f_S тождественно равна 1. С учетом этих определений операции над нечеткими множествами обладают следующими свойствами: коммутативностью, ассоциативностью, идемпотентностью, дистрибутивностью, инволютивностью и справедливостью теоремы де Моргана.

Формулы, построенные из некоторых базисных нечетких множеств с помощью введенных операций, наиболее понятны с точки зрения классической логики. Свойства, перечисленные выше, позволяют преобразовать формулы к виду, наиболее удобному для вычислений. Функции принадлежности можно задавать аналитически, например дробно-линейной функцией, показательной и пр. Альтернативный способ задания – перечислительный. Например, можно описать функцию принадлежности нечеткого множества формулой

$$f = (ГП_1:0), (ГП_2:0,25), \dots, (ГП_n:0,95),$$

где $ГП_n$ – функция принадлежности для n -й группы признаков, а число, стоящее за $ГП_n$, есть соответствующее значение функции принадлежности.

Введенные ранее выразительные возможности при конструировании формул, выражающих решающие правила, недостаточны, и их можно расширить введением дополнительных операций. Однако при этом структура формул и их смысл становятся менее ясными и у эксперта, составляющего формулу, появляется чрезмерное число степеней свободы, которыми он затрудняется распорядиться. Например, можно ввести две дополнительные операции: алгебраическое произведение $A \otimes B$ и алгебраическую сумму $A \oplus B$:

$$f_{A \otimes B} = f_A \otimes f_B; f_{A \oplus B} = f_A + f_B - f_A \otimes f_B, \hat{f}_A = 1 - f_A.$$

Эти операции удовлетворяют равенствам де Моргана.

Каждая из этих операций, кроме того, ассоциативна. Свойства дистрибутивности для них не имеют места. Для введенных операций выполняются тождества

$$A \otimes \emptyset = 0, A \oplus \emptyset = A, A \otimes S = A, A \oplus S = S.$$

С помощью операции \oplus можно, например, учитывать уровень «фона», определяемого ОМП, не являющимися максимальными.

Для нечетких множеств нет естественного аналога операции импликации, имеющей теоретико-множественное представление $A \rightarrow B \equiv \hat{A} \cup B$. Однако для связанного с этой операцией отношения мажорирования $A \leq B$ или $f_A \leq f_B$ существует нечеткий аналог. Таким образом, на нечетких подмножествах данного универсального множества имеется структура дистрибутивной решетки.

Для применения рассмотренного подхода в интересах обработки данных необходимо задать некоторой функции принадлежности, соответствующей заданному профилю патологии, на множестве возможных наборов результатов обследования. Поскольку такой набор состоит из множества различных компонентов (ответы на вопросы анкеты родителей, данные врачебного осмотра, инструментальные и лабораторные данные и т. д.), непосредственное задание функции принадлежности для всех таких наборов невозможно.

Для этого нужно сначала связать некоторую функцию принадлежности с каждым компонентом данных обследования. Такая функция сопоставляет каждому возможному значению некоторого фиксированного элемента данных обследования числовую характеристику, лежащую в пределах от 0 до 1. Указанные функции принадлежности (которые можно назвать первичными) играют роль атомов в формулах нечеткой логики, выражающих решающие правила диагностики. Однако с их введением появляются только средства, отражающие степень выраженности отдельных диагностических признаков, но нет средств, дающих количественные характеристики парам типа «признак – диагноз» с точки зрения их влияния на выносимое заключение. В линейной статистике подобную роль играют, например, коэффициенты корреляции (регрессии).

В подходах, основанных на формулах логического типа, не всегда оказывается возможным найти выразительные средства для нетривиального отражения подобных отношений. Описанный выше набор операций нечеткой логики оказывается достаточным для решения подобных задач.

Предполагается, что всякий критерий может быть представлен в виде формулы, записанной с помощью операций нечеткой логики. Такая формула выражает функцию принадлежности данного профиля патологии (диагноза) через функции принадлежности ОМП. При этом заранее накладываются некоторые структурные ограничения на вид рассматриваемых формул (свои – для задачи определения профиля патологии и свои – для постановки диагноза). Выбор конкретной формулы, построенной с учетом структурных ограничений и применением только операций «и», «или» и «не», производится врачом-экспертом. Далее эксперт-

ным путем определяются дополнительные связи между профилями патологии (диагнозами) и признаками (симптомами) типа отношения специфичности и т. д. С учетом этой дополнительной информации диагностическая формула преобразуется, для чего используется операция алгебраического произведения \otimes (см. выше). Это преобразование производится чисто механически, без участия врача-эксперта. В результате формула приобретает свой окончательный вид. Для ее применения необходимо сопоставить каждому ОМП также некоторую соответствующую формулу принадлежности.

В заключение следует отметить, что описанные подходы позволяют сократить усилия, необходимые для построения решающих правил, более целесообразным способом организовать процесс создания АССД. В то же время в силу наличия эвристической составляющей в создании врачебных правил роль врача-эксперта остается крайне важной – в конечном итоге именно от результатов его деятельности будет зависеть медицинская эффективность созданной АССД.

Литература

1. Шаповалов В. В., Шерстюк Ю. М. Автоматизированный скрининг – проблема экспертных знаний // Инновации. 2003. № 10 (67). С. 89–91.
2. Шаповалов В. В., Шерстюк Ю. М. Формальная модель автоматизированной системы скринирующей диагностики здоровья населения // Информационные технологии в здравоохранении. 2001. № 8–9. С. 8–10.
3. Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознавания образов. М.: Наука, 1974. 415 с.
4. Ким Дт. О., Мьюлер Ч. У. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
5. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ; подход с использованием ЭВМ: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 488 с.
6. Бернштейн Л. С., Коровин С. Я., Мелихов А. Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
7. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.

УДК 621.391
ББК 32.811
В74

В74 Вопросы передачи и защиты информации: Сборник статей / СПбГУАП. СПб., 2006. 226 с.: ил.
ISBN 5-8088-0168-0

Предлагаемый сборник статей посвящен вопросам создания безопасных информационных технологий. Само понятие «безопасные технологии» рассматривается здесь в самом широком смысле: технологии обеспечения надежной передачи и хранения информации, защиты информации от несанкционированного доступа, построения эффективных сетевых протоколов.

Темы статей фокусируются, в основном, на двух направлениях исследования: методов повышения достоверности передачи информации и систем защиты информации на основе открытых (публичных) ключей. Большинство статей объединяет использование идей и методов теории помехоустойчивого кодирования.

Сборник будет полезен для специалистов и студентов, интересующихся практикой использования кодов, исправляющих ошибки.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу:
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., д. 67, ГУАП,
Фундаментальная библиотека
Телефон: (812) 710-66-42
Факс: (812) 313-70-18
E-mail: ius@aanet.ru



УДК 331.007.61

МОДЕЛЬ МЕДИКО-СОЦИАЛЬНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ РЕБЕНКА-ИНВАЛИДА

Д. В. Ковалев,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

В статье приведено описание модели процесса проведения медико-социальной экспертизы детей-инвалидов, изложена краткая характеристика содержания медико-социальной экспертизы. Описан предложенный и апробированный подход к формализации экспертных сведений и построению адаптивной автоматизированной информационной системы поддержки медико-социальной экспертизы детей-инвалидов, базирующийся на применении метауправления функциональностью.

The paper discusses a model of the medical social examination of disabled children. A method of the expert knowledge formalization is proposed. An approach to the development of an adaptive automated informational system for medical social examination of disabled children is discussed. The study is based on metamanagement of functionality.

Введение

Медико-социальная экспертиза играет одну из наиболее важных ролей в процессе реабилитации детей-инвалидов. Успешность интеграции ребенка-инвалида в общество напрямую зависит от того, насколько оперативно и обоснованно эта экспертиза проведена. Следует отметить, что значимость медико-социальной экспертизы сводится к нулю без наличия развитой функционирующей реабилитационной инфраструктуры. Таким образом, совершенствование двух упомянутых составляющих процесса реабилитации – актуальное направление развития современной медицины.

Медико-социальная экспертиза ребенка-инвалида

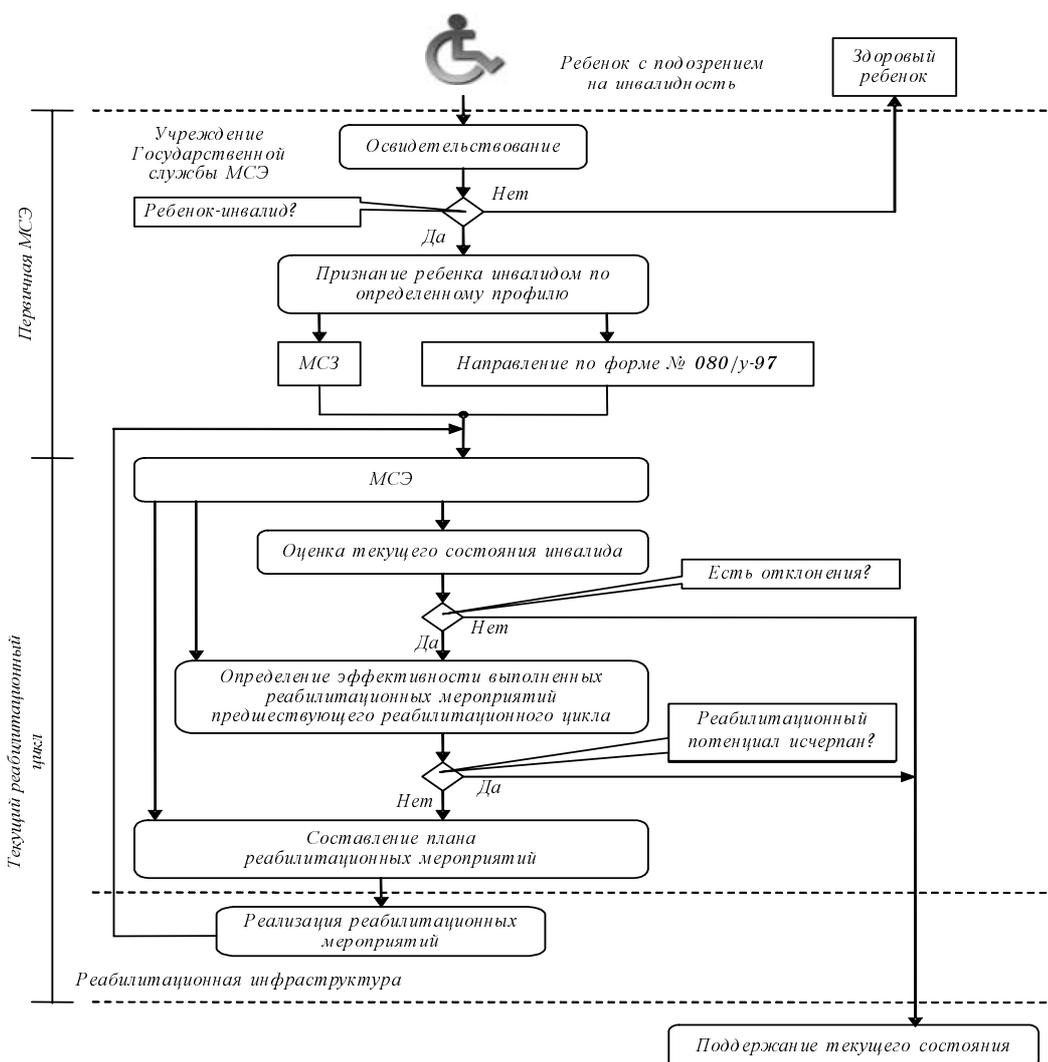
Для восстановления социального статуса инвалида, достижения им материальной независимости и его социальной адаптации необходим процесс реабилитации. Применительно к детям-инвалидам показатели социализации должны рассматриваться в аспектах возможностей самообслуживания ребенка-инвалида, его интеграции в игровую и познавательную деятельность здоровых сверстников, а также в аспекте его будущей интеграции в общество во всех областях жизни последнего.

Согласно действующим в Российской Федерации нормативным документам, в установленный

срок после признания ребенка инвалидом для него должна быть разработана индивидуальная программа комплексной реабилитации (ИПКР). Эта программа составляется в виде перечня реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление способностей инвалида к бытовой, общественной и профессиональной деятельности в соответствии со структурой его потребностей, кругом интересов и уровнем притязаний с учетом прогнозируемого уровня его соматического состояния, психофизиологической выносливости, социального статуса и реальных возможностей социально-средовой инфраструктуры.

Исходным юридическим основанием для начала реабилитационных мероприятий с конкретным ребенком является признание его инвалидом по результатам освидетельствования в учреждении Государственной службы медико-социальной экспертизы (ГСМСЭ). Инвалидность устанавливается по определенному профилю инвалидизации (нозологии) – разделу патологии, изучающему сущность и характер течения отдельных болезней, включая и их описание (нозографию), а также разрабатывающему их классификацию по родственным признакам. Специалисты ГСМСЭ составляют медико-социальное заключение (МСЗ) и направляют по форме № 080/у-97 на медико-социальную экспертизу (МСЭ).

Индивидуальная программа комплексной реабилитации ребенка-инвалида реализуется в форме последовательной цепи реабилитационных циклов



■ Рис. 1. Реализация ИПКР ребенка-инвалида

(рис. 1), каждый из которых включает в себя этап комплексной МСЭ и этап собственно реабилитации.

Медико-социальная экспертиза проводится с целью оценки текущего состояния ребенка-инвалида, определения эффективности реабилитационных мероприятий предшествующего реабилитационного цикла (если он был) и разработки плана реабилитационных мероприятий на текущий временной период реализации ИПКР ребенка-инвалида.

Индивидуальная программа комплексной реабилитации считается законченной (выполненной), если достигнута полная социальная адаптация субъекта или если после завершения некоторого очередного цикла программы реабилитации ребенка-инвалида специалистами ГСМСЭ установлено, что весь имевшийся у ребенка реабилитационный потенциал полностью реализован (исчерпан). Оценить факт исчерпания последнего мож-

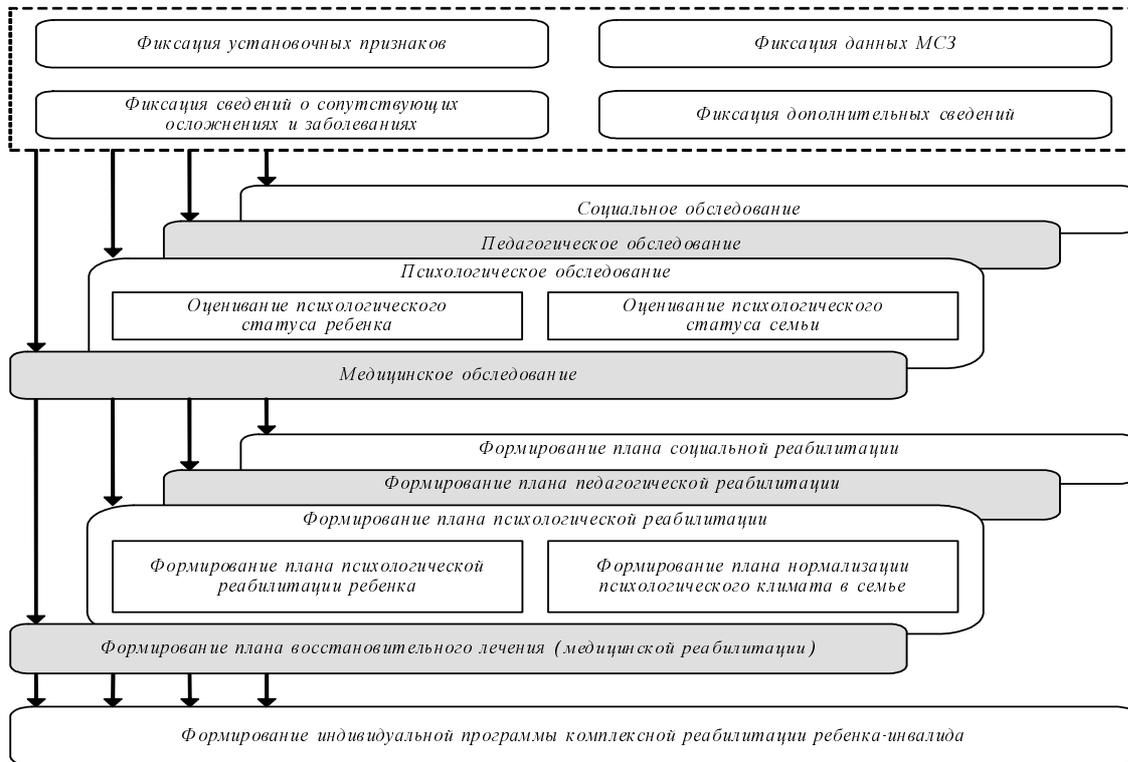
но путем анализа эффективности выполненных реабилитационных мероприятий.

Таким образом, проведение МСЭ является важнейшим мероприятием в процессе реабилитации ребенка-инвалида.

Целесообразность автоматизации проведения МСЭ ребенка-инвалида

В связи с наблюдающимся в России ростом детской инвалидизации и с учетом роли МСЭ прежде всего в жизни (фактически – в судьбе) ребенка-инвалида повышение обоснованности и оперативности проведения МСЭ – актуальная задача, решение которой может быть получено в том числе посредством применения современных информационных технологий и вычислительной техники.

Процедура проведения МСЭ является весьма продолжительной и трудоемкой и требует непо-



■ Рис. 2. Основное содержание проведения МСЭ для ребенка-инвалида

средственного участия экспертов, которые помимо своей основной задачи (назначение реабилитационных мероприятий) вынуждены выполнять ряд рутинных операций для оценки состояния ребенка-инвалида и определения эффективности выполненных реабилитационных мероприятий предшествующего реабилитационного цикла. Существующие методики проведения МСЭ предполагают использование различного рода количественных показателей и оценок, а переход к рекомендациям по реабилитации в вербальной форме осуществляется с помощью соответствующих нормативно-справочных документов. Тем самым можно констатировать, что существующая практика проведения МСЭ малоэффективна в силу множественности рутинных операций, выполняемых сотрудниками органов МСЭ. Такие операции требуют больших непроизводительных трудозатрат на выполнение расчетов и поиск нормативных сведений и чреваты ошибками, последствия которых могут быть крайне негативными.

Средством автоматизации проведения МСЭ может являться информационная система поддержки (ИСП) медико-социальной экспертизы детей-инвалидов, выполняющая функции системы поддержки принятия решений и хранилища данных как о субъекте реабилитации, так и нормативно-

справочных. Очевидно, что первоочередной задачей создания ИСП является разработка модели автоматизируемого процесса.

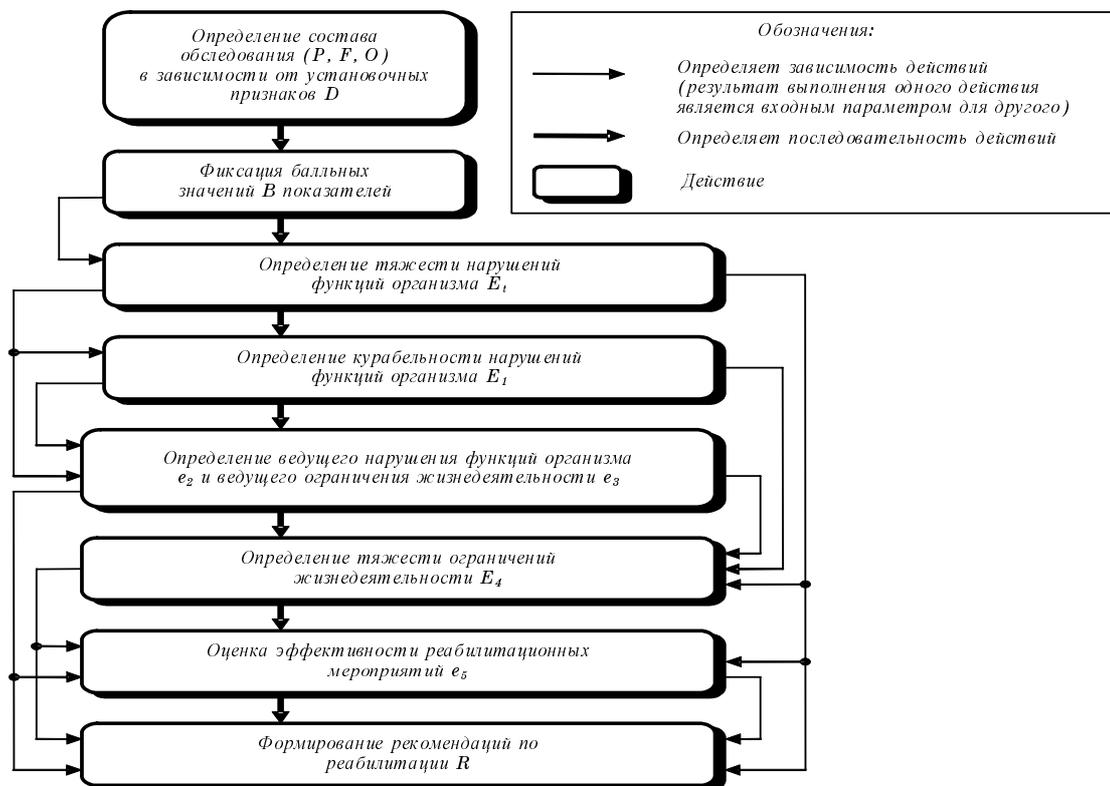
Декомпозиция процесса МСЭ

Основное содержание проведения МСЭ для ребенка-инвалида схематично показано на рис. 2. Проведение МСЭ выполняется в четыре этапа: фиксация исходных данных, проведение обследований, формирование планов реабилитации и формирование ИПКР ребенка-инвалида.

К числу исходных данных относятся:

- установочные признаки, определяющие состав обследований: профиль инвалидизации, пол ребенка, дата рождения, место жительства и т. п.;
- данные МСЭ, сведения о сопутствующих осложнениях и заболеваниях и т. д.

Составляющими комплексной МСЭ являются медицинское, психологическое, педагогическое и социальное обследования. Психологическое обследование предполагает раздельное оценивание психологического статуса ребенка и психологического статуса семьи. Существенно, что из-за использования ряда результатов одних обследований при проведении других медицинского и психологического обследования должны предшествовать педагогическому и социальному.



■ Рис. 3. Порядок проведения типового обследования МСЭ

Декомпозиция типовой составляющей МСЭ

Выполненный анализ показал, что можно построить модель составляющей МСЭ, которая будет адекватна обследованию любого вида.

Проведение обследования (рис. 3) предполагает:

- 1) определение состава обследования в зависимости от установочных признаков;
- 2) экспертное определение значений B множества показателей (в баллах) – первичные оценки;
- 3) расчет количественных оценок E на основании балльных значений B – вторичные оценки;
- 4) анализ оценок E с последующим формированием рекомендаций по реабилитации R .

Структура и порядок обследования МСЭ статичны, в то время как его состав: множество показателей P , множество нарушений функций F и множество ограничений жизнедеятельности O – определяется установочными признаками D :

$$(P, F, O) = g(D),$$

где g – функция определения состава обследований в зависимости от установочных признаков.

К числу вторичных оценок E относятся:

E_t – значения тяжести множества нарушений функций организма;

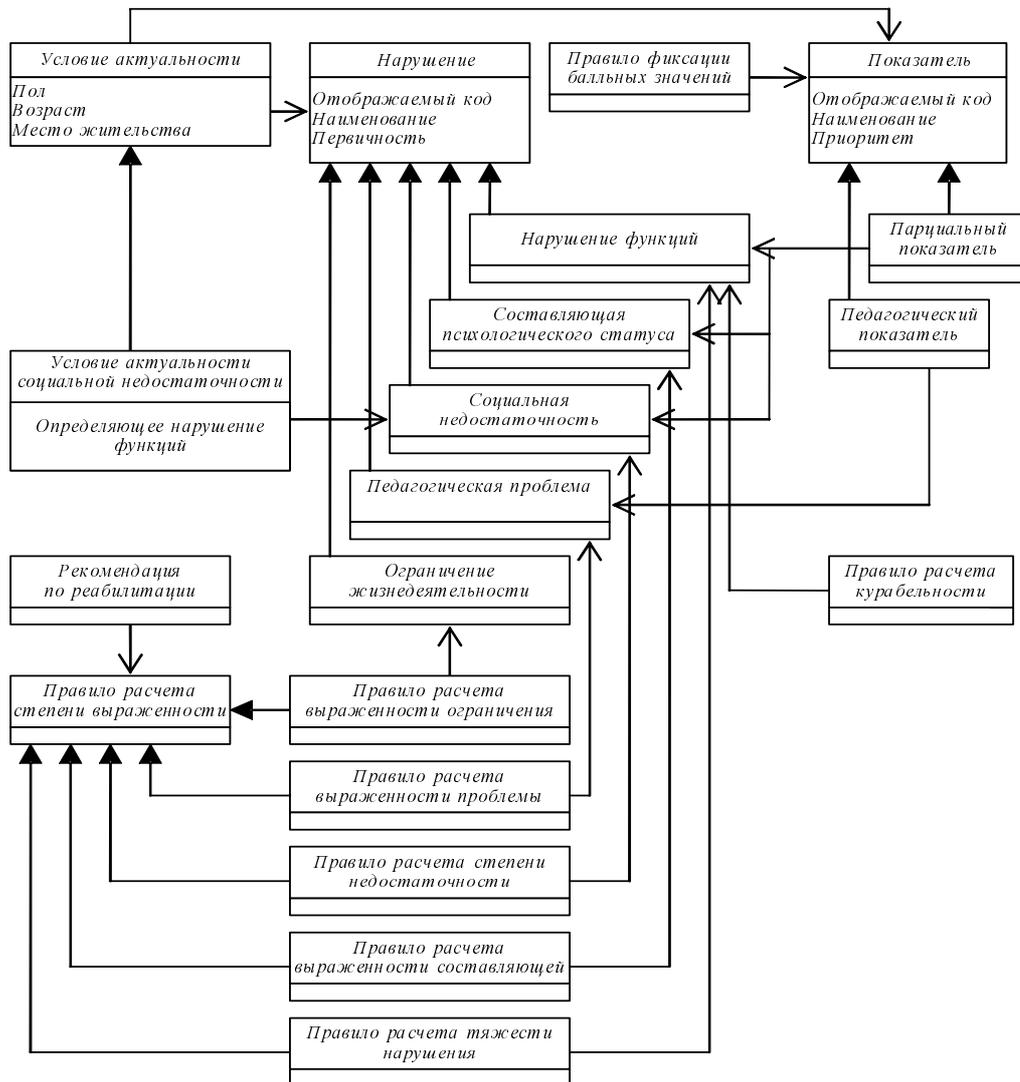
E_1 – значения курабельности множества нарушений функций организма;

e_2 – ведущее нарушение функций организма;
 e_3 – ведущее ограничение жизнедеятельности;
 E_4 – значения тяжести множества ограничений жизнедеятельности;
 e_5 – эффективность реабилитационных мероприятий.

Формально содержание обследования можно представить как суперпозицию следующих функций:

$$R = A(E_t \cup E_c), E_t = C_t(B), E_c = C_c(E_t, E_c),$$

где $E_t = \{e_{ti} | e_{ti} = c_{ti}(B_{ti}), i = \overline{1, n}\}$; $E_c = \overline{E_1} \cup \{e_2\} \cup \{e_3\} \cup E_4 \cup \{e_5\}$; $E_1 = \{e_{1i} | e_{1i} = c_{1i}(e_{ti}), i = \overline{1, n}\}$; $e_2 = c_2(E_t, E_1)$; $e_3 = c_3(E_t, E_1)$; $E_4 = \{e_{4i} | e_{4i} = c_{4i}(E_t, E_1, E_2), i = \overline{1, k}\}$; $e_5 = c_5(E_t, E_2, E_3, E_4)$; $C_t = \{c_{ti}, i = \overline{1, n}\}$; $C_c = C_1 \cup \{c_2\} \cup \{c_3\} \cup C_4 \cup \{c_5\}$; $C_1 = \{c_{1i}, i = \overline{1, n}\}$; $C_4 = \{c_{4i}, i = \overline{1, k}\}$; $B = \{B_{ti} | B_{ti} = \{b_{ti}\}, i = \overline{1, n}\}$; A – множество функций анализа оценок E ; C_t – множество функций расчета оценок E_t ; C_c – множество функций расчета оценок E_c ; C_1 – функции расчета оценок E_1 ; c_2 – функция расчета оценки e_2 ; c_3 – функция расчета оценки e_3 ; C_4 – функция расчета оценок E_4 ; c_5 – функция расчета оценки e_5 ; B_{ti} – балльные значения множества показателей, соответствующих i -му нарушению функций организма; k – ко-



■ Рис. 4. Структура используемых при проведении МСЭ сведений

личество ограничений жизнедеятельности; n – количество нарушений функций организма.

Структуризация используемых для проведения МСЭ сведений

По результатам анализа возможности формализации сведений, используемых в процессе проведения МСЭ, можно выделить следующие ключевые сущности: показатель, нарушение, условие актуальности, правило расчета курбельности, правило расчета степени выраженности, правило фиксации балльных значений и рекомендация по реабилитации. На рис. 4 представлена структура используемых сведений в виде диаграммы сущностей (классов) на языке UML (*Unified Modeling Language*).

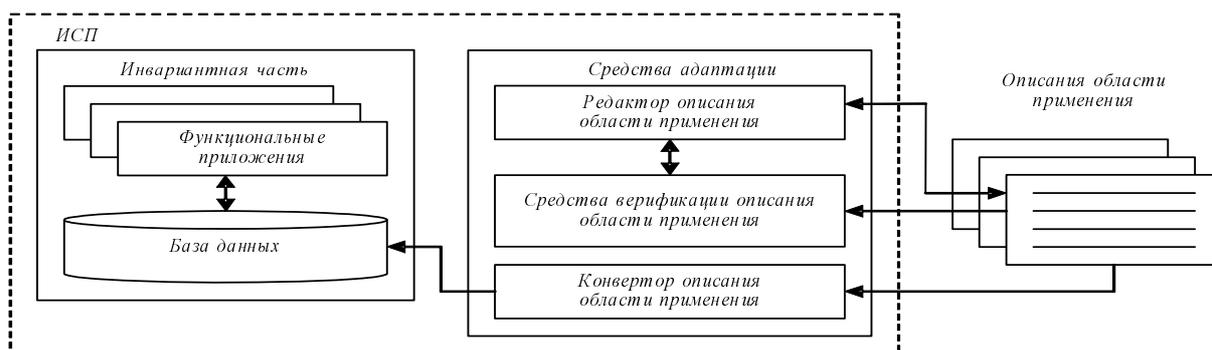
Использование указанных выше сущностей при проведении МСЭ сведено в таблицу.

Формализация экспертных сведений и особенности реализации ИСП

Использование при построении ИСП традиционного (классического) подхода, предполагающего формализацию сведений предметной области в виде базы данных (БД) фиксированной структуры и реализацию алгоритмов обработки предметных данных в виде функциональных приложений, использующих БД, представляется нецелесообразным. Данное утверждение обусловлено тем, что состав МСЭ для разных профилей инвалидизации (нозологий) различен. Следовательно, при использовании традиционного подхода для каждой нозологии требуется разработка отдельных программных комплексов.

Возможность фиксации единой структуры МСЭ и порядка ее проведения, а также структуры ис-

Действие	Сущности
Фиксация балльных значений B	Правило фиксации балльных значений, парциальный показатель, педагогический показатель
Расчет E_t	Нарушение функций, парциальный показатель, условие актуальности, правило расчета тяжести нарушения
Расчет E_1	Нарушение функций, парциальный показатель, условие актуальности, правило расчета тяжести нарушения, правило расчета курабельности
Расчет e_2	Нарушение функций, ограничение жизнедеятельности
Расчет e_3	
Расчет E_4	Нарушение функций, ограничение жизнедеятельности, правило расчета выраженности ограничения
Расчет e_5	Нарушение функций, ограничение жизнедеятельности
Формирование рекомендаций по реабилитации R	Рекомендация по реабилитации



■ Рис. 5. Общая структура ИСП

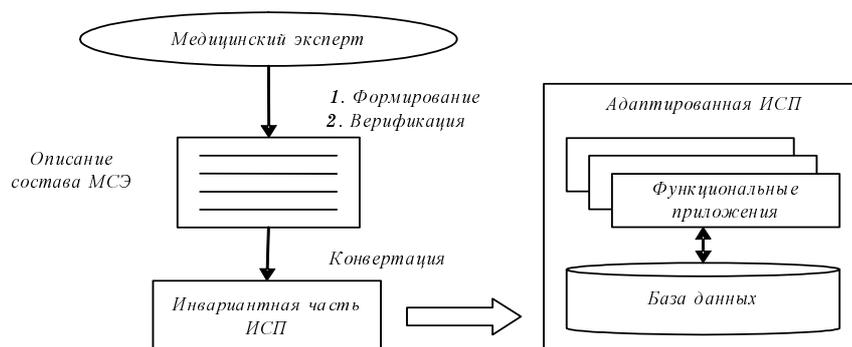
пользуемых при этом сведений позволяет путем применения методологии метауправления [1] построить унифицированную ИСП, программная составляющая которой инвариантна к профилю инвалидизации, что значительно сократит затраты на автоматизацию проведения МСЭ.

Вариант метауправления, который целесообразно использовать в интересах создания ИСП, предполагает построение системы поддержки экспертизы в виде так называемой адаптивной ИС (см., например, [2]), ориентированной на функционирование в различных областях применения при условии, что решаемая задача и структура используемых данных остаются неизменными. Описанные выше результаты анализа содержания процесса МСЭ и структуры используемых сведений показывают, что для ИСП данное условие выполняется.

В составе адаптивной ИС (рис. 5) можно выделить инвариантную часть, реализующую функциональные возможности ИС, средства адаптации

(инструментальные средства), осуществляющие настройку инвариантной части для новой области применения, и множество описаний областей применения на языке представления метаинформации. При этом БД инвариантной части должна содержать группу таблиц статических сведений об области применения. Следует отметить, что в состав инсталляционного пакета адаптивной ИС средства адаптации и описания областей применения входить не должны – конечному пользователю следует предоставлять только инвариантную часть, настроенную для конкретной области применения.

Для ИСП в качестве области применения можно рассматривать профиль инвалидизации. Состав МСЭ для каждой нозологии описывается на языке представления метаинформации. Инвариантная часть ИСП настраивается под конкретную нозологию путем использования средств адаптации, осуществляющих конвертацию описаний сведений, не-



■ Рис. 6. Процедура адаптации ИСП к профилю инвалидизации

обходимых для проведения МСЭ, в соответствующие таблицы статических сведений БД (рис. 6).

Как показали проведенные исследования, для представления метаинформации в ИСП наиболее целесообразно использовать многоуровневую модель [3], в основе которой лежит базовая модель представления (БМП) метаинформации [1]. По способу представления знаний БМП наиболее близка к иерархическим семантическим сетям. Deskриптивные знания в БМП представляются в виде специальным образом организованной семантической сети.

В качестве языка представления метаинформации для ИСП по ряду причин предпочтительным выглядит использование расширяемого языка разметки XML (*Extensible Markup Language*).

Предложенный подход апробирован при разработке программного комплекса «Комплексная реабилитация детей-инвалидов» в рамках работ, предусмотренных в п. 23 «Разработка новых технологий комплексной реабилитации детей-инвалидов по 5 нозологиям» раздела VII «Научно-методическое обеспечение решения проблем детской инвалидности» Постановления Правительства Российской Федерации № 732 «О федеральной целевой программе “Дети России” на 2003–2006 годы» от 3 октября 2002 г.

В результате адаптации инвариантной части ИСП было создано пять программных комплексов по следующим нозологиям: детский церебральный паралич, неврологические заболевания, эндокринные заболевания, нарушения зрения и нарушения слуха.

Заключение

Возможность фиксации единой структуры описания содержания МСЭ и порядка ее проведения позволяет путем применения метауправления построить адаптивную информационную систему поддержки медико-социальной экспертизы детей-инвалидов, программная реализация которой инвариантна к профилю инвалидизации. Как показал опыт практической работы, такой подход значительно сокращает затраты на автоматизацию проведения МСЭ, поскольку отпадает необходимость разработки отдельных программных комплексов для поддержки каждого профиля инвалидизации.

Литература

1. Шерстюк Ю. М. Основы метауправления функциональностью в информационных системах / СПИИРАН. СПб., 2000. 156 с.
2. Елисеев А. Г., Ковалев Д. В. Метауправление в построении медицинских информационных систем // Вторая научная сессия КНМЦ СЗО РАМН симпозиума «Медицинские информационные системы»: Сб. тр. 2005. С. 146–148.
3. Ковалев Д. В. Формализация экспертных знаний для проведения медико-социальной экспертизы детей-инвалидов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и биологии. 2005. Вып. 2. С. 46–53.

УДК 504.75

МЕТОДИКА СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ ВИТРИНЫ ДАННЫХ МЕДИКО-ГЕНЕТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

К. Л. Воронков,

ведущий инженер отдела специальных информационных систем

Ю. М. Шерстюк,

доктор техн. наук, доцент, зам. директора по научной работе

Федеральное государственное научное учреждение «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт биотехнических систем»

А. И. Романенко,

программист

Санкт-Петербургский консультационно-диагностический медико-генетический центр

В статье описаны основные положения методики проектирования структуры единой витрины данных медико-генетического мониторинга, осуществляемого в медико-генетическом центре на основе сведений, аккумулируемых в эксплуатируемых информационных системах учетного типа.

The article treats the principles of design of a common data mart for medical genetic monitoring. The medical genetic monitoring is carried out at a medical genetic centre which uses data accumulated in informational systems of registration type.

Систематическое наблюдение за состоянием генфонда популяции, которое дает возможность оценивать существующий мутационный процесс и прогнозировать его изменения, представляет собой процесс медико-генетического мониторинга (МГМ), осуществляемого медико-генетической службой (МГС). В соответствии с приказом Министра здравоохранения РФ № 316 от 30.12.1993 г. «О дальнейшем развитии медико-генетической службы Министерства здравоохранения Российской Федерации» организация работы МГС РФ строится по территориальному признаку, а ее структура имеет три основных уровня: районный (городской), региональный (межрегиональный) и федеральный.

Региональный уровень МГС представлен региональными и межрегиональными медико-генетическими консультациями (центрами), которые формируются как самостоятельные учреждения или в составе лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ).

Одним из важнейших направлений деятельности медико-генетического центра (МГЦ) является комплексный анализ медико-генетического состояния популяции, своевременное выявление тенденций его развития, оценка влияния на него различных факторов.

Источниками данных МГМ для МГЦ являются как ЛПУ региона, так и его собственные подразделения.

Общая информатизация общества затронула и деятельность МГЦ в целом и их организационно-методических отделов в частности. Ее проявлением стало внедрение в МГЦ информационных систем (ИС) различного назначения, среди которых с позиций сбора данных МГМ можно выделить:

– автоматизированные регистры, ориентированные на персональный учет соответствующих пациентов и по своей сути представляющие электронные хранилища разновидностей медико-генетических карт пациентов;

– ИС, по своим возможностям в большой степени аналогичные автоматизированным регистрам, решающие задачи учета либо всех пациентов МГЦ (ИС типа «Регистратура»), либо отдельной категории с учетом выполняемого специфического обслуживания этих пациентов (ИС типа «Пренатальная диагностика», «Инвазивные операции» и т. д.).

Тем самым, большинство данных, собираемых в интересах МГМ (а в идеальном случае – все данные), могут быть аккумулированы в базах данных (БД) ИС МГЦ. Для решения частных задач анализа данных МГМ возможностей этих ИС обычно достаточно, по крайней мере, для формирования отчетных документов, предусмотренных федеральными нормативами.

Однако комплексный анализ данных МГМ с использованием только ИС учетного типа крайне затруднен по следующим причинам:



■ Рис. 1. Место ВД в автоматизированной системе комплексного анализа данных МГМ

– отсутствие единого информационного поля: по понятийному аппарату (в частности, по классификаторам), по способам учета пациентов и событий (по идентификаторам объектов мониторинга), по реализации (автономные БД различного формата);

– фиксированные и крайне ограниченные возможности по формированию отчетно-статистических документов, отсутствие аналитической обработки собираемых данных;

– разнородность форматов электронного представления формируемых отчетно-статистических документов, невозможность их совместной автоматизированной обработки.

Существенное повышение эффективности комплексного анализа данных МГМ может быть достигнуто за счет применения современных аналитических технологий – оперативной аналитической обработки данных (OLAP – *On-Line Analyzing Processing*) и интеллектуального анализа данных (ИАД) (*Data Mining*) [1].

В свою очередь, применение указанных технологий для комплексного анализа данных МГМ предполагает наличие в МГЦ витрины данных (ВД) – реляционной БД, предназначенной для централизованного накопления данных МГМ, собираемых в региональном МГЦ, и предоставления доступа к этим данным со стороны средств OLAP и ИАД (рис. 1).

На создание и заполнение ВД важнейшее влияние оказывают:

– структура и содержание БД ИС-источников, так как содержимое ВД является производным от возможностей этих ИС по сбору и хранению данных МГМ;

– ориентация ВД на поддержку применения OLAP-технологий, предусматривающих переход от реляционного представления и хранения данных к многомерному.

Проведенный анализ позволил выделить следующие особенности ИС-источников и их БД, существенные с позиций построения и заполнения ВД МГМ:

1) БД ИС-источников помимо данных МГМ содержат множество данных, к нему непосредствен-

но не относящихся: таблицы пользователей, журналы учета работы и т. д.;

2) для ИС возможны разного рода ошибки данных – недопустимые значения, нарушения логических связей и уникальности, целостности ссылок и т. д.;

3) наличие малоинформативных и неинформативных полей, когда, например, при проектировании ИС предусмотрен некий атрибут сущности, но на практике его значение никогда или почти никогда не задается;

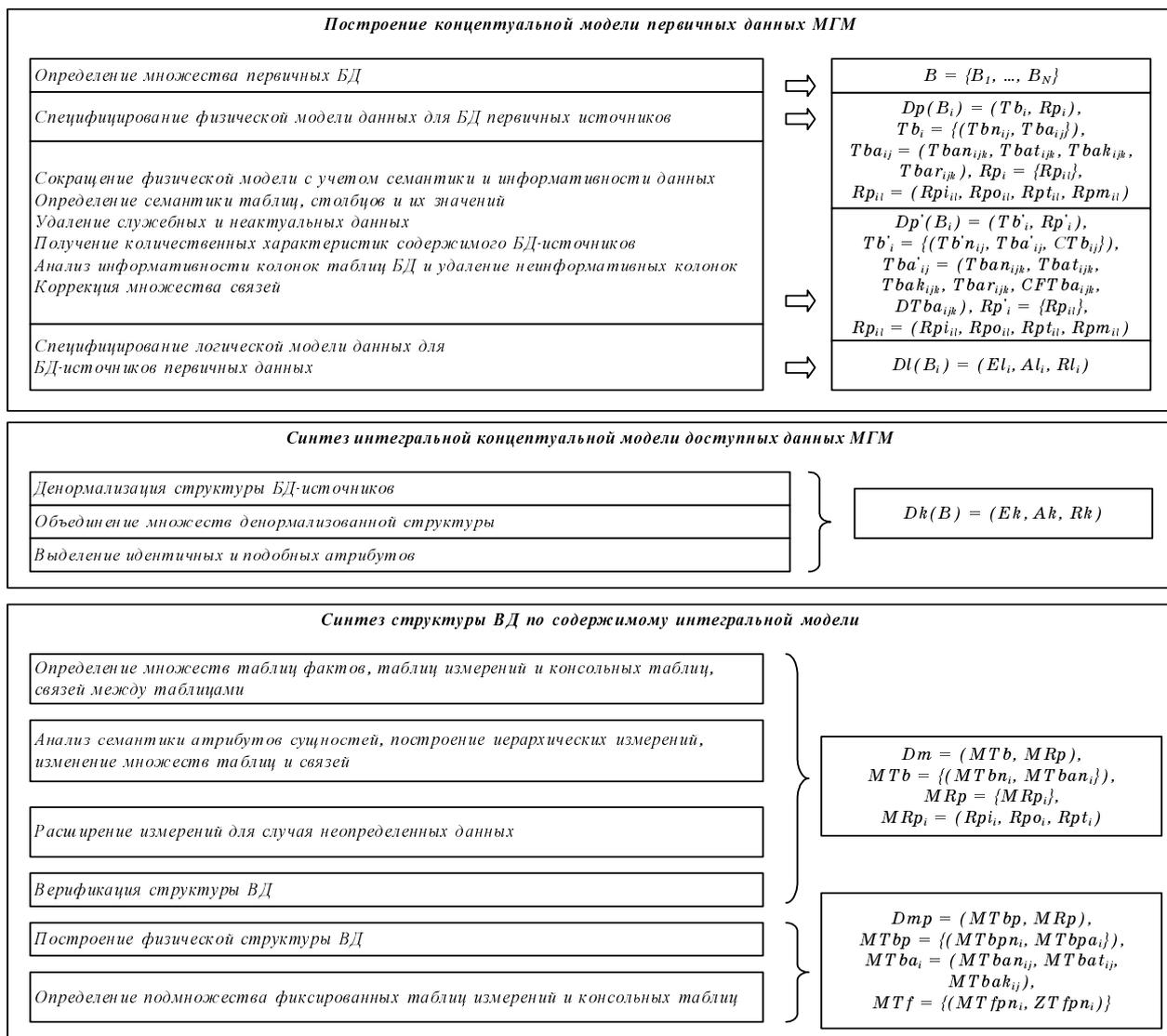
4) в любой ИС учетного типа используются справочники и классификаторы, которые в большинстве своем уникальны – практически единственным унифицированным классификатором является Международный классификатор болезней (МКБ);

5) в учетных ИС практически никогда не ведется протокола (истории) изменений – карта пациента, извещение о врожденном пороке развития (ВПР) могут быть изменены в любой момент (во время или после приема, при поступлении новых сведений из ЛПУ и т. д.). Аналогичная ситуация имеет место и по отношению к справочникам – перечень ЛПУ, наименования улиц и т. д. корректируются пользователями произвольно по мере необходимости без протоколирования изменений;

6) имеются принципиальные объективные сложности с идентификацией объектов мониторинга. Причинами тому могут служить возможные изменения фамилий, адресов проживания и т. д.

Генезис вышеперечисленных проблем достаточно очевиден: ошибки проектирования и программной реализации ИС, недостатки организации применения ИС, ошибки персонала, недостаточная развитость классификационно-справочной базы, системы учета населения, объективные обстоятельства.

Ориентация ВД на поддержку применения OLAP-технологий приводит к тому, что в настоящее время широко используется размерная модель (*Dimensional*) и соответствующая методология проектирования [2–4], предусматривающая использование трех типовых структур (топологий): денормализованной таблицы; топологии (схемы) «звезда» («*star*»); топологии (схемы) «снежинка» («*snowflake*»).



■ **Рис. 2.** Содержание этапов синтеза структуры ВД МГМ

В то же время отсутствуют формальные процедуры синтеза структур ВД – выбор схем, определение состава и связей таблиц производится эвристически [4], и в конечном итоге все сводится к нахождению компромисса между временем выполнения запросов и затратами дисковой памяти и сложностью заполнения хранилища.

Для упрощения решаемой задачи построения ВД с учетом ориентации на OLAP в рамках описываемой методики приняты следующие правила:

- в таблицу фактов помещаются временные метки событий (если они есть), а также уникальные и псевдоуникальные атрибуты (например, фамилия пациента);

- таблицы размерности используются для линейных измерений, иерархических несбалансированных измерений и нижнего уровня иерархии сбалансированных измерений;

- консольные таблицы используются для иерархических сбалансированных измерений – кроме нижнего уровня.

Таким образом, в основе построения ВД лежит формирование ее структуры в виде композиции таблиц фактов, таблиц размерности и консольных таблиц, пригодных для размещения результатов очистки и преобразования первичных данных МГМ с учетом возможностей объединения этих данных по измерениям (справочникам и классификаторам).

Синтез структуры ВД должен выполняться в три этапа (рис. 2):

- 1) построение концептуальной модели первичных данных как множества моделей данных всех БД ИС-источников;

- 2) синтез интегральной концептуальной модели доступных (собираемых) данных МГМ, учиты-

вающей пересечения сведений в моделях первичных данных;

3) синтез структуры ВД по содержимому интегральной модели на базе типовых структур, специфичных для ВД (в том числе из-за ориентации на применение OLAP).

Построение концептуальной модели первичных данных предполагает выполнение следующих действий.

1. Определение множества первичных БД.

Для определения множества БД, которые будут выступать в качестве источников первичных данных МГМ при создании и использовании ВД, необходимо:

– составить список БД информационных систем, эксплуатируемых в МГЦ, и исключить из него те БД, которые не имеют отношения к решению задач комплексного анализа данных МГМ, а также те БД, доступ к которым не обеспечивается телекоммуникационной платформой (вычислительной сетью) МГЦ, а перенос данных из них в ВД посредством машинных носителей нецелесообразен;

– если в МГЦ осуществляется регулярный экспорт всех данных МГМ из одной ИС в другую, исключить из списка те БД, которые являются источниками для процессов экспорта.

Базы данных, оставшиеся в списке, образуют множество B , над которым выполняются дальнейшие действия.

2. Специфицирование физической модели данных для БД первичных источников.

У каждой БД B_i , входящей в B , имеется физическая модель данных, благодаря чему можно получить ее формальные спецификации. Получение спецификаций в данном случае представляет собой часть процесса реинжиниринга БД (*Reverse Database Engineering*), методы и средства которого описаны, в частности, в работах [4–6]. Результатом реинжиниринга существующей БД $B_i \in B$ являются спецификации ее физической модели данных

$$\begin{aligned} Dp(B_i) &= (Tb_i, Rp_i), Tb_i = \{(Tbn_{ij}, Tba_{ij})\}, \\ Tba_{ij} &= (Tban_{ijk}, Tbat_{ijk}, Tbak_{ijk}, Tbar_{ijk}), \\ Rp_i &= \{Rp_{il}\}, Rp_{il} = (Rpi_{il}, Rpo_{il}, Rpt_{il}, Rpm_{il}), \end{aligned} \quad (1)$$

где Tb_i – спецификации таблиц i -й БД, $1 \leq i \leq N$, $N = |B|$; Tbn_{ij} – имя j -й таблицы i -й БД, $1 \leq j \leq Nt_i$, Nt_i – количество таблиц; Tba_{ij} – характеристики столбцов j -й таблицы i -й БД; $Tban_{ijk}$ – имя k -го столбца $1 \leq k \leq Nk_{ij}$; $Tbat_{ijk}$ – тип данных k -го столбца; $Tbak_{ijk}$ – признак ключевого столбца; $Tbar_{ijk}$ – признак обязательности значений; Rp_i – спецификации связей таблиц i -й БД; Rp_{il} – спецификации l -й связи i -й БД; Rpi_{il} – имя родительской таблицы l -й связи; Rpo_{il} – имя дочерней таблицы l -й связи; Rpt_{il} – тип l -й связи 1:1, 1:M; Rpm_{il} – признак обязательности связи.

3. Сокращение физической модели с учетом семантики и информативности данных.

Определение семантики таблиц, столбцов и их значений. Удаление служебных и неактуальных данных.

В спецификации каждой таблицы из Tb_i и каждого столбца Tba_{ij} необходимо добавить вербальный атрибут описания Tbs_{ij} и $Tbas_{ij}$ соответственно, значением которого должно быть описание семантики данной таблицы (атрибута), например, «список обследований», «фамилия», «диагноз» и др. Для определения семантики могут использоваться различные приемы: анализ мнемоники имен таблиц и колонок, анализ хранимых данных, сопоставление содержания записей таблиц и сведений в экранных формах и т. д.

В процессе определения семантики таблиц из множества Tb_i должны быть удалены описания всех таблиц, не содержащих данных МГМ, а из каждого множества Tba_{ij} – всех столбцов, не представляющих интерес с позиций комплексного анализа данных МГМ на региональном уровне.

Получение количественных характеристик содержимого БД-источников. Для каждой j -й таблицы, оставшейся в Tb_i , необходимо получить значение количества имеющихся в ней записей CTb_{ij} , а для каждого k -го столбца, оставшегося в Tba_{ij} , – количество уникальных значений $CUTba_{ijk}$ и количество значений NULL $CNTba_{ijk}$. Для тех столбцов, количество уникальных значений которых не превышает некоторой пороговой величины N_u , целесообразно выполнить частотный анализ этих значений (включая NULL). Результаты этого анализа имеют вид

$$CFTba_{ijk} = \{Zba_{ijkl}, NZba_{ijkl}\}, |CFTba_{ijk}| \leq N_u,$$

где Zba_{ijkl} – l -е значение k -го столбца j -й таблицы i -й БД; $NZba_{ijkl}$ – количество появлений значения Zba_{ijkl} в k -м столбце j -й таблицы i -й БД.

Помимо семантики столбцов зачастую необходимо определять и семантику значений, так как в БД для обозначения символьных значений часто используются числовые и логические (*true/false*) значения. Например, для столбца «пол» может быть принято, что значение 0 означает «мужской», 1 – «женский» или же наоборот. Для подобных столбцов необходимо строить таблицу соответствия вида

$$DTba_{ijk} = \{DNba_{ijkl}, DSTba_{ijkl}\},$$

где $DNba_{ijkl}$ – l -е значение k -го столбца j -й таблицы i -й БД; $DSTba_{ijkl}$ – символьное значение, соответствующее $DNba_{ijkl}$.

Полученные количественные характеристики дают возможность выполнить *анализ информативности колонок таблиц БД и удаление неинформативных колонок*: используя значения показателя информативности колонки $Iba_{ijk} = \max_i (NZba_{ijkl}) / CTb_{ij}$, необходимо исключить столбцы, для которых Iba_{ijk} больше некоторого порогового значения.

Завершающим этапом действий по сокращению физической модели является *коррекция*

множества связей – удаление из Rp_i описаний всех связей, родительская и/или дочерняя таблица которых исключена из множества описаний таблиц.

После выполнения всех указанных выше действий формальные спецификации (1) с учетом введенных обозначений приобретают вид

$$Dp'(B_i) = (Tb'_i, Rp'_i), Tb'_i = \{(Tb'_{ij}, Tba'_{ij}, CTb_{ij}),$$

$$Tba'_{ij} = (Tban_{ijk}, Tbat_{ijk}, Tbak_{ijk}, Tbar_{ijk}, \\ CFTba_{ijk}, DTba_{ijk}),$$

$$Rp'_i = \{Rp_{il}\}, Rp_{il} = (Rpi_{il}, Rpo_{il}, Rpt_{il}, Rpm_{il}),$$

где $Tb'_i \subset Tb_i$, $Tba'_{ij} \subset Tba_{ij}$, $Rp'_i \subset Rp_i$ и множества $CFTba_{ijk}$, $DTba_{ijk}$ могут быть пустыми.

4. Специфицирование логической модели данных для БД-источников первичных данных.

Для каждой БД B_i , входящей в B , спецификации ее логической модели $DL(B_i)$ получаются по $Dp'(B_i)$ путем формирования множеств имен сущностей $\{E_{ij}\}$, имен атрибутов сущностей $\{A_{ij}\}$ и отношений между сущностями $\{Ro_{il}\}$, а также задания отображений Rpe_i , Rpa_i , Rpr_i :

$$Rpe_i(\{Tb'_i\}, \{E_{ij}\}), Rpa_i(\{Tba'_{ijk}\}, \{A_{ij}\}), \\ Rpr_i(\{Rp'_i\}, \{Ro_{il}\}),$$

где E_{ij} – имя сущности; A_{ijk} – имя атрибута сущности; Ro_{il} – имя отношения между сущностями.

Таким образом, получение спецификаций логической модели данных для БД B_i для БД ИС-источников заключается в переходе от таблиц, столбцов и связей к соответствующим сущностям, атрибутам и отношениям, а отображения Rpe_i , Rpa_i , Rpr_i фиксируют содержание этого перехода. Это действие – обратное переходу от логической структуры к физической структуре БД.

Следует учитывать, что одна таблица физической структуры может:

- не соответствовать ни одной сущности (таблица-справочник, используемая для хранения значений атрибута (атрибутов) и появившаяся в физической структуре как результат нормализации, например наименования улиц);
- соответствовать одной сущности – пациент, диагностическая процедура, беременность и т. д.;
- соответствовать двум и более сущностям.

Синтез интегральной концептуальной модели доступных данных МГМ $Dk(B)$ заключается в преобразовании множеств $\{El_1, \dots, El_N\}$, $\{Al_1, \dots, Al_N\}$, $\{Rl_1, \dots, Rl_N\}$ в множества Ek, Ak, Rk соответственно путем выполнения:

- приведения логической структуры БД B_i к первой нормальной форме, сопровождаемого элиминацией атрибутов, служащих для реализации соответствующих реляционных отношений – в результате денормализации исходные множества $\{El_1, \dots, El_N\}$, $\{Al_1, \dots, Al_N\}$, $\{Rl_1, \dots, Rl_N\}$ преобразуются в множества $\{E'_{l_1}, \dots, E'_{l_N}\}$, $\{A'_{l_1}, \dots, A'_{l_N}\}$, $\{R'_{l_1}, \dots, R'_{l_N}\}$ соответственно;

- объединения множеств $\{E'_{l_1}, \dots, E'_{l_N}\}$, $\{A'_{l_1}, \dots, A'_{l_N}\}$, $\{R'_{l_1}, \dots, R'_{l_N}\}$ в множества Ek, Ak, Rk соответственно, при выполнении которого всем идентификаторам сущностей, атрибутов и отношений приписывается квалификационное имя, идентичное имени соответствующей базы данных;

- выделения идентичных и подобных атрибутов.

Если первое и второе действия элементарны, то на третьем следует остановиться более подробно.

Пусть имеются два атрибута A_1 и A_2 со своими множествами допустимых значений D_1 и D_2 соответственно. Если для столбца, соответствующего атрибуту, множество $Dtba$ не пусто, то в качестве домена этого атрибута следует использовать символические имена $DSTba$.

Будем считать, что:

- A_1 эквивалентен A_2 ($A_1 \equiv A_2$), если они семантически идентичны и при этом множества их значений D_1 и D_2 совпадают;

- A_1 подобен A_2 ($A_1 \approx A_2$), если они семантически идентичны и при этом $D_1 \subset D_2$.

Для обработки идентичных и подобных атрибутов до тех пор, пока $\exists(i, j): ((i \neq j) \wedge (A_i, A_j \in Ak) \wedge ((A_1 \equiv A_2) \vee (A_1 \approx A_2)))$, необходимо выполнить следующие действия:

- добавить в Ek новую сущность для хранения значений атрибута A_1 ;
- добавить новое отношение «характеризует» типа $1:M$ между добавленной сущностью и всеми сущностями, которые содержат атрибут A_1 или A_2 ;
- атрибуты A_1 и A_2 исключить из Ak .

Данный алгоритм неприменим к атрибутам, являющимся временными метками или количественными характеристиками.

Синтез структуры витрины данных по содержанию интегральной модели.

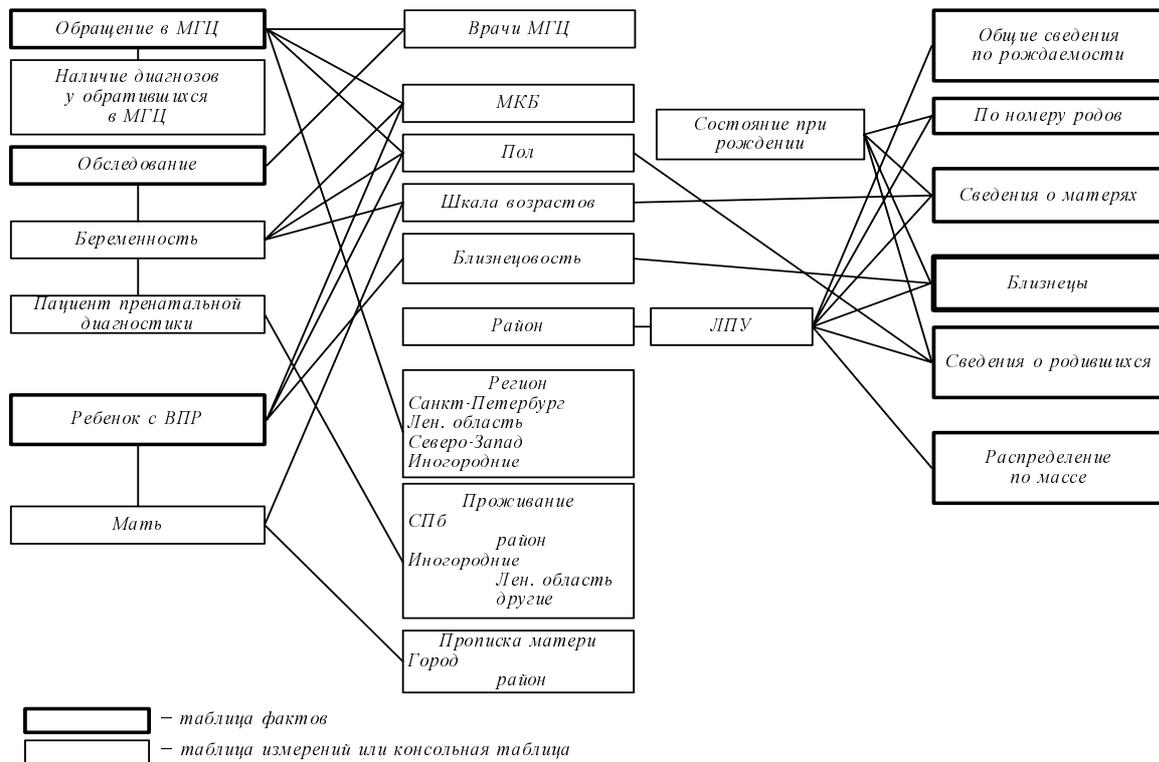
Применение в ВД типовых схем данных «звезда» и «снежинка» накладывает определенные ограничения на логическую структуру ВД. Основные правила ее синтеза достаточно просты:

- каждой сущности интегральной концептуальной модели, соответствующей событию МГМ и (как правило) содержащей атрибут – временную метку этого события, ставится в соответствие таблица фактов;

- сущности, непосредственно связанные с сущностями-фактами, образуют таблицы измерений, а остальные сущности – консольные таблицы.

Однако необходимо учитывать иерархические измерения, неопределенность исходных данных и требования к топологии ВД.

Иерархические измерения могут быть естественными (как, например, в случае МКБ) или искусственными. Искусственное измерение образуется во время синтеза структуры ВД путем анализа семантики атрибутов сущностей. Так, например, если сущность «пациент МГЦ» имеет атрибуты «проживание» с доменом {«в Санкт-Петербурге», «в области»} и «район города», то очевидно,



■ Рис. 3. Пример структуры ВД МГЦ

что можно построить простое иерархическое измерение, разместить его в отдельной таблице измерений, а оба атрибута исходной сущности заменить идентификатором записи в построенной таблице измерений.

Иерархические измерения могут быть сбалансированными и несбалансированными [7]. Сбалансированное измерение (например, «ЛПУ – район») следует размещать в связанных таблицах, а несбалансированное измерение – в одной таблице, в которой для обозначения иерархии вводится атрибут «предок».

Если некоему атрибуту сущности ВД соответствует столбец таблицы БД-источника, для которого разрешена необязательность значений ($Tbar_{ijk} = 0$, даже если $CNTba_{ijk} = 0$), то в соответствующее измерение должно добавляться значение «нет данных» (или что-то, ему аналогичное). Для иерархического измерения возможна ситуация, когда значение «нет данных» нужно вводить на нескольких уровнях иерархии.

Основное требование к топологии ВД можно сформулировать так:

- от каждой таблицы фактов может быть один и только один путь по отношению «дочерняя – родительская» к каждой таблице измерений или консольной таблице;

- от каждой консольной таблицы или таблицы измерений должен быть путь по отношению «ро-

дительская – дочерняя», по крайней мере, к одной таблице фактов.

При этом следует учитывать, что в принципе возможна ситуация, когда некая таблица выступает в качестве таблицы фактов и одновременно является таблицей измерений для другой таблицы фактов. Так, на рис. 3 схематично изображена логическая структура ВД, в которой таблица «Беременность» является и самостоятельной таблицей фактов, и таблицей измерений для таблицы «Обследование».

Результат синтеза логической структуры ВД Dm можно формально представить в виде

$$Dm = (MTb, MRp), MTb = \{(MTbn_i, MTban_i)\}, MRp = \{MRp_i\}, MRp_i = (Rpi_i, Rpo_i, Rpt_i), \quad (2)$$

где MTb – множество таблиц ВД; MRp – множество отношений между таблицами в ВД; $MTbn_i$ – имя i -й таблицы; $MTban_i$ – множество имен атрибутов i -й таблицы; MRp_i – описание связи типа Rpt_i от таблицы Rpi_i к таблице Rpo_i .

Наличие логической структуры позволяет осуществить построение физической структуры ВД Dmp в виде

$$Dmp = (MTbp, MRp), MTbp = \{(MTbpn_i, MTbpa_i)\}, MTba_i = (MTban_{ij}, MTbat_{ij}, MTbak_{ij}),$$

где $MTbr$ – множество таблиц ВД; MRp – множество отношений между таблицами в ВД [идентично MRp в (2)]; $MTbpr_n$ – имя i -й таблицы; $MTbra_i$ – множество описаний столбцов i -й таблицы; $MTban_{ij}$ – имя j -го столбца i -й таблицы; $MTbat_{ij}$ – тип данных j -го столбца i -й таблицы; $MTbak_{ij}$ – признак ключевого столбца; MRp_i – описание связи типа $Rpt_i (1:1, 1:M)$ от таблицы Rpi к таблице Rpo_i .

Синтез физической структуры учитывает специфику системы управления базой данных, под управлением которой создается и будет функционировать ВД. В частности, это относится к правилам назначения (записи) имен таблиц и столбцов и поддерживаемым типам данных.

Завершающим действием, выполняемым при синтезе структуры ВД, является определение подмножества фиксированных таблиц измерений и консольных таблиц

$$MTf = \{ (MTfpr_n, ZTfpr_n) \},$$

где $MTfpr_n$ – имя таблицы (из числа); $ZTfpr_n$ – множество значений полей всех записей таблицы $MTfpr_n$.

К числу таких таблиц относятся таблицы с искусственными измерениями – как линейными, так и иерархическими. Эти таблицы являются неизменными (по крайней мере до перепроектирования ВД) и могут быть заполнены сразу после разметки.

Тем самым, конечным практическим результатом синтеза структуры ВД являются SQL-скрипты для разметки ВД и заполнения ряда ее таблиц.

Работа выполнена при поддержке «Фонда действия отечественной науке», РФФИ (проект № 05-07-90088).

Литература

1. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 336 с.
2. Решение проблемы комплексного оперативного анализа информации хранилищ данных // СУБД. 1997. № 5–6. С. 47–51.
3. Львов В. Создание систем поддержки принятия решений на основе хранилищ данных / С. Д. Коровкин, И. А. Левенец, И. Д. Ратманова и др. // СУБД. 1997. № 3. С. 30–40.
4. Маклаков С. В. VPwin и ERwin. CASE-средства разработки информационных систем. М.: Диалог-МИФИ, 1999. 256 с.
5. Кузнецов С. Д. Введение в информационные системы // СУБД. 1997 № 2. С. 83–96.
6. Кузнецов С. Д. Основы современных баз данных. М.: Центр Информационных Технологий, 1998. 263 с.
7. Федоров А., Елманова Н. ADO в Delphi: Пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 816 с.

УДК 519.2(075)

ББК 22.176я73

Е78

Ерош И. Л., Сергеев М. Б., Соловьев Н. В.

Е78 Дискретная математика: Учеб. пособие /СПбГУАП. СПб., 2005. 144 с.: ил.

ISBN 5-8088-0169-9

Учебное пособие содержит как традиционные разделы дискретной математики: теорию множеств, булеву алгебру, комбинаторику, теорию графов, – так и ряд разделов, которые обычно не входят в учебники по дискретной математике, но исключительно важны для специалистов в области вычислительной техники, а именно: теорию дискретных групп, теорию чисел, теорию разрядных вычислений.

Пособие ориентировано на студентов технических университетов, аспирантов и преподавателей дисциплины «Дискретная математика».

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу:
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., д. 67, ГУАП,
Фундаментальная библиотека
Телефон: (812) 710-66-42
Факс: (812) 313-70-18
E-mail: ius@aanet.ru



УДК 612.17:616-073.584

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ МЕРЦАТЕЛЬНОЙ АРИТМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЦЕНОК АППРОКСИМИРОВАННОЙ ЭНТРОПИИ

Л. А. Манило,

канд. техн. наук, доцент

Е. П. Зозуля,

магистрант

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Рассматриваются теоретические подходы к распознаванию нерегулярных процессов, основанные на анализе параметров аппроксимированной энтропии. Обсуждаются результаты модельных и реальных экспериментов, а также методы построения и критерии эффективности дискриминантных функций, используемых для обнаружения мерцательной аритмии на фоне других нарушений ритма.

Theoretical approaches to recognition of the irregular processes, based on the analysis of approximated entropy parameters are considered. The results of model and real-life experiments are discussed. The research provides the construction and criteria of efficiency of the discriminant functions used or detecting the atrial fibrillation against a background of other rhythm disturbances.

Мерцательная аритмия (фибрилляция предсердий, atrial fibrillation) – нарушение ритма сердца, характеризующееся частым и нерегулярным возбуждением волокон миокарда предсердий, а также полной разнородностью сокращений по силе и частоте. Волна возбуждения по миокарду предсердий при их мерцании распространяется совершенно неупорядоченно, т. е. носит хаотический, асинхронный характер, степень проведения импульса через атриовентрикулярный узел непрерывно изменяется, и в результате взаимодействия этих сложных электрофизиологических механизмов продолжительность сердечных циклов значительно колеблется и носит случайный характер.

Основным электрокардиографическим проявлением этой аритмии является отсутствие P -зубцов на ЭКГ. Вместо волны P на ЭКГ регистрируются нерегулярные волны мерцания предсердий с частотой 350–700 колебаний в минуту (волны f мерцаний), что приводит к образованию изоэлектрической линии в волнообразную кривую. Нерегулярность желудочковых сокращений, т. е. отчетливые различия в продолжительности интервалов RR – другой важный признак мерцательной аритмии [1].

Мерцательная аритмия – один из наиболее часто встречающихся видов аритмий, по распространенности она уступает лишь только экстрасистолии. В то же время эта аритмия вызывает опасные нару-

шения гемодинамики и резко снижает работоспособность человека. Кроме того, мерцательная аритмия отличается опасным прогнозом из-за возможных гемодинамических последствий и требует применения срочной антиаритмической терапии с целью уменьшения риска тромбоэмболических осложнений, включая инсульт. Учитывая опасность для жизни больного некоторых из осложнений, очень важно своевременно выявить наличие мерцательной аритмии и принять соответствующие меры [2].

В настоящее время существует несколько методов автоматической диагностики мерцательной аритмии, основанных, например, на импульсной декомпозиции сигнала [3], анализе нарушения по остаточной ЭКГ [4] или обработке дифференцированного ЭКГ-сигнала [5]. Эти методы анализируют характерные особенности f -волн электрокардиосигнала и предназначены в основном для решения исследовательских задач. Они не отвечают жестким требованиям работы в реальном времени и не обладают необходимым уровнем чувствительности и специфичности при распознавании мерцательной аритмии. В практических задачах для обнаружения мерцательной аритмии используют графические методы анализа ритма: построение скаттерограммы, анализ гистограммы RR -интервалов, а также обработка трехмерной скаттерограммы. Эти методы дают наглядную информацию о характере ритма сердца,

т. е. являются визуальными методами анализа последовательности кардиоциклов, но не решают задачу автоматической диагностики мерцательной аритмии.

Исследования последних лет свидетельствуют о возрастании интереса к использованию в анализе сердечного ритма методов нелинейной динамики. Сигналы ЭКГ можно трактовать как процессы, генерируемые режимом динамического хаоса. Это представление позволяет существенно расширить спектр количественных критериев для диагностики состояний сердечно-сосудистой системы, используя совокупность характеристик для оценки детерминированного хаоса. Так, например, в работах [6, 7] в качестве такого критерия было предложено использовать значения аппроксимированной энтропии.

Аппроксимированная энтропия – это величина, количественно определяющая степень сложности сигнала. Впервые она была предложена Пинкусом в 1991 г. [6]. В настоящее время аппроксимированная энтропия используется для анализа различных биосигналов, таких как ЭКГ, ЭЭГ и др.

В данной работе исследуется возможность применения аппроксимированной энтропии для анализа динамических свойств ряда кардиоинтервалов и впервые решается задача диагностики мерцательной аритмии по нескольким оценкам этой характеристики. Рассмотрим методику решения данной задачи.

Пусть имеется выборка отсчетов исходных данных $\langle x(n) \rangle = x(1), x(2), \dots, x(N)$, где N – длина выборки. Вначале зададим значения двух параметров: m – длина цепочки (последовательности отсчетов); r – величина порога, которая является параметром фильтра шумов. Процедура вычисления аппроксимированной энтропии включает в себя следующие шаги.

1. Формируем векторы $\mathbf{X}(1), \dots, \mathbf{X}(N - m + 1)$, определяемые выражением $\mathbf{X}(i) = [x(i), x(i + 1), \dots, x(i + m - 1)]$, $i = 1, N - m + 1$.

2. Определим расстояние между $\mathbf{X}(i)$ и $\mathbf{X}(j)$, $d[\mathbf{X}(i), \mathbf{X}(j)]$ как максимальную абсолютную разность между их соответствующими скалярными элементами, т. е.

$$d[\mathbf{X}(i), \mathbf{X}(j)] = \max_{k=0, m-1} [|x(i+k) - x(j+k)|].$$

3. Вычислим $C_r^m(i) = N^m(i)/(N - m + 1)$, где $N^m(i)$ – количество значений $d[\mathbf{X}(i), \mathbf{X}(j)]$, удовлетворяющих выражению $d[\mathbf{X}(i), \mathbf{X}(j)] \leq r$ ($j = 1, \dots, N - m + 1$).

4. Найдем натуральный логарифм от каждого $C_r^m(i)$ и усредним его значение по индексу i :

$$\theta^m(r) = \frac{1}{N - m + 1} \sum_{i=1}^{N-m+1} \ln C_r^m(i).$$

5. Увеличим значение m до $m+1$. Повторим шаги 1–4 и найдем значения $C_r^{m+1}(i)$, $\theta^{m+1}(r)$.

6. Аппроксимированная энтропия определяется как величина

$$ApEn(m, r) = \lim_{N \rightarrow \infty} [\theta^m(r) - \theta^{m+1}(r)].$$

Для ограниченной выборки длины N

$$ApEn(m, r, N) = \theta^m(r) - \theta^{m+1}(r). \quad (*)$$

Значение аппроксимированной энтропии зависит от параметров m и r . Пинкус предложил принять значение $m = 2$ и r равным $(0.1, 0.25) \cdot SD_x$, где SD_x – стандартное отклонение исходной выборки:

$$SD_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N \left[x(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n) \right]^2}.$$

Выполнение этих расчетов занимает длительное время, поэтому в работе [7] был предложен быстроедействующий алгоритм. Блок-схема реализованного в данной работе алгоритма обработки представлена на рис. 1.

На основе результатов проведенных исследований было решено рассчитывать значения аппроксимированной энтропии при $r = 0.15 \cdot SD_x$ и $m = 1 - 6$.

Рассмотрим подробнее основные свойства этой характеристики сигнала.

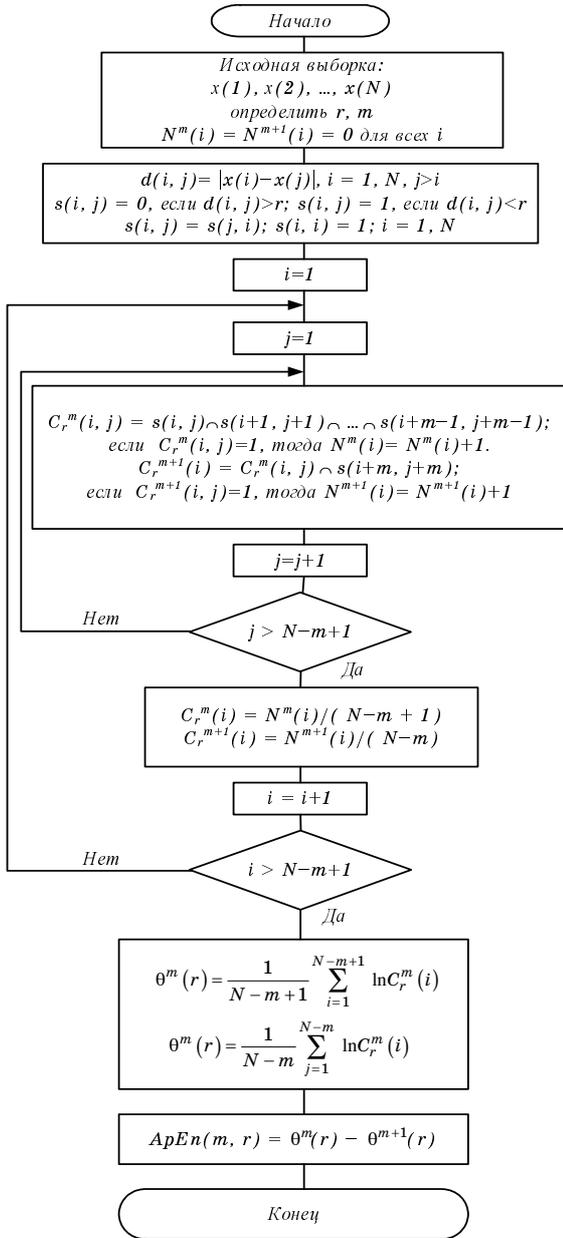
Аппроксимированная энтропия отражает степень сложности сигнала – чем выше его регулярность, тем меньше значение этой величины. Она позволяет получать надежные оценки, используя короткие выборки данных. Проведенный эксперимент показал, что для выборок размером в 300 отсчетов, как и для более длинных последовательностей, получаются устойчивые значения энтропии.

Аппроксимированная энтропия нечувствительна к кратковременным неустойчивостям помехам. Как сказано ранее, эта нечувствительность определяется выбором подходящего значения порога r : если величина r больше амплитуды шума, то его влияние будет эффективно устранено. Проиллюстрируем это явление следующим примером. Пусть гармонический сигнал $s(k) = 3 \cos(\pi k / 20)$ «загрязнен» шумом $n(k)$. Наблюдаемая выборка $x(k)$ имеет вид

$$x(k) = s(k) + cn(k),$$

где $n(k)$ равномерно распределен в пределах от -1 до $+1$; c – коэффициент, определяющий его интенсивность. Значение r для сигнала $s(k)$ равно 0.319. Помехоустойчивыми являются значения $ApEn$ при всех значениях m , кроме $m = 1$ (рис. 2). При $c < r$ значения $ApEn$ ($m = 2 \dots 6$) постоянны и увеличиваются с ростом c лишь в случае, когда амплитуда шума превысит величину заданного порога r .

Аппроксимированная энтропия может применяться для анализа как детерминированных хаотических процессов, так и стохастических сигналов. Более того, она обладает способностью распознавать смешанные процессы, состоящие из детерминиро-

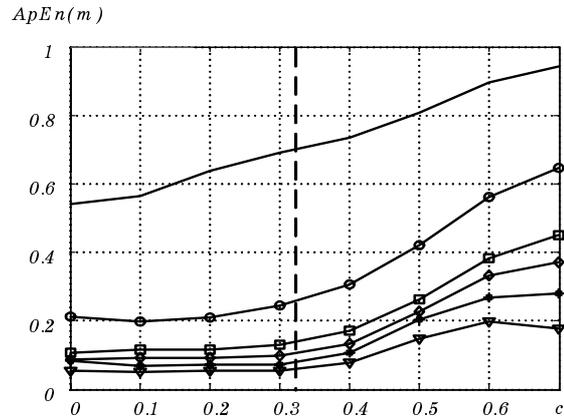


■ Рис. 1. Блок-схема алгоритма вычисления параметров аппроксимированной энтропии

ванных и случайных компонентов, появляющихся с различной вероятностью. Чтобы показать это, определим смешанный процесс $M_k(p)$ как

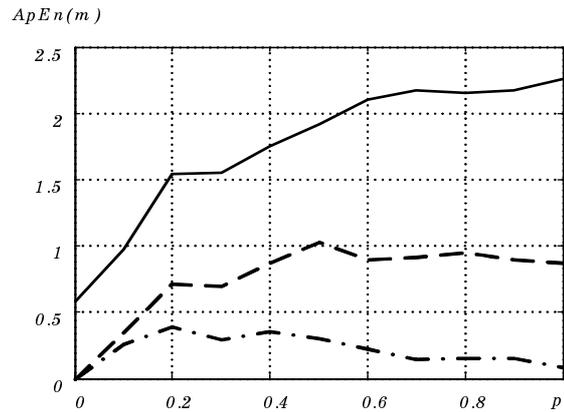
$$M_k(p) = (1 - z_k)x_k + z_k y_k,$$

где z_k – случайная величина, принимающая значение $z_k = 1$ с вероятностью p и $z_k = 0$ с вероятностью $1-p$; $x_k = \sqrt{2} \sin(\pi k/6)$ – периодический сигнал; y_k – независимая случайная величина, равномерно распределенная в промежутке $(-\sqrt{3}; \sqrt{3})$. Таким образом, $M_k(p)$ является смесью детерминированной и стохастической составляющих, а p является параметром, определяющим соотношение этих компо-



■ Рис. 2. Зависимость аппроксимированной энтропии $ArEn(m)$ от амплитуды шума:

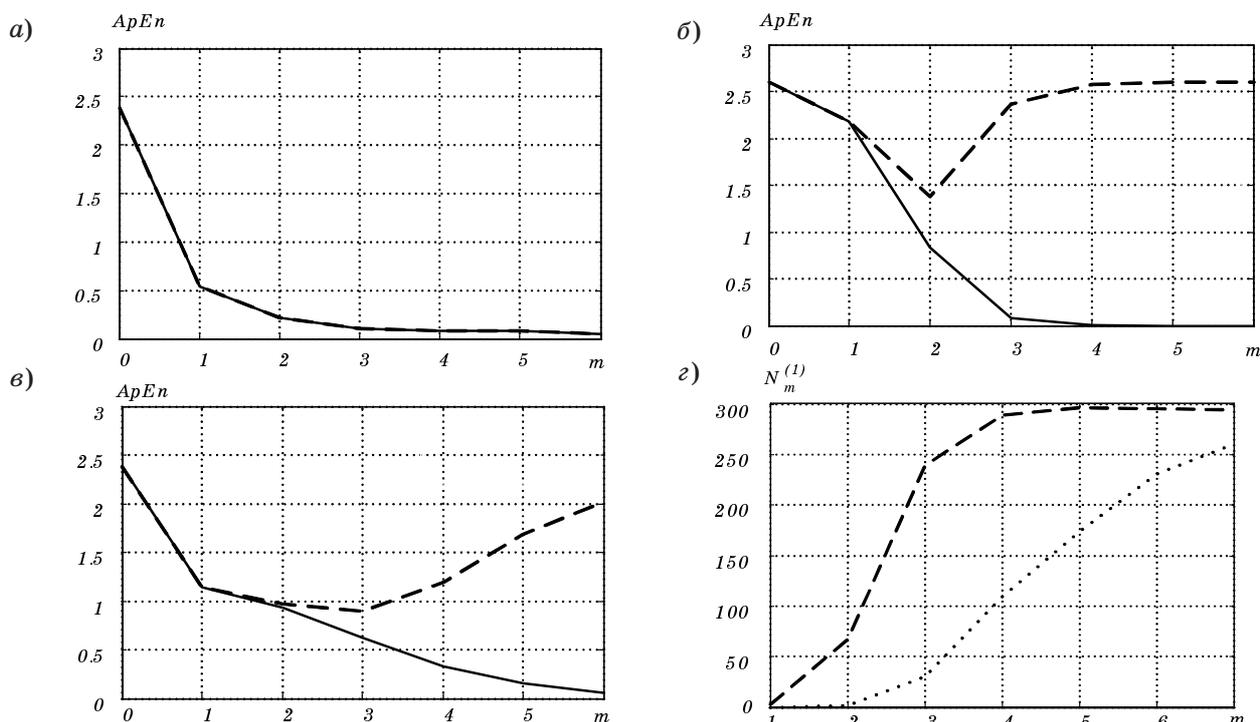
— $m = 1$; ○ $m = 2$; □ $m = 3$;
◆ $m = 4$; ▲ $m = 5$; ▼ $m = 6$



■ Рис. 3. Зависимость $ArEn(m)$ от интенсивности случайной составляющей сложного сигнала:

— $m = 1$; - - - $m = 2$;
- · - · $m = 3$

нентов. Среднее значение и стандартное отклонение $M_k(p)$ всегда равны 0 и 1 и не зависят от p . С ростом интенсивности нерегулярной составляющей сигнала значения $ArEn$ также возрастают, однако при больших значениях p эта зависимость становится нелинейной (рис. 3). Следовательно, аппроксимированная энтропия позволяет оценить степень зашумленности детерминированного сигнала в смешанном процессе, что является свойством, полезным для анализа биосигналов, поскольку многие из них содержат как детерминированную, так и стохастическую компоненты.



■ Рис. 4. Примеры оценок — — — $ApEn(m)$ и - - - - $ApEn_{cor}(m)$ для модельных сигналов: а – гармонического сигнала; б – шума; в – смеси сигнала и шума; г – зависимость числа одиночных цепочек $N_m^{(1)}$ от m : - - - - для шума; – для смеси сигнала и шума

Сложность анализа аппроксимированной энтропии по выборке отсчетов конечной длины связана с тем, что при возрастании m значение $ApEn(m)$ стремится к нулю независимо от степени регулярности исследуемого процесса. Это происходит из-за увеличения вероятности того, что цепочки длиной m будут представлять собой лишь однажды произошедшие события. По этой причине аппроксимированная энтропия, вычисленная по формуле (*), дает ошибочную оценку степени хаотичности сигнала. Избежать этого можно путем коррекции аппроксимированной энтропии:

$$ApEn_{cor}(m) = ApEn(m) + ApEn(0) \cdot \frac{N_m^{(1)}}{N_{m+1}}$$

где $ApEn(0)$ – значение абсолютной энтропии, вычисленное для исходной последовательности символов; $N_m^{(1)}$ – число лишь однажды встретившихся цепочек длиной m ; N_{m+1} – число анализируемых цепочек длины $(m + 1)$.

Анализ эффективности исходной и скорректированной оценок аппроксимированной энтропии проводился в два этапа. На первом этапе были проведены исследования на модельных сигналах (рис. 4). Для гармонического сигнала значения $ApEn$ и $ApEn_{cor}$ абсолютно совпадают (рис. 4, а), а для зашумленного сигнала – значительно отличаются (рис. 4, в). Это объясняется тем, что коррекция проводится по числу лишь однажды встретившихся

цепочек, а для гармонического сигнала значение $N_m^{(1)}$ равно нулю (рис. 4, г), в то время как для шума и смеси сигнала с шумом их число быстро возрастает с увеличением m . Как видно, введение коррекции аппроксимированной энтропии облегчает задачу распознавания отличающихся по степени регулярности процессов.

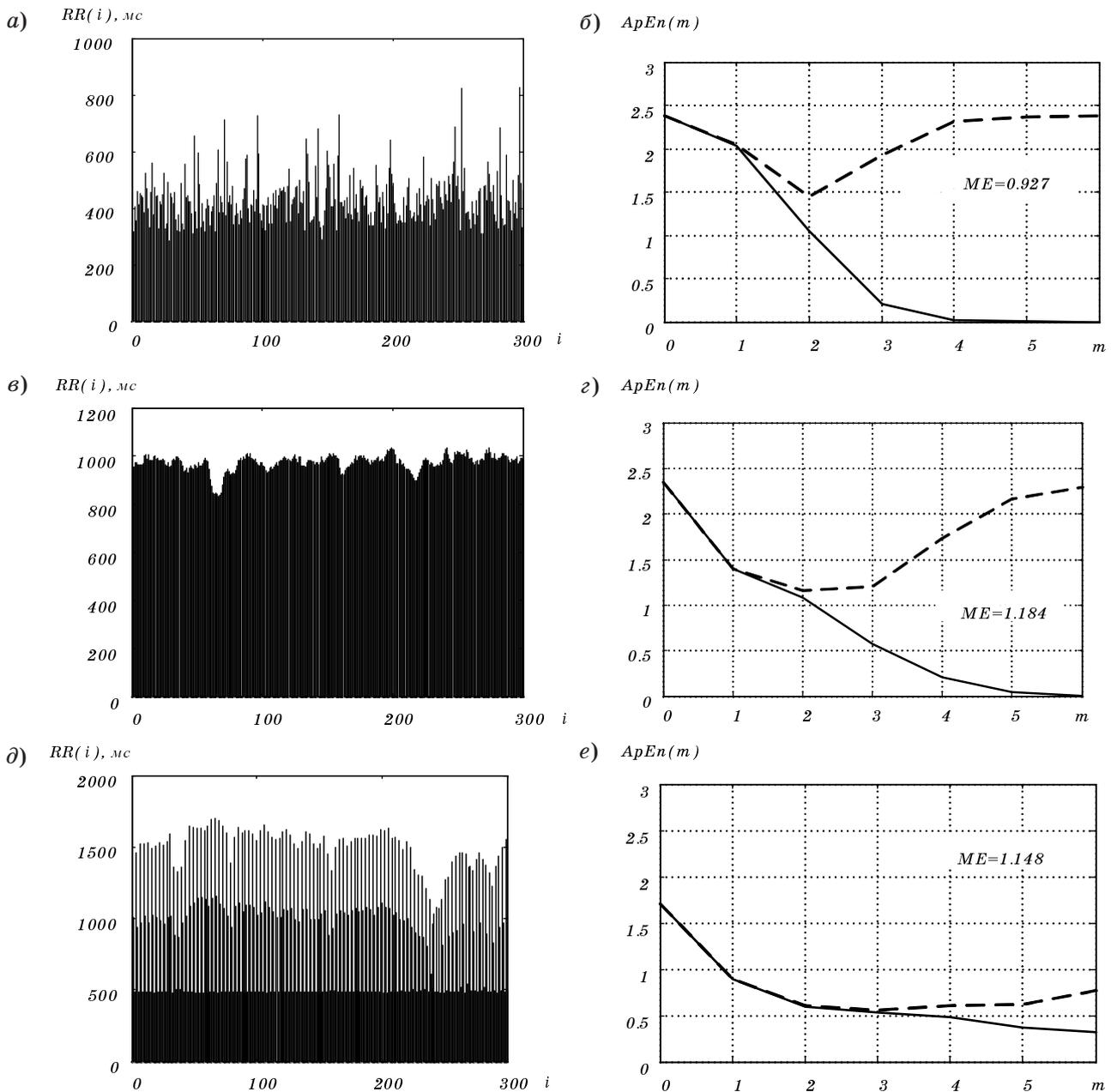
Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, для идентификации сигналов могут быть использованы следующие параметры:

- значения $ApEn$ и $ApEn_{cor}$ при небольших значениях m , где вклад одиночных цепочек незначителен;
- оценка относительного минимума $ApEn_{cor}$:

$ME = ApEn(0) - \min_{m=1..6} \{ApEn_{cor}\}$, которая также характеризует степень регулярности изменений, наблюдаемых в данной последовательности отсчетов.

Исходя из перечисленных выше свойств аппроксимированной энтропии и результатов модельных экспериментов можно сделать вывод о том, что данную характеристику сигнала целесообразно использовать для распознавания мерцательной аритмии.

Второй этап исследования был проведен на реализациях ритмограмм, полученных из реальных записей электрокардосигнала. Все реализации были предварительно верифицированы и разделены на 3 класса: нормальный ритм, мерцательная аритмия, частая экстрасистолия. Длина выборок, отобранных для анализа, задавалась равной 300 отсчетам. Затем в каждой из трех групп были выбраны наиболее

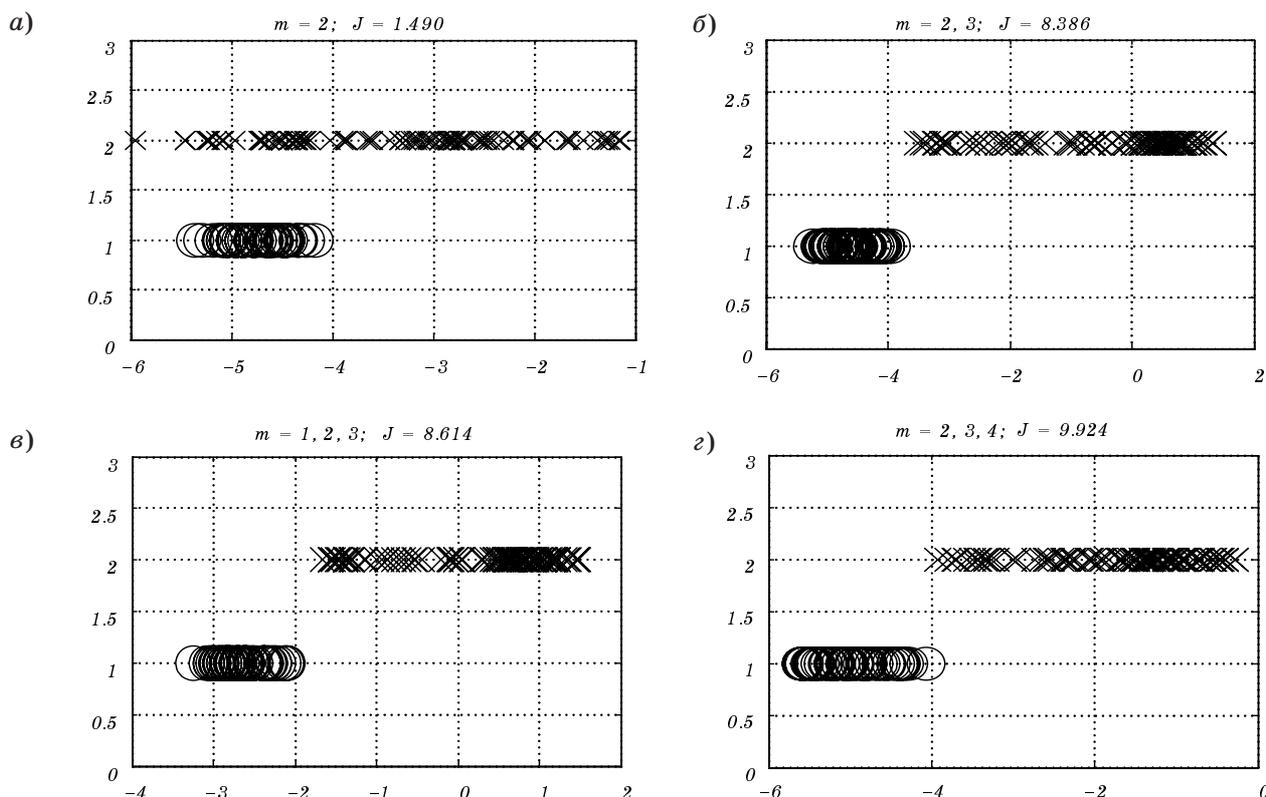


■ Рис. 5. Примеры оценок $ApEn(m)$ (—) и $ApEn_{cor}(m)$ (---) для реальных сигналов: а, б – мерцательной аритмии; в, г – нормального ритма; д, е – частой экстрасистолии

характерные для данного класса реализации (по 50 реализаций длиной 300 отсчетов для каждого класса) и сформированы обучающие выборки.

На рис. 5 приведены примеры ритмограмм и полученные зависимости аппроксимированной энтропии от длины цепочек m для разных видов электрокардиосигнала. Мерцательная аритмия характеризуется наличием минимума $ApEn_{cor}$ и наименьшим значением ME , в то время как ME для нормального ритма и частой экстрасистолии значительно больше, а кривые зависимости $ApEn_{cor}$ от m не имеют ярко выраженного экстремума.

Далее эффективность оценок аппроксимированной энтропии для распознавания мерцательной аритмии оценивалась по результатам дискриминантного анализа. При этом анализе d -мерные выборки проецируются на прямую линию, причем вращение вектора в пространстве исходных признаков позволяет найти такую его ориентацию, при которой спроецированные выборки хорошо разделяются. Именно эта задача и является целью классического дискриминантного анализа [8]. Уравнение линейной разделяющей функции в пространстве признаков можно представить следующим образом:



■ Рис. 6. Проекция объектов на единичный вектор для класса мерцательной аритмии и объединения классов нормального ритма и частой экстрасистолии по признакам $ArEl(m)$: а – по одному признаку; б – по двум признакам; в, г, – по трем признакам

$$D(\bar{X}) = W^T \cdot \bar{X} + w = 0,$$

где W – весовой вектор единичной длины; $W^T = [w_1, w_2, \dots, w_i]$, где i – число признаков, по

которым проводится классификация; $\bar{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_i \end{bmatrix}$ – вектор наблюдений; w – пороговая величина.

Решающее правило для двухклассовой задачи выглядит следующим образом:

если $D(\bar{X}) > 0$, то $\bar{X} \in \omega_1$ (первому классу);

если $D(\bar{X}) < 0$, то $\bar{X} \in \omega_2$ (второму классу).

Критерий Фишера позволяет количественно оценить качество разделения имеющихся данных на классы:

$$J = \frac{|W^T \cdot \bar{X}_{1cp} - W^T \cdot \bar{X}_{2cp}|^2}{W^T \cdot S_w \cdot W},$$

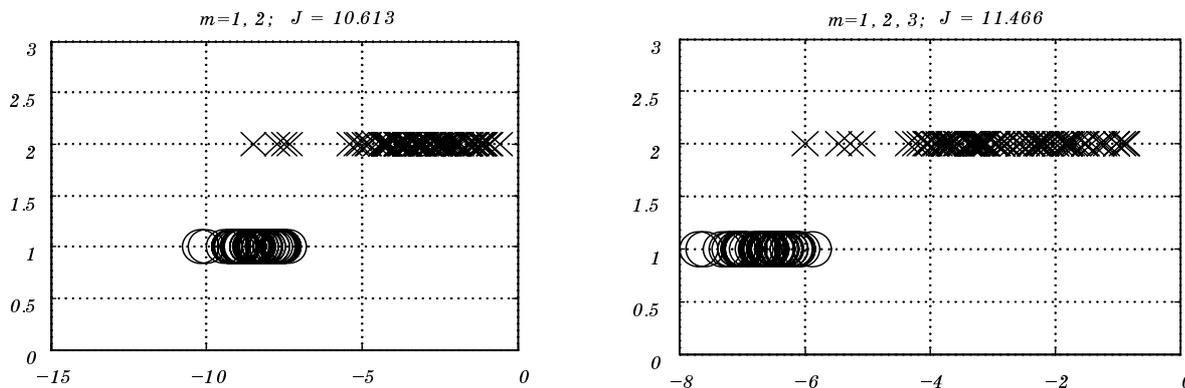
где $S_w = S_1 + S_2$ – суммарная матрица разброса внутри классов ω_1, ω_2 .

При этом должно быть найдено такое направление W , для которого критерий J принимает максимальное значение.

Задача распознавания мерцательной аритмии предполагает ее обнаружение на фоне других нарушений ритма, поэтому дискриминантный анализ был проведен для двух классов сигналов: один класс – это мерцательная аритмия, а в другой класс были объединены реализации нормального ритма и частой экстрасистолии. Классификация осуществлялась по одному, двум и трем признакам, в качестве которых были использованы параметры аппроксимированной энтропии до и после коррекции при различных m .

На рис. 6 представлены проекции объектов указанных классов на единичный вектор W . Здесь значком «o» обозначен класс мерцательной аритмии, а «x» – объединенный класс нормального ритма и частой экстрасистолии. Как видно, одного признака, как было рекомендовано в статье [7], недостаточно для разделения имеющихся классов, так как полученные значения критерия Фишера J слишком малы. Ошибки классификации значительно меньше при дискриминантном анализе по двум и по трем признакам.

Проведение дискриминантного анализа по признакам скорректированной энтропии дало поло-

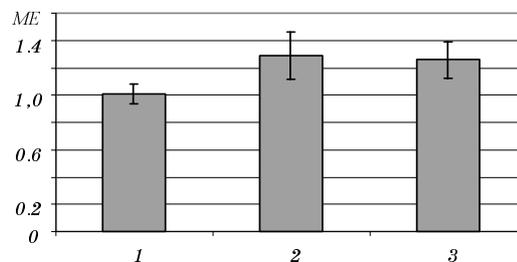


■ Рис. 7. Проекция объектов на единичный вектор для класса мерцательной аритмии и объединения классов нормального ритма и частой экстрасистолии по признакам $ApEn_{cor}(m)$: а – по двум признакам; б – по трем признакам

жительные результаты только в двух случаях: при разделении классов по двум и по трем признакам (рис. 7). В остальных же случаях значение критерия Фишера J не превышало пяти. Это объясняется тем, что при выполнении корректировки значения $ApEn_{cor}(m)$ при $m > 2$ для реализаций с частой экстрасистолией мало изменяются, в отличие от $ApEn_{cor}$ для реализаций с нормальным ритмом и мерцательной аритмией.

По имеющимся обучающим выборкам был рассчитан относительный минимум аппроксимированной энтропии – ME (рис. 8). Для мерцательной аритмии это значение равно (1.010 ± 0.070) , для нормального ритма – (1.294 ± 0.173) и для частой экстрасистолии – (1.263 ± 0.133) . Анализ полученных данных показал, что параметр ME также может быть полезен для распознавания мерцательной аритмии.

Итак, проведенные исследования показали, что задачу обнаружения мерцательной аритмии можно решить путем анализа энтропийных характеристик ритмограммы. Предложенный в данной работе под-



■ Рис. 8. Распределение относительного минимума ME скорректированной энтропии $ApEn_{cor}(m)$ для классов: 1 – мерцательной аритмии; 2 – нормального ритма; 3 – частой экстрасистолии

ход, основанный на построении дискриминантных функций в пространстве параметров аппроксимированной энтропии, может быть полезен также при классификации сложных сигналов, отличающихся выраженностью регулярных и хаотических компонентов.

Литература

1. Кушаковский М. С. Аритмии сердца. М.: Фолиант, 1998. 633 с.
2. Мерцательная аритмия: стратегия и тактика лечения на пороге XXI века / Д. Ф. Егоров, Л. А. Лещинский, А. В. Недоступ, Е. Е. Тюлькина. Ижевск: Алфавит, 1998. 413 с.
3. Bronhet C., Dervael C., Fesler R. Automated ECG Diagnosis of Atrial Flutter by Means of Wavelet Transform // Computers in Cardiology // IEEE Comp. Soc. Press. Los Alamitos. CA. Vol. 1994. P. 773–776.
4. Detection of Complex Atrial Arrhythmias in Resting ECG. Computers in Cardiology / B. R. S. Reddy, P. P. Elko, D. W. Christenson et al. // IEEE Comp. Soc. Press. Los Alamitos. CA. Vol. 1994. P. 777–780.
5. Automatic Detection of Atrial Fibrillation and Flutter using the Differentiated ECG Signal. Computers in Cardiology / B. F. Giraldo, P. Laguna, R. Jane et al. // IEEE Comp. Soc. Press. Los Alamitos. CA. Vol. 1994. P. 369–372.
6. Pincus S. M. Approximate entropy as a measure of system complexity: Proc. Natl. Acad. Sci. USA 88. 1991. P. 2297–2301.
7. Nonlinear Biomedical Signal Processing / edited by Metin Akay // IEEE. Inc., Dynamic Analysis and Modelling. New York, 2001. Vol. 2. 341 p.
8. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен: Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 511 с.

УДК 007: 57+007:573

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРИТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И КОРРЕКЦИИ СТРУКТУР СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ (Часть 2*)

П. И. Бегун,

доктор техн. наук, профессор

О. В. Кривожижина,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

В. К. Сухов,

доктор мед. наук, заведующий отделением эндоваскулярной хирургии

городская многопрофильная больница № 2 г. Санкт-Петербурга

Разработаны компьютерные модели для исследования перемещений и напряжений при дилатации кровеносных сосудов с бляшками разной степени развития и определения критического состояния истинных мешотчатых аневризм. Проведенные исследования влияния геометрических параметров и механических свойств бляшки и сосуда на величину дилируемого отверстия и выявление критического состояния аневризм определяют необходимость предоперационного анализа с использованием этих моделей.

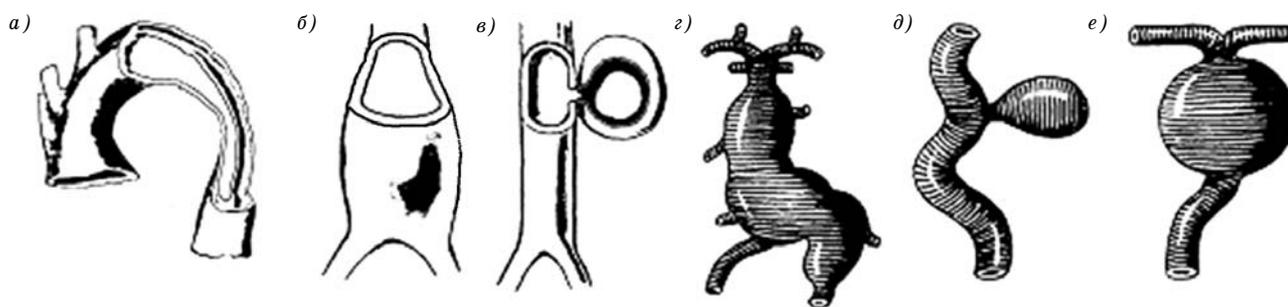
Computer models and scheme of calculation for research of displacement and strains in true aneurysms are developed and at a dilatation of blood vessels with plaques of a different degree of development. Outcomes of the carried out evaluations confirm an imperative need of expansion of number of parameters at clinical diagnostics of a critical condition of aneurysms and preoperative diagnostics of outcomes endovascular surgical operations on stenosed blood vessels.

Аневризматические поражения сосудистой системы и способы их устранения

Аневризма – значительное расширение кровеносного сосуда за счет ограниченного выпячивания его стенки или равномерного растяжения ее на определенном участке вследствие ее патологических изменений или аномалии развития [5]. Аневризматические изменения могут развиваться в любых артериях, начиная от восходящей аорты и кончая артериями диаметром до 2 мм [6–11]. По происхождению различают врожденные и приобретенные аневризмы. Большинство аневризм – приобретенные. Причины их возникновения – атеросклероз, воспаление, травмы.

Различают расслаивающиеся, истинные и ложные аневризмы (рис. 8, а–в). Аневризматические изменения могут развиваться в любых артериях, начиная от восходящей аорты и кончая аортами диаметром до 2 мм. Расслаивающаяся аневризма имеет полость или канал между слоями сосудистой стенки вследствие расслоения последней потоком крови, нагнетаемой через дефект интимы. Стенки истинной аневризмы сохраняют структурные элементы, присущие сосуду. Процесс развития истинных аневризм включает следующие этапы: 1) первичное поражение стенок аорты (атеросклероз, инфекция, генетические дефекты); 2) воспалительная инфильтрация стенок аорты, сопровождающаяся ее утолщением и развитием фиброза тканей, окружающих аневризму; 3) дегенерация и фрагментация эластинового каркаса аорты; 4) растяжение пораженных участков стенки и расширение просвета аорты под влиянием внутрисо-

*Информационно-управляющие системы: Журнал. Ч. 1. 2005. № 6. С. 51–56.



■ **Рис. 8.** *Формы аневризм: а – расслаивающаяся; б – истинная; в – ложная; г – веретенообразная; д – мешкотчатая; е – сферическая*

судистого давления. Ложная аневризма – патологическая полость, возникающая вследствие организации пульсирующей гематомы. Она сообщается с просветом сосуда через сквозной дефект его стенки. Этот дефект образуется в результате травмы сосуда, разрушения его стенки патологическим процессом или аррозии сосудистой анастомоза.

Истинные аневризмы имеют веретенообразную, мешковидную и сферическую формы (рис. 8, г–е). Веретенообразная аневризма – это диффузное расширение всего периметра сосуда, связанное с циркулярным поражением его стенки на определенном протяжении. Мешковидные аневризмы возникают при локализованном поражении одной из сосудистых стенок. В результате этого происходит выбухание стенки в виде тонкостенного мешка. В нем можно обычно различить дно, среднюю часть и шейку. Реже аневризма имеет вид круглого сферического образования.

Размеры аневризм изменяются в широком диапазоне: 1) в аорте выделяют малые аневризмы – 3–5 см, средние – 5–7 см, большие – больше 7 см, гигантские – в 8–10 раз превышающие размер инфраренального отдела аорты; 2) в каротидном и вертебробазиллярном бассейнах: малые – менее 1 см, крупные – 1–2,5 см, гигантские – свыше 2,5 см. У пожилых людей в стенке аорты прогрессируют процессы дегенерации основных структур, обеспечивающих прочность сосуда, что постепенно приводит к формированию аневризмы. С возрастом дегенеративные изменения в стенке сосуда и увеличение артериального давления приводят к увеличению диаметра аорты в норме до 25% по отношению к 25-летнему возрасту. В зависимости от причины возникновения, размеров и локализации аневризмы развивается одно из следующих осложнений: разрыв аневризмы, расслоение стенок аневризмы, эмболизация дистальных артерий, инфицирование стенок и содержания аневризмы, формирование фистулы с соседними структурами, сдавливание соседних структур, тромбоз аневризмы.

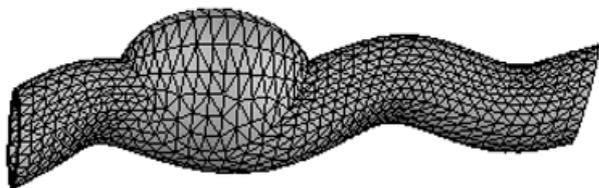
Разрыв аневризмы сопровождается интенсивным, часто смертельным внутренним кровотечением. Летальность при разрыве аневризм составляет более 80% и не имеет тенденции к снижению.

Наиболее часто происходит разрыв больших аневризм или аневризм, имеющих тенденцию к быстрому увеличению своих размеров. Однако внезапный разрыв может осложнить течение любой, даже небольшой по размерам аневризмы [5]. При возникновении патологического расширения участка аорты соседние органы могут подвергаться давлению со стороны аневризмы. Это приводит к нарушению их просвета и к функциональным нарушениям.

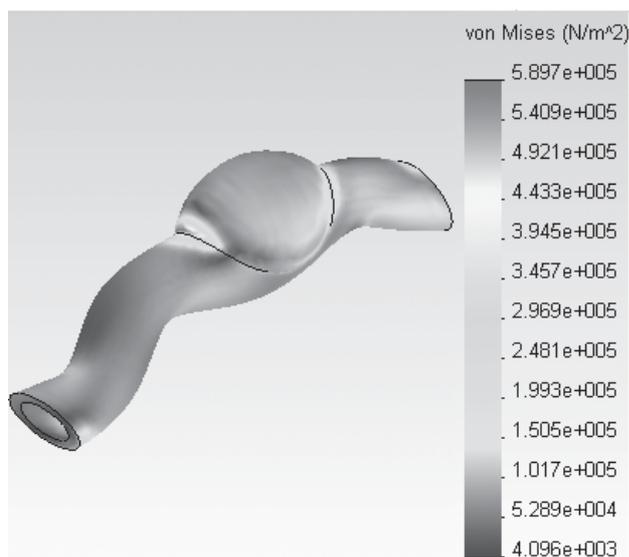
В зависимости от развивающихся патологических изменений клиническая картина аневризматических образований отличается большим разнообразием. Для диагностики аневризм используют различные исследования: ультразвуковое сканирование, рентгенологический метод, компьютерную томографию, чреспищеводную эхоаортографию, рентгеноконтрастную аортографию [5, 7]. С помощью спиральной компьютерной томографии можно проводить объемное исследование с использованием тонких и перекрещивающихся между собой срезов – это позволяет создавать высококачественные трехмерные реконструкции биологических структур [7, 9].

При диагностике определяют: распространенность аневризматического расширения; 2) наличие признаков воспалительного процесса на стенках аневризмы; 3) размеры и состояние пристеночного тромба в просвете аневризмы; 4) состояние артериальных сосудов выше и ниже участка аневризматического расширения; 5) наличие соустьев между аневризмами и соседними структурами; 6) характер вовлечения соседних с аневризмой органов в патологический процесс [9].

Самым верным прогностическим фактором в клинике признают диаметр аневризмы [12–14]. При этом за диаметр принимают максимальный размер аневризмы. Как сами сосуды, так и аневризмы имеют разные геометрические и биомеханические характеристики, которые индивидуальны и зависят от возраста. Жесткость стенок с возрастом увеличивается, а прочность уменьшается. Различные участки одного и того же сегмента аорты обладают разными биомеханическими свойствами [15].



■ **Рис. 9.** Конечно-элементная модель аневризмы на криволинейном сегменте кровеносных сосудов



■ **Рис. 10.** Распределение напряжений σ в истинной мешотчатой аневризме внутренней сонной артерии:
 $L_a = 20$ мм; $H_a = 6,5$ мм; $h_a = 1,5$ мм;
 $E_c = 0,85$ МПа; $E_a = 2,55$ МПа; $p = 1,6 \cdot 10^4$ Па

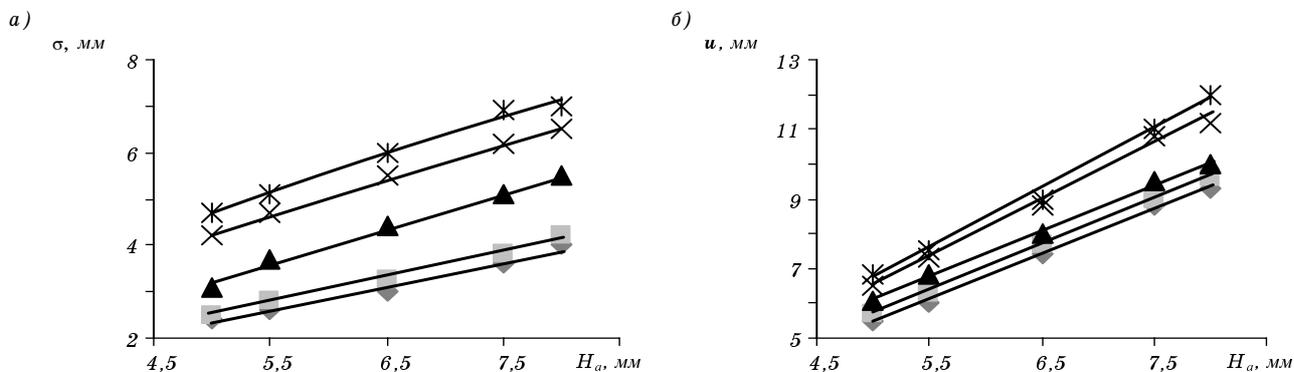
Для решения вопросов активной восстановительной хирургии сосудов с аневризматическими образованиями необходимы точные сведения о всех размерах аневризмы, толщине ее стенки, особенностях топографо-анатомического расположения, условиях взаимодействия с окружающими тканями, о гемодинамике в окрестности аневризмы и о механических свойствах стенки аневризмы и сосуда. Одной из важных задач для построения системы предоперационной диагностики является анализ критического состояния аневризмы. В основе этого анализа лежат исследования напряженно-деформированного состояния аневризматического образования [3]. Сведения о напряженно-деформированном состоянии аневризмы и прилегающих биологических структур позволяют оценить степень риска предстоящей коррекции и более целенаправленно провести предоперационную подготовку.

Для определения критического состояния аневризм необходимо выполнить компьютерное моделирование и исследование НДС в аневризмах.

Компьютерное моделирование и исследование критического состояния аневризм

Расчетные схемы истинных мешотчатых аневризм построены при следующих допущениях: 1) кровеносный сосуд и аневризма – трехмерные тела; 2) материал аневризмы однородный и изотропный; 3) купол аневризмы осесимметричный; 4) стенка аневризмы однослойная, с конструктивным модулем упругости E ; 5) начальные напряжения в структурах сосуда и аневризмы отсутствуют. Вычисления проведены методом КЭ при разбиении исследуемой структуры на 80 тысяч тетраэдральных элементов (рис. 9).

Зависимости экстремальных значений напряжений и перемещений в сегментах сосудов с анев-



■ **Рис. 11.** Зависимости экстремальных напряжений σ (а) и перемещений u (б) в криволинейном сегменте внутренней сонной артерии с мешотчатой аневризмой от высоты аневризмы H_a :
 $E_c = 0,85$ МПа; $L_a = 20$ мм; $R_c = 3,5$ мм; $h_a = 1,5$ мм; $p = 1,6 \cdot 10^4$ Па; $\nu = 0,4$ (E_a (а): \blacklozenge – 2,55; \blacksquare – 1,7; \blacktriangle – 0,85; \times – 0,425; \ast – 0,28 МПа; E_a (б): \blacklozenge – 0,28; \blacksquare – 0,425; \blacktriangle – 0,85; \times – 1,7; \ast – 2,55 МПа)

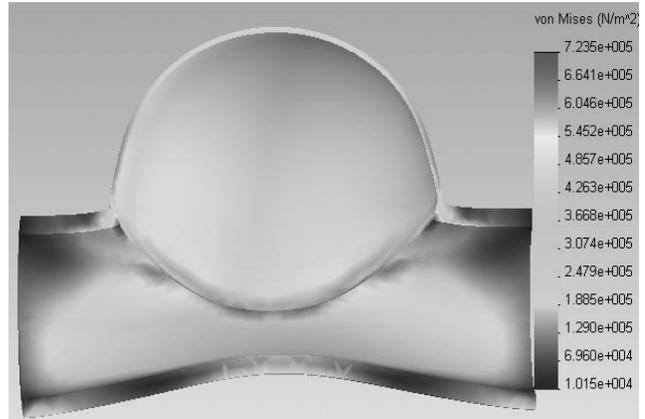
ризмами от их геометрических параметров и механических свойств при давлении $p = 1,6 \cdot 10^4$ Па приведены на рис. 10–13. Разрушающее напряжение в сонной артерии $\sigma_{кр} = 1,56 \cdot 10^6$ Па, в исследуемых участках аорты $0,71 \cdot 10^6$ Па. При анализе критического состояния аневризм введен коэффициент запаса $k = 2,5$.

В аневризмах сонной артерии (рис. 10, 11):

1) в сегментах с параметрами $L_a = 20$ мм; $H_a = 6,5$ мм; $h_a = 1,5$ мм; $E_c = 0,85$ МПа, $\nu = 0,4$ при изменении E_a в диапазоне $0,2 \div 3$ МПа напряжение увеличивается в 2 раза, а перемещение уменьшается в 2 раза (критическое состояние аневризмы не возникает);

2) в сегментах с параметрами $L_a = 20$ мм; $h_a = 1,5$ мм; $E_c = 0,85$ МПа; $\nu = 0,4$ при изменении H_a от 5 до 8 мм напряжение увеличивается в 1,5 раза, а перемещение – в 1,7 раза (при значениях $E_a = 0,28 \div 0,85$ МПа напряжение ниже критического, при значениях $E_a = 1,70 \div 2,55$ МПа при $H_a \geq 6,5$ мм возникает критическое состояние);

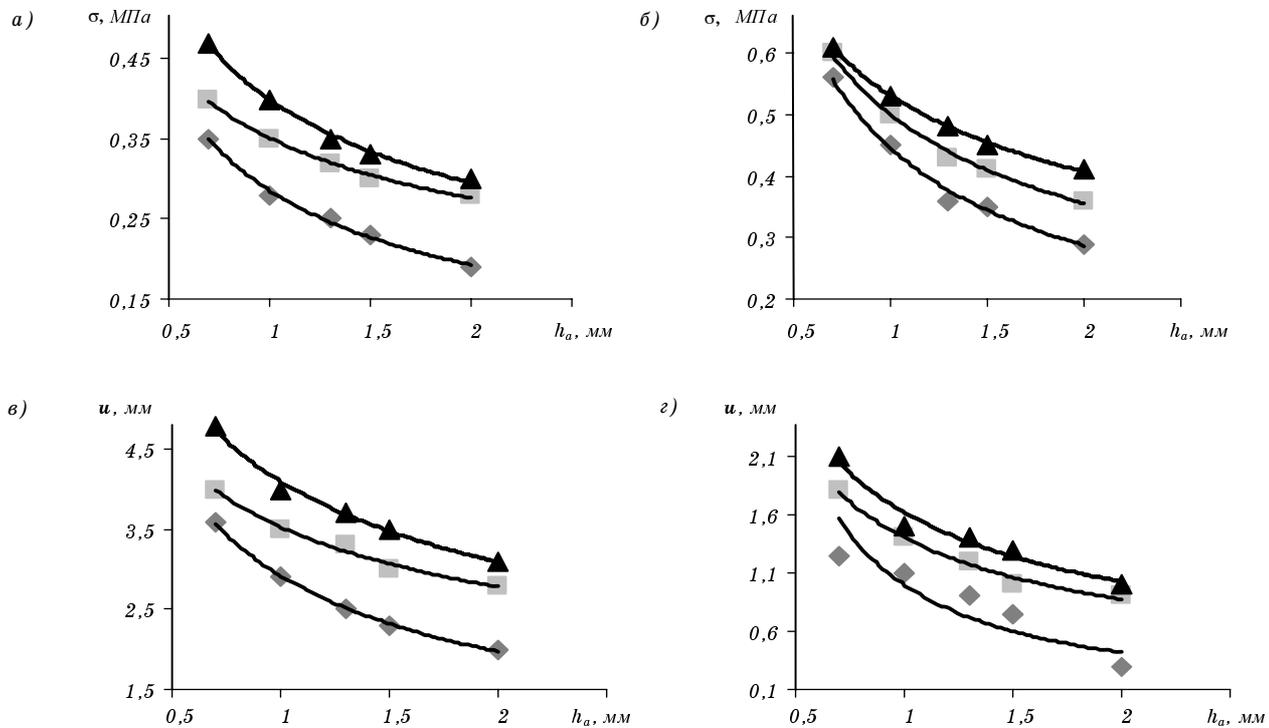
3) в сегментах с параметрами $L_a = 20$ мм; $H_a = 6,5$ мм; $E_c = 0,85$ МПа; $\nu = 0,4$ при изменении h_a от 1 до 2 мм ($E_a = 0,28 \div 0,85$ МПа) напряжение уменьшается в 1,4, а перемещение в 1,5 раза (напряжение ниже критического); при значениях $E_a = 1,70 \div 2,55$ МПа и $h_a < 1,5$ мм возникает критическое состояние.



■ Рис. 12. Распределение напряжений σ в истинной мешотчатой аневризме в прямолинейном сегменте аорты:
 $L_a = 19,5$ мм; $H_a = 15,7$ мм; $h_a = 0,7$ мм;
 $E_c = 0,9$ МПа; $E_a = 0,45$ МПа; $p = 1,6 \cdot 10^4$ Па

В аневризме аорты (рис. 12, 13):

1) в сегментах с параметрами $L_a = 19,5$ мм; $H_a = 15,7$ мм; $h_a = 0,7$ мм; $E_c = 0,9$ МПа; $\nu = 0,4$ на ПС при $E_a = 0,2 \div 1$ МПа критическое состояние не возникает, а на КС аневризмы находится в критическом состоянии;



■ Рис. 13. Зависимость экстремальных напряжений σ (а, б) и перемещений u (в, г) в прямолинейном (а, в) и криволинейном (б, г) сегментах аорты с мешотчатой аневризмой от толщины стенки аневризмы: $E_c = 0,9$ МПа; $p = 1,6 \cdot 10^4$ Па; $L_a = 19,5$ мм; $\nu = 0,4$ (E_a (а, б): \blacklozenge – 0,3; \blacksquare – 0,45; \blacktriangle – 0,9 МПа; E_a (в, г): \blacklozenge – 0,3; \blacksquare – 0,45; \blacktriangle – 0,9 МПа)

2) в сегментах с параметрами $L_a = 19,5$ мм; $H_a = 15,7$ мм; $E_c = 0,9$ МПа; $\nu = 0,4$ при изменении h_a от 0,5 до 2 мм на ПС при значениях $E_a = 0,45 \div 0,9$ МПа возникает критическое состояние, а при $E_a = 0,3$ МПа критическое состояние возникает при $h_a < 1$ мм (на КС критическое состояние возникает во всем диапазоне рассмотренных параметров);

3) в сегментах с параметрами $L_a = 19,5$ мм; $h_a = 0,7$ мм; $E_c = 0,9$ МПа; $\nu = 0,4$ при изменении H_a от 12 до 18 мм на ПС при значениях $E_a = 0,3 \div 0,9$ МПа критическое состояние не возникает, напряжение не обнаружено (на КС критическое состояние возникает во всем диапазоне рассмотренных параметров).

Литература

1. Сухов В. К., Шлойдо Е. А., Качанов И. Н. К вопросу о современных подходах в лечении ИБС // Современные направления в диагностике, лечении и профилактике заболеваний. СПб.: Ольга, 2001. 184 с.
2. Jean Marco, Gincarlo Biamino, Jean Fajadet, Marie Claude Morice. The Paris course on revascularization // Europa organization. Paris, 2000. 441 p.
3. Бегун П. И. Гибкие элементы медицинских систем. СПб.: Политехника, 2002. 300 с.
4. Бегун П. И., Сухов В. К. Проблемы информационного обеспечения малоинвазивных интервенционных рентгено-хирургических операций на кровеносных сосудах // Информационно-управляющие системы. 2002. № 1. С. 52–56.
5. Седов В. М., Богомолов М. С., Бабков А. А. Аневризмы брюшного отдела аорты: Учеб. пособие / СПбГМУ. СПб., 2001. 58 с.
6. Дооперационная оценка степени риска хирургического лечения больных с аневризмами брюшной аорты / А. В. Покровский, В. Н. Дан, Ю. П. Богатов, А. М. Златовчен // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2003. № 1. С. 48–51.
7. Новое и старое во внутрисосудистом лечении аневризм сосудов головного мозга / В. С. Папувцев, А. Ю. Иванов, А. В. Скупченко, Д. Е. Мацко // Регионарное кровообращение и микроциркуляции. 2003. Т. 2. С. 28–36.
8. Хирургические технологии в лечении аневризм грудного и торакоабдоминального отделов аорты / Ю. В. Белов, А. Б. Степаненко, А. П. Генс и др. // Хирургия. 2003. № 2. С. 22–27.
9. Белов Ю. В., Хамитов Ф. Ф. Диагностика аневризм торакоабдоминального отдела аорты // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2001. № 3. С. 72–77.
10. Метод обходного временного шунтирования в хирургии аневризм грудного и торакоабдоминального отделов аорты / В. С. Аракелян, С. П. Новиков, Н. Р. Гамзеев и др. // Хирургия сердца и сосудов. 2003. № 3. С. 47–52.
11. Белов Ю. В., Чарчан Э. Р. Клапаносохраняющие операции у больных аневризмой восходящего отдела аорты с аортальной недостаточностью // Грудная и сердечно-сосудистая хирургия. 2004. № 1. С. 59–64.
12. Ледерле Ф., Сэмьюэл В., Джонсон Т. Какой подход лучше при небольшой аневризме брюшного отдела аорты: безотлагательное иссечение или динамическое наблюдение? // Международный медицинский журнал. 2004. № 5. С. 497–503.
13. Nevitt M. P., Ballard D. J., Hallet J. W. Jr. Prognosis of abdominal aortic aneurysms: a population-based study / N Engl J Med. 1989. N 321. P. 1009–1014.
14. Natural history of patients with abdominal aortic aneurysm. Glimaker H, Holmberg L, Elvin A et al. // Eur J Vase Surg. 1991. N 5. P. 125–130.
15. Бегун П. И., Шукейло Ю. А. Биомеханика: Учебник для вузов. СПб.: Политехника, 2000. 463 с.

Вывод

Проведенные исследования влияния геометрических параметров и механических свойств бляшки и сосуда на величину дилатируемого отверстия и выявление критического состояния аневризм определяют необходимость предоперационного анализа с их использованием, а вводимые при этом погрешности вычислений – возможность предоперационной диагностики результатов эндоваскулярных малоинвазивных рентгенохирургических операций на сосудах и определения критического состояния аневризм.

Работа выполнена при поддержке научной программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (код 75403), грант РФФИ № 05-01-00768.

УДК 76.13.23

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА ИОННОГО СОСТАВА БИОСУБСТРАТОВ

З. М. Юлдашев,

доктор техн. наук, профессор

В. А. Мухаметшина,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Разработан метод и автоматизированная система, позволяющие определять ионный состав биожидкостей организма. Метод основан на анализе амплитудно-частотной характеристики электропроводности исследуемой жидкости в поле тока высокой частоты. Система может найти применение в области ранней диагностики патологий.

A method and an automated system for ion composition analysis of human bioliquids are developed. The method is based on the analysis of gain-frequency characteristics of the liquid under high frequency current field. The developed system can find applications in the field of early pathology diagnostics.

Введение

Анализ ионного состава биосубстратов организма может быть положен в основу метода диагностики патологий на ранних стадиях, поскольку возникновение любого патологического процесса в первую очередь отражается на процессах клеточного обмена, вследствие чего изменяется ионный состав биосубстратов.

Проблема ранней диагностики особенно актуальна в области онкологии, поскольку вероятность излечения больных непосредственно зависит от того, насколько рано у них была выявлена патология. Существует большое число методов ранней диагностики онкологических заболеваний. Наиболее часто применяются радиоизотопная диагностика, «опухолевые маркеры» и ионометрия. Обозначенные методы имеют ряд недостатков, связанных, в случае радиоизотопной диагностики и «опухолевых маркеров», с неоднозначностью интерпретации результатов, а в случае ионометрии – с трудностью реализации метода, быстрым засорением мембранных электродов и высокой стоимостью.

Материалы и метод

За основу взят метод кондуктометрии. Кондуктометрический метод анализа основан на измерении удельной электропроводности анализируемого раствора. Однако кондуктометрия, являясь методом неселективным, может применяться только для определения концентрации бинарных ра-

створов электролитов, а биосубстраты организма – сложные композитные растворы, качественный состав которых заранее неизвестен.

Неселективность данного метода предполагается устранить, исследуя характер изменения электропроводности в поле высокой частоты. В этом случае при увеличении частоты поля можно достичь эффекта, при котором определенная группа ионов будет не в состоянии отслеживать изменение ориентации поля и начнет осциллировать на месте, без изменения местоположения в пространстве. А так как различные виды ионов обладают строго определенным набором характеристик, можно предположить, что конкретные виды ионов будут исключаться из процесса проводимости на строго определенных частотах, а спад проводимости при этом будет иметь ступенчатый характер. Эта закономерность и составляет основу метода спектрокондуктометрии.

На начальном этапе разработки системы для анализа ионного состава биосубстратов была предложена модель проводимости однокомпонентного электролита.

Нас главным образом интересует зависимость удельной проводимости электролита g от частоты электрического поля $E(\omega) = (U_m/L) \cos \omega t$, поскольку проводимость напрямую связана с ионным составом электролита:

$$g = \frac{GL}{S},$$

где G – проводимость электролита; L – расстояние между электродами кондуктометрической ячейки; S – площадь электродов.

В области высоких частот должны появиться фазовые сдвиги. Для их оценки необходимо перейти к комплексной функции проводимости $G(j\omega)$:

$$G(j\omega) = \dot{I}_m(\omega) / \dot{U}_m(\omega),$$

где \dot{I}_m – комплексное амплитудное значение тока; \dot{U}_m – комплексное амплитудное значение напряжения; ω – частота поля:

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \alpha_i) = \operatorname{Re}\{I_m e^{j(\omega t + \alpha_i)}\} = \operatorname{Re}\{I_m e^{j\alpha_i} e^{j\omega t}\} = \operatorname{Re}\{\dot{I}_m e^{j\omega t}\}, \dot{I}_m = I_m e^{j\alpha_i};$$

$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \alpha_u) = \operatorname{Re}\{U_m e^{j(\omega t + \alpha_u)}\} = \operatorname{Re}\{U_m e^{j\alpha_u} e^{j\omega t}\} = \operatorname{Re}\{\dot{U}_m e^{j\omega t}\}, \dot{U}_m = U_m e^{j\alpha_u}.$$

В данном случае воздействующее напряжение $u(t) = U_m \cos(\omega t) \Rightarrow \dot{U}_m = U_m$. Для тока в кондуктометрической ячейке можно записать

$$i(t) = \frac{F}{N_a} z n_0 S v(t),$$

где F – число Фарадея; N_a – число Авогадро; n_0 – концентрация ионов; z – их валентность; $v(t)$ – скорость направленного движения ионов.

Для нахождения выражения для скорости упорядоченного движения ионов было решено неоднородное дифференциальное уравнение, описывающее действие сил внутри ячейки. В результате чего получено

$$v(t) = \frac{b}{\sqrt{\omega^2 + a^2}} (\omega \cos(\omega t) + a \sin(\omega t)) = -\frac{b}{\sqrt{\omega^2 + a^2}} \cos\left(\omega t - \arctg \frac{\omega}{a}\right);$$

$$a = 6\pi\eta r/m,$$

$$b = FzU_m/mLN_a,$$

где η – вязкость жидкости; r – эффективный радиус иона; m – его масса.

Исходя из этого ток в кондуктометрической ячейке определяется следующей формулой:

$$i(t) = \frac{F^2 z^2 U_m n_0 S}{mLN_a \sqrt{\omega^2 + a^2}} \cos\left(\omega t + \arctg \frac{\omega}{a}\right);$$

$$\dot{I}_m(\omega) = \frac{F^2 z^2 U_m n_0 S}{mLN_a \sqrt{\omega^2 + a^2}} e^{-j\arctg \frac{\omega}{a}}.$$

Учитывая, что нас интересует удельная проводимость, можно записать

$$g(j\omega) = \frac{F^2}{N_a^2} \frac{z^2 n_0}{m} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a^2}} e^{-j\arctg \frac{\omega}{a}} = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}; \quad (1)$$

$$A(\omega) = \frac{F^2}{N_a^2} \frac{z^2 n_0}{m} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a^2}},$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{\omega}{a},$$

где $A(\omega)$, $\varphi(\omega)$ – амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики удельной электропроводности соответственно.

Графическое описание и анализ представленных выражений проведены в среде MathCAD. Данная оценка носит качественный характер. На рис. 1 представлен качественный вид АЧХ электропроводности $A(\omega)$, на рис. 2 – вид ФЧХ электропроводности $\varphi(\omega)$, на рис. 3 – вид АФЧХ ($g(j\omega)$).

Модель проводимости однокомпонентного электролита позволяет объяснить причины спада проводимости на высоких частотах.

1. При $\omega < a$ вклад частотной составляющей практически не влияет на вид АЧХ проводимости, а амплитуда зависит исключительно от валентности, массы и концентрации ионов. Фазовый сдвиг в этом случае практически отсутствует (см. рис. 2).

2. Спад проводимости начинается только тогда, когда частота поля ω сопоставима с a . При этом, как следует из вида ФЧХ электропроводности, ионы не успевают отслеживать изменение ориентации поля и начинают проявляться фазовый сдвиг. Частота спада зависит от соотношения радиуса и массы ионов.

3. При $\omega \gg a$ фазовый сдвиг максимален и ионы практически исключаются из процесса проводимости.

При разработке модели композитного электролита необходимо учитывать, что электропроводность – величина аддитивная, поэтому математическая модель электропроводности для композитного электролита будет выглядеть следующим образом:

$$v_i(t) = \frac{b_i}{\sqrt{\omega^2 + a_i^2}} \cos\left(\omega t - \arctg \frac{\omega}{a_i}\right), \quad a_i = 6\pi\eta r_i/m_i,$$

$$b_i = Fz_i U_m / m_i LN_a,$$

где $v_i(t)$ – скорость направленного движения i -го иона; m_i – масса i -го иона; r_i – эффективный радиус i -го иона; z_i – его валентность.

В данном случае не учитывается направление движения иона (к аноду или катоду), так как ионы направлены движутся в противоположные стороны только в том случае, если имеют разноименные

заряды. При этом направление скорости заложено в параметре z_i .

Ток в кондуктометрической ячейке, заполненной композитным электролитом, определяется следующим образом ($i_k(t)$ – электрический ток как функция времени для композитного электролита, I_{mk} – комплексное амплитудное значение тока для композитного электролита, n_{0i} – концентрация i -го вида ионов):

$$i_k(t) = \sum_i \frac{F^2 z_i^2 U_m n_{0i} S}{m_i L N_a \sqrt{\omega^2 + a_i^2}} \cos\left(\omega t + \arctg \frac{\omega}{a_i}\right);$$

$$\dot{I}_{mk}(\omega) = \sum_i \frac{F^2 z_i^2 U_m n_{0i} S}{m_i L N_a \sqrt{\omega^2 + a_i^2}} e^{-j \arctg \frac{\omega}{a_i}}.$$

Тогда для удельной электропроводности $g_k(j\omega)$ можно записать

$$g_k(j\omega) = \sum_i \frac{F^2 z_i^2 n_{0i}}{N_a^2 m_i} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_i^2}} e^{-j \arctg \frac{\omega}{a_i}} = \sum_i A_i(\omega) e^{j\varphi_i(\omega)};$$

$$A_i(\omega) = \frac{F^2 z_i^2 n_{0i}}{N_a^2 m_i} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_i^2}},$$

$$\varphi_i(\omega) = -\arctg \frac{\omega}{a_i},$$

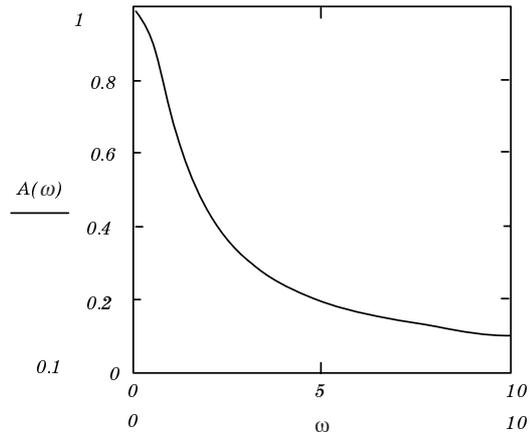
где $A_i(\omega)$, $\varphi_i(\omega)$ – АЧХ и ФЧХ вклада в удельную электропроводность i -го вида ионов соответственно.

В данном случае для нахождения частотных характеристик необходимо выделить в выражении вещественный и мнимый спектры. Для этого произведем переход к тригонометрической форме выражения:

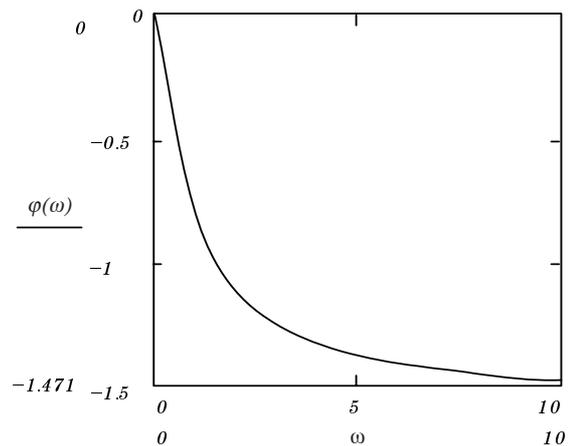
$$g_k(j\omega) = \sum_i \left(\frac{F^2 z_i^2 n_{0i}}{N_a^2 m_i} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_i^2}} \cos\left(\arctg \frac{\omega}{a_i}\right) - j \frac{F^2 z_i^2 n_{0i}}{N_a^2 m_i} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_i^2}} \sin\left(\arctg \frac{\omega}{a_i}\right) \right).$$

Тогда частотные характеристики композитного электролита имеют вид

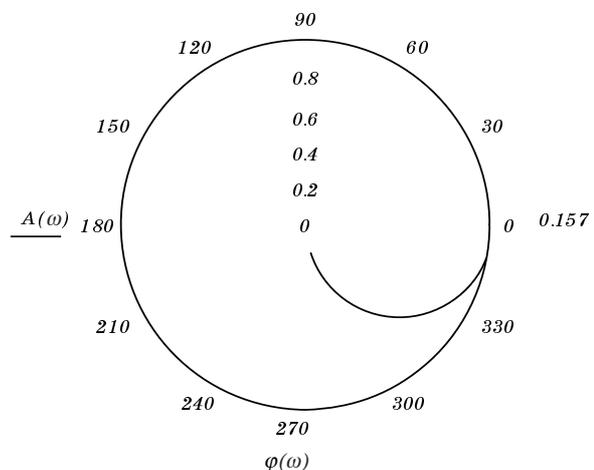
$$A_k(\omega) = \sqrt{\left[\sum_i \left(\frac{F^2 z_i^2 n_{0i}}{N_a^2 m_i} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_i^2}} \cos\left(\arctg \frac{\omega}{a_i}\right) \right)^2 + \left[\sum_i \frac{F^2 z_i^2 n_{0i}}{N_a^2 m_i} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_i^2}} \sin\left(\arctg \frac{\omega}{a_i}\right) \right]^2 \right.};$$



■ Рис. 1. АЧХ электропроводности электролита $A(\omega)$



■ Рис. 2. ФЧХ электропроводности электролита $\varphi(\omega)$



■ Рис. 3. АФЧХ электропроводности электролита $g(j\omega)$

$$\varphi_{\kappa}(\omega) = \arctg \frac{\left[-\sum_i \frac{F^2 z_i^2 n_{0i}}{N_a^2 m_i} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_i^2}} \sin\left(\arctg \frac{\omega}{a_i}\right) \right]}{\left[\sum_i \left(\frac{F^2 z_i^2 n_{0i}}{N_a^2 m_i} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_i^2}} \cos\left(\arctg \frac{\omega}{a_i}\right) \right) \right]}$$

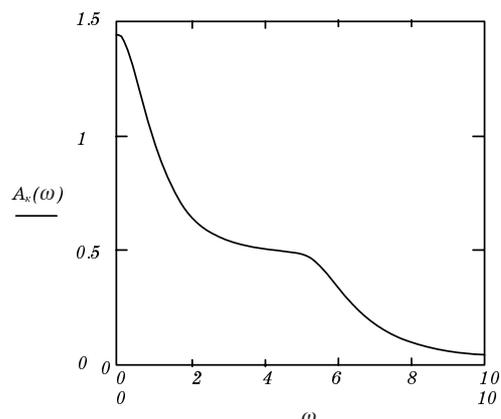
Рассмотрим простейший – случай двухкомпонентный электролит. Для такого электролита выражение для удельной электропроводности $g_2(j\omega)$ будет выглядеть следующим образом:

$$g_2(j\omega) = \frac{F^2 z_1^2 n_{01}}{N_a^2 m_1} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_1^2}} e^{-j \arctg \frac{\omega}{a_1}} + \frac{F^2 z_2^2 n_{02}}{N_a^2 m_2} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_2^2}} e^{-j \arctg \frac{\omega}{a_2}};$$

$$A_{\kappa}(\omega) = \sqrt{\left[\left(\frac{F^2 z_1^2 n_{01}}{N_a^2 m_1} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_1^2}} \cos\left(\arctg \frac{\omega}{a_1}\right) + \frac{F^2 z_2^2 n_{02}}{N_a^2 m_2} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_2^2}} \cos\left(\arctg \frac{\omega}{a_2}\right) \right)^2 + \left(\frac{F^2 z_1^2 n_{01}}{N_a^2 m_1} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_1^2}} \sin\left(\arctg \frac{\omega}{a_1}\right) + \frac{F^2 z_2^2 n_{02}}{N_a^2 m_2} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_2^2}} \sin\left(\arctg \frac{\omega}{a_2}\right) \right)^2 \right]}$$

$$\varphi_{\kappa}(\omega) = \arctg \left[\frac{-\frac{F^2 z_1^2 n_{01}}{N_a^2 m_1} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_1^2}} \sin\left(\arctg \frac{\omega}{a_1}\right) - \frac{F^2 z_2^2 n_{02}}{N_a^2 m_2} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_2^2}} \sin\left(\arctg \frac{\omega}{a_2}\right)}{\frac{F^2 z_1^2 n_{01}}{N_a^2 m_1} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_1^2}} \cos\left(\arctg \frac{\omega}{a_1}\right) + \frac{F^2 z_2^2 n_{02}}{N_a^2 m_2} \frac{1}{\sqrt{\omega^2 + a_2^2}} \cos\left(\arctg \frac{\omega}{a_2}\right)} \right]$$

Главным образом, нас в данном случае интересует амплитудная характеристика. Качественный график данной функции будет выглядеть следующим образом (рис. 4): здесь $A_{\kappa}(\omega)$ – амплитудная характеристика проводимости двухкомпонентного электролита (оценочный график).



■ Рис. 4. АЧХ электропроводности композитного электролита $A_{\kappa}(\omega)$

Аналогичное моделирование может быть осуществлено и для композитных электролитов более высокого порядка. В этом случае характер кривой останется прежним, однако число ступеней увеличится.

Метод определения ионного состава биосубстратов, основанный на данной модели, включает несколько этапов:

- 1) этап изменения частоты и оценки комплексной проводимости;
- 2) этап получения частных проводимостей на основе комплексной электропроводности;
- 3) этап вычисления частных концентраций на основе полученных частных проводимостей;
- 4) этап сравнения с нормативными показателями и вывода результата.

Блок-схема метода представлена на рис. 5. При разработке метода выбран подход, основанный на использовании математических моделей, позволяющих с достаточной точностью моделировать исследуемые процессы.

Этап получения частных проводимостей на основе комплексной электропроводности осуществляется следующим образом.

Полученный график АЧХ комплексной электропроводности делится на ряд характерных областей, соответствующих ступеням спада проводимости по мере увеличения частоты поля (рис. 6). На участке 1 высота ступени определяется проводимостью всех ионов электролита, и можно записать

$$g_{\kappa 1}(j\omega) = \sum_{i=1}^n g_i(j\omega),$$

где $g_{\kappa 1}(j\omega)$ – удельная электропроводность композитного электролита на первом участке графика; $g_i(j\omega)$ – вклад i -го вида ионов в удельную электропроводность; n – число ступеней графика, соответствующее числу типов ионов, концентрацию которых позволяет определить данный метод.

Участку 2 данного графика соответствует исключение из процесса проводимости одного вида

ионов. Это самые инертные ионы, обладающие наименьшей способностью следить за изменением ориентации поля с увеличением частоты. Таким образом, для второго участка можно записать

$$g_{к2}(j\omega) = \sum_{i=1}^n g_i(j\omega) - g_1(j\omega) = \sum_{i=2}^n g_i(j\omega),$$

где $g_{к2}(j\omega)$ – удельная электропроводность композитного электролита на втором участке; $g_1(j\omega)$ – вклад в проводимость самых инертных ионов, т. е. их частная проводимость.

На каждом последующем участке графика будет происходить исключение из процесса электропроводности еще одного типа ионов. Таким образом, для двух последних участков можно записать следующее:

для участка $(n - 1)$:

$$g_{к(n-1)}(j\omega) = \sum_{i=1}^n g_i(j\omega) - \sum_{i=1}^{n-2} g_i(j\omega) = g_{(n-1)}(j\omega) + g_n(j\omega),$$

где $g_{к(n-1)}(j\omega)$ – удельная электропроводность композитного электролита на $(n - 1)$ -м участке; $\sum_{i=1}^{n-2} g_i(j\omega)$ – сумма вкладов в удельную электропроводность ионов, исключенных на предыдущих участках графика; $g_{(n-1)}(j\omega)$ – вклад в электропроводность $(n - 1)$ -го типа ионов; $g_n(j\omega)$ – вклад в электропроводность n -го типа ионов;

для участка n :

$$g_{кn}(j\omega) = \sum_{i=1}^n g_i(j\omega) - \sum_{i=1}^{n-1} g_i(j\omega) = g_n(j\omega),$$

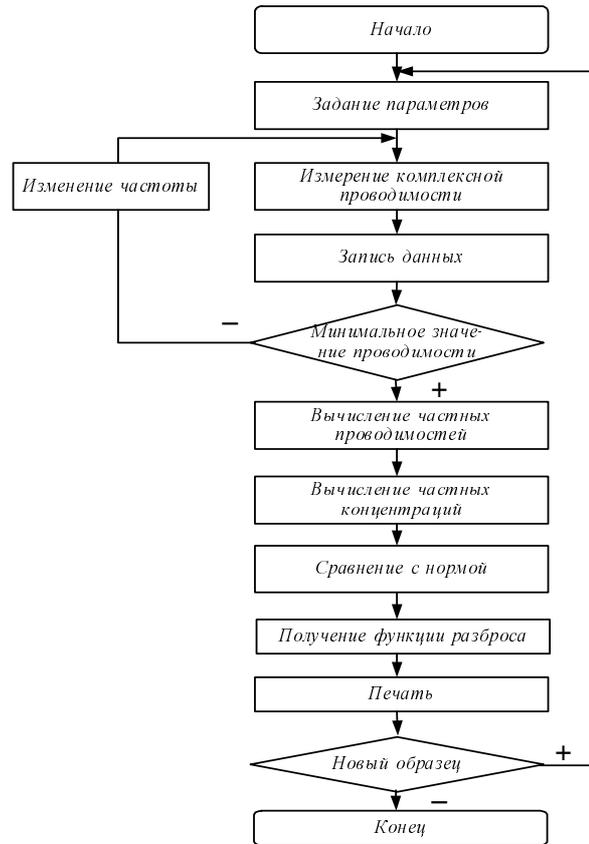
где $g_{кn}(j\omega)$ – удельная электропроводность композитного электролита на n -м участке. Следует отметить, что на данном участке имеет место остаточная электропроводность, а n -й тип ионов – это незначительная доля ионов, содержание которых крайне мало и вклад в электропроводность незначителен. Это может быть совокупность нескольких видов ионов, концентрация которых с помощью данного метода не выявляется.

Получив данные по комплексной удельной электропроводности на каждой ступени, можно перейти к расчету частных проводимостей $g_i(j\omega)$. Для этого на каждом i -м участке обратной последовательности необходимо произвести вычитание значения комплексной удельной проводимости на i -м участке из значения комплексной удельной проводимости на $(i + 1)$ -м участке:

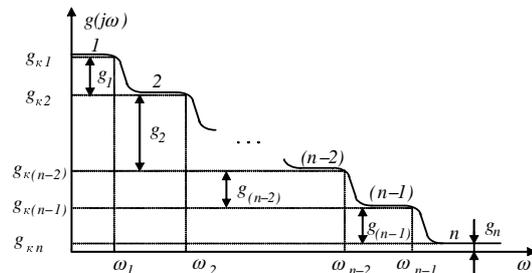
$$g_i(j\omega) = g_{кi}(j\omega) - g_{к(i+1)}(j\omega) = \sum_{l=i}^n g_l(j\omega) - \sum_{l=i+1}^n g_l(j\omega).$$

Так, например, для участка $(n - 1)$ расчет выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} g_{(n-1)}(j\omega) &= g_{к(n-1)}(j\omega) - g_{кn}(j\omega) = \\ &= g_{(n-1)}(j\omega) + g_n(j\omega) - g_n(j\omega). \end{aligned}$$



■ Рис. 5. Блок-схема метода определения ионного состава биосубстратов

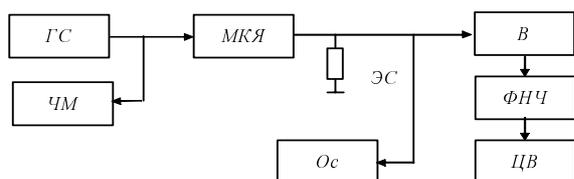


■ Рис. 6. График АЧХ комплексной электропроводности

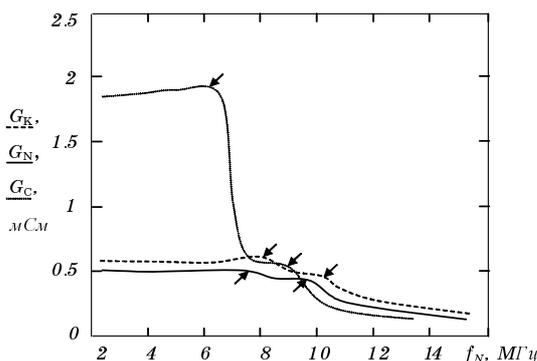
Учитывая, что, согласно выражению (1), значение частной проводимости напрямую связано с концентрацией ионов, исключаемых из процесса проводимости на данной ступени, можно перейти к этапу вычисления частных концентраций на основе полученных частных проводимостей.

Результаты

Для проведения исследований был разработан автоматизированный комплекс (рис. 7), содержащий высокочастотный генератор гармонических сигналов ГС, микрокондуктометрическую ячейку МКЯ с эталонным сопротивлением ЭС, выпрями-



■ Рис. 7. Структурная схема автоматизированного комплекса



■ Рис. 8. Результаты экспериментальных исследований проводимости электролитов

тель *B* с фильтром низких частот *ФНЧ*, частотомер *ЧМ*, цифровой вольтметр *ЦВ* и осциллограф *Ос*.

Высокочастотный генератор гармонических сигналов должен обеспечивать плавное изменение частоты сигнала в диапазоне от 100 кГц до 25 МГц, так как биожидкости организма – крайне сложные по составу растворы, а главная задача системы – зафиксировать частоту среза АЧХ для всех компонентов, определяющих удельную электропроводность. Для проведения экспериментальных исследований используется генератор сигналов сложной формы Г6-45.

В целях обеспечения высокой точности измерения проводимости электролита в рассматриваемом диапазоне частот падение напряжения переменного тока на эталонном сопротивлении трансформируется в сигнал постоянного тока с помощью выпрямителя и фильтра низких частот. Осциллограф используется для визуального контроля наличия сигнала в кондуктометрической ячейке. С помощью частотомера осуществляется фиксация частоты среза АЧХ проводимости электролита.

Сигнал на эталонном сопротивлении определяется с учетом проводимости микрокондуктометрической ячейки, содержащей конкретный электролит заданной концентрации и объема:

$$U_{\text{ЭС}} = \frac{U_{\text{ГС}}(\omega)R_{\text{ЭС}}}{Z_{\text{МКЯ}}(\omega) + R_{\text{ЭС}}},$$

где $U_{\text{ЭС}}$ – сигнал на эталонном сопротивлении; $U_{\text{ГС}}(\omega)$ – амплитуда гармонического сигнала на выходе генератора ГС на частоте ω ; $R_{\text{ЭС}}$ – сопротивление ЭС; $Z_{\text{МКЯ}}(\omega)$ – комплексное сопротивление

МКЯ, определяемое исследуемым электролитом. Дальнейшая обработка результатов исследований сводилась к вычислению проводимости электролита по значению $Z_{\text{МКЯ}}(\omega)$.

В ходе экспериментальных исследований, проводимых с помощью представленного комплекса, использовались растворы солей KCl , NaCl и CaCl_2 с концентрацией $C = 1\%$ и объемом 1 мл. Результаты исследований представлены на рис. 8 (G_{K} , G_{N} , G_{C} – проводимости растворов KCl , NaCl и CaCl_2 соответственно, f_{N} – частота генератора).

Анализ результатов проведенных измерений позволяет установить некоторые закономерности. Высокая проводимость раствора CaCl_2 объясняется тем, что катионы кальция двухвалентны, и при равных концентрациях и объемах раствора обеспечивается перенос большего количества заряда. Наименьшая частота среза для раствора CaCl_2 по сравнению с раствором KCl и NaCl объясняется тем, что атомы кальция имеют больший атомный вес и более инерционны по сравнению с легкими атомами натрия и калия.

Несмотря на достаточно высокие погрешности, требующие усовершенствования измерительной системы, на графиках можно выделить характерные области спада проводимости, имеющей в целом ступенчатый характер (на рисунке области отмечены стрелками).

Выводы

Представленная математическая модель проводимости электролита в поле переменного тока подтверждает возможность определения его ионного состава по АЧХ электропроводности.

Разработанная автоматизированная система позволяет исследовать АЧХ электропроводности различных электролитов.

Экспериментальные исследования, проводимые с помощью данной системы, подтверждают теоретические выводы разработанной математической модели, что позволяет перейти к исследованию реальных сред.

Литература

1. Корята И. Ионы, электроды, мембраны: Пер. с чешского. М.: Мир, 1983. 264 с.
2. Внутренние болезни по Тинсли Р. Харрисону / Под ред. Э. Фаучи, Ю. Браунвальда, К. Иссельбахера и др.: Пер. с англ. М.: Практика Мак-Грау-Хилл, 2002. 1536 с.
3. Маршал В. Д. Клиническая биохимия: Пер. с англ. М.; СПб.: БИНОМ – Невский Диалект, 1999. 368 с.
4. Мухаметшина В. А., Юлдашев З. М. Автоматизированная система для ранней диагностики онкологических заболеваний // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2004. Вып. 1. С. 46–50.

УДК 65.018+615.478

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Г. Н. Пахарьков,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Рассмотрены вопросы методологии оптимизации и оценки качества медико-технического оснащения учреждений здравоохранения, в основу которой положены системные принципы менеджмента качества, с одной стороны, и операционно-квалиметрический метод оценки научно-технического уровня медицинских изделий, с другой.

We consider the questions of quality control and optimization of the medical-technical equipment of the institutions of public health. The discussion is based on system principles of quality management and on qualimetric method of estimation of the technical level of medical equipment.

Введение

Проводимая реформа отечественного здравоохранения в соответствии с задачей создания и внедрения стандартов медицинских услуг (МУ) требует обязательной разработки и реализации системы эффективного технического и технологического обеспечения лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ).

Понятно, что для этого понадобится количественное и качественное обновление технического парка действующих ЛПУ, что, в свою очередь, предполагает разработку стандартов их медико-технического оснащения (МТО) [1].

В настоящее время в отечественном здравоохранении проводится работа по формированию системы комплексной стандартизации МУ с последующим решением задач оценки и управления их качеством [2].

Под качеством медицинской услуги понимается совокупность свойств (признаков), характеризующих медицинские технологии и результаты их выполнения, подтверждающие соответствие МУ современному уровню медицинской науки и технологии, стандартам, а также потребностям пациента. Под системой управления качеством медицинской услуги подразумевают совокупность организационных структур, методик, процессов и ресурсов, необходимых для осуществления контроля качества МУ.

В соответствии с теорией качества МУ, разработанной экспертом Всемирной организации здравоохранения А. Донабедианом, выделяются три основных аспекта: качество структуры, качество процесса и качество результата [3, 4].

Все три составляющие можно представить в виде «треугольника качества» МУ (рис. 1).

Понятно, что необходимо рассматривать все отмеченные элементы в их взаимосвязи, так как только такой системный подход предоставляет наибольшие возможности при оптимизации управления ЛПУ.

В настоящее время пока достаточно трудно анализировать первые два аспекта, не говоря о том, что не существует стандартной интегральной системы оценки качества МУ. В то же время осознание того, что точность диагностики, правильность лечения и тактики оздоровления (ведения) больного будут подвергнуты объективному контролю, налагает на врача значительную долю ответственности. В этих условиях повышается роль одного из важнейших элементов структурного качества – медико-технического оснащения ЛПУ [5].

В дальнейшем мы будем говорить о техническом качестве МУ и специальной организационной структуре, обеспечивающей и контролирующей эффективность применения технических средств в ЛПУ – системе технического качества МУ [6].

Современная методология обеспечения качества исходит из постулата о том, что обеспечить качество можно лишь в рамках системы качества (СК), построенной и поддерживаемой на основе четких принципов и системно обусловленных ими процедур. Для многих отраслей указанная методология проработана и уже воплощена в нормативные документы, из которых базовыми служат стандарты серии 9000 Международной организации по стандартизации (ISO).

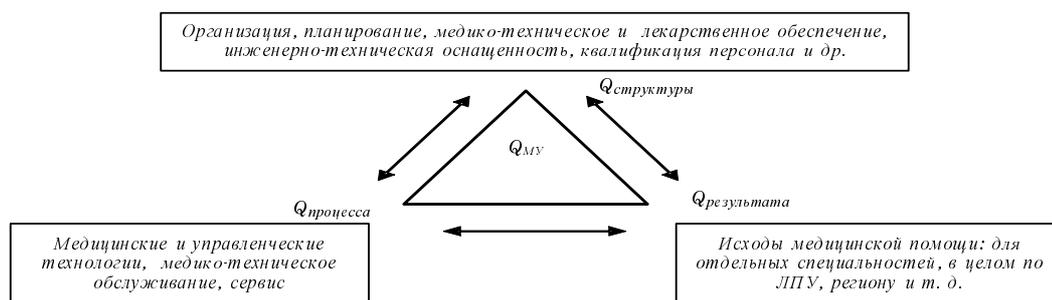


Рис. 1. «Треугольник качества» медицинской услуги



Рис. 2. Структурная схема системы дуального управления ТК МУ в ЛПУ

В области здравоохранения системная методология обеспечения технического качества (ТК) МУ не разработана, в то время как отдельные аспекты проблемы исследованы и представлены в ряде публикаций [7–14].

Целью работы является формирование методологических принципов создания и поддержания системы ТК МУ как одной из важнейших подсистем общего управления ЛПУ.

Основные принципы создания системы технического качества медицинских услуг

В работе [6] предложена модель системы дуального управления ТК МУ в ЛПУ, где в обобщенном виде представлены два канала управления – функционированием и развитием системы, призванные оптимизировать систему контроля качества и управления качеством МТО учреждений здравоохранения (рис. 2).

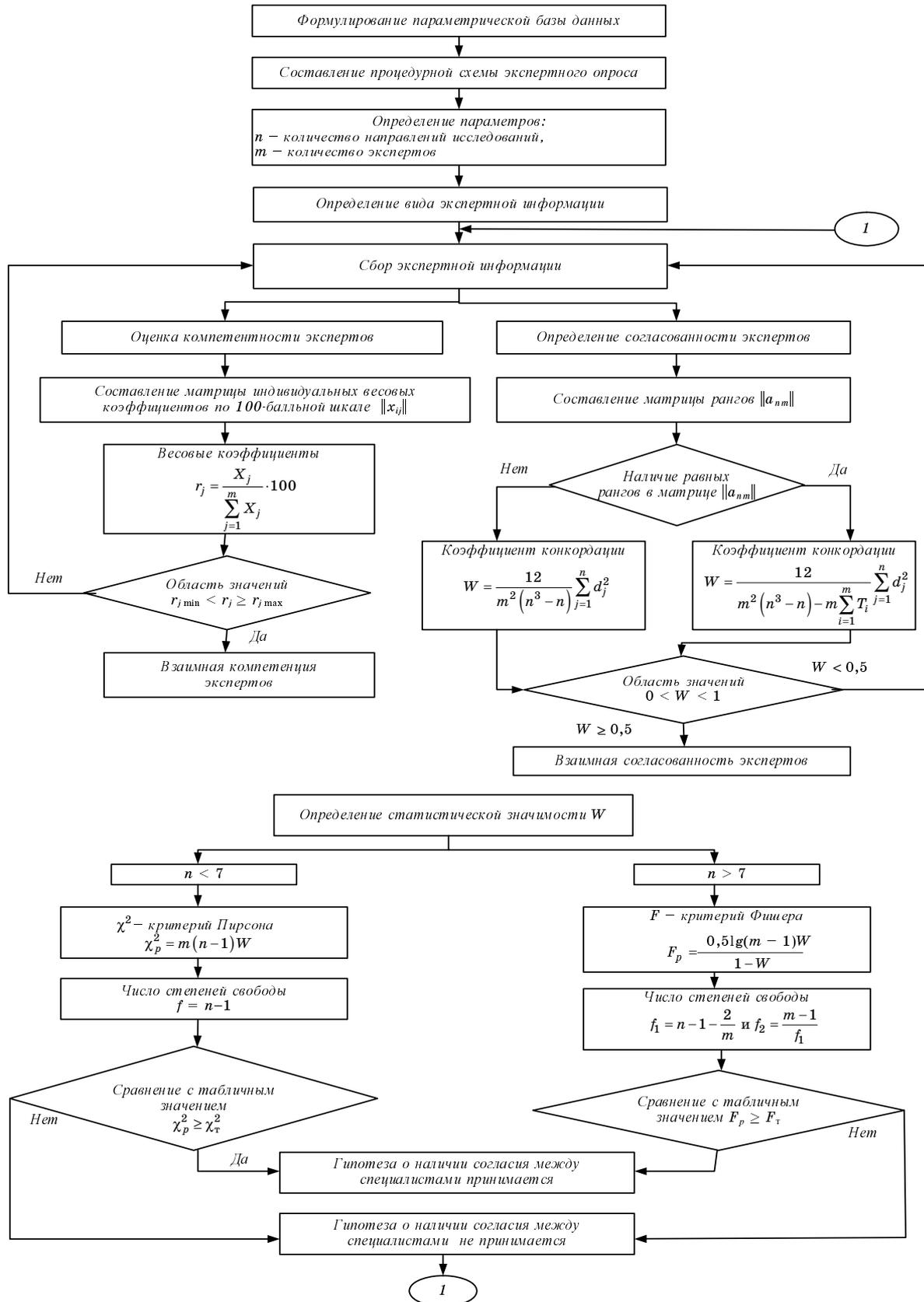
Критерии эффективности функционирования системы ТК МУ, включающие в себя такие поня-

тия как адекватность, научно-технический уровень (НТУ), экономичность и эффективность, входящие в обобщенную модель ТК МУ, рассмотрены в работах [10, 11]. Модель системы ТК МУ в ЛПУ представляет собой формализованное описание системы как объекта управления в виде кортежа $\langle Y, U, F \rangle$, где Y, U, F – соответственно векторы технических и эксплуатационных характеристик МТ, управляющих воздействий (оргтехмероприятий) и оценок результатов МУ.

Информационной основой построения модели системы ТК МУ являются экспертные оценки влияния организационно-технических мероприятий (управляющих воздействий U_j) на результаты МУ (критерии управления F_i).

На рис. 3 представлен алгоритм экспертного опроса, целью которого является определение весовых коэффициентов значимости параметров медицинских изделий (МИ), необходимых для построения модели.

Критерии эффективности развития системы ТК МУ рассмотрим на основе предлагаемого в данной



■ Рис. 3. Алгоритм экспертного опроса

работе метода оценки передового НТУ МИ в конечномерном пространстве их оценочных характеристик.

Информационной базой проводимых исследований являются результаты мониторинга МИ (включающих в себя медицинскую технику и изделия медицинского назначения), проводимого в настоящее время в Северо-Западном регионе РФ (в рамках Федеральной автоматизированной информационной системы мониторинга – АИС «Мониторинг МИ»), что позволяет объединить задачи анализа и оценки МТО ЛПУ [15].

Под НТУ МИ будем понимать совокупность медико-технических, технико-экономических показателей и потребительских свойств, отражающих степень использования последних достижений науки и техники при разработке, производстве, эксплуатации и техническом обслуживании МИ.

Основной подход к решению задач анализа и оценки НТУ МИ состоит, во-первых, в выборе эталонной системы параметров рассматриваемого класса МИ; во-вторых, установлении степени соответствия параметров оцениваемой МИ эталонной системе, в-третьих, определении интегрального показателя, характеризующего НТУ МИ и, в-четвертых, ранжировании МИ по их НТУ [8]. Модификацией предлагаемого метода может явиться комплексная оценка НТУ МИ с помощью обобщенной функции желательности Харрингтона [16].

Эталонная система параметров представляет собой информационную модель (информационный образ) структуры свойств МИ. Модель содержит медико-технические, технико-экономические показатели и потребительские свойства, их удельные веса в целевом назначении рассматриваемого класса МИ, а также прогнозные значения параметров, в совокупности образующие идеальный или перспективный эталон-образец. Различают два направления в оценке НТУ: во-первых, квалиметрическое, которое характеризуется построением системы параметров (отражающих потребительскую или эксплуатационную ценность МИ), варьированием соотношениями значений этих параметров, а также их удельными весами с целью отыскания интегрального показателя качества МИ, и, во-вторых, классификационно-статистическое, основанное на использовании различных методов многомерной статистической обработки значений параметров МИ.

В предлагаемой системе реализованы как квалиметрический, так и классификационно-статистический подход к построению перспективной эталонной системы параметров МИ. Это дает возможность осуществлять взаимную вариацию получаемых результатов, адаптировать метод анализа к особенностям параметрической структуры и величине выборки объекта МИ.

Эталонная система параметров МИ может быть представлена в виде модели

$$\Omega = \Omega(W_i, \omega_i), (i = \overline{1, n}),$$

где W_i – коэффициенты относительной важности i -го параметра; ω_i – эталонная величина i -го параметра; n – число рассматриваемых параметров.

Модель можно представить в виде дерева свойств класса МИ, в котором i -е параметры отображаются висячими вершинами. Невисячие вершины дерева представляют собой совокупные свойства, описываемые несколькими более элементарными свойствами или параметрами.

Алгоритм экспертного опроса (см. рис. 3) основан на расчете коэффициента конкордации и определении его статистической значимости.

Коэффициенты относительной важности нормируются к единице по сумме в вершинах с одинаковым эксцентриситетом

$$\sum_{J=1}^{N_l} W_{J_l} = 1, (J_l = \overline{1, N_l}),$$

где W_{J_l} – коэффициент относительной важности J -й вершины с относительным эксцентриситетом l ; N_l – число вершин дерева свойств с одинаковым эксцентриситетом.

Эталонные величины ω_i назначаются лишь для висячих вершин (i -х параметров). При назначении ω_i учитывается характер изменения параметра (уменьшение, увеличение, неизменчивость), пределы изменения, а по возможности, и существующие зависимости между i -ми параметрами.

Для измерения НТУ конкретных МИ в своем классе множество значений их параметров $\{q_i\}$ сопоставляется поэлементно с соответствующим множеством (ω_i), а относительные оценки объединяются, с учетом коэффициентов относительной важности, в интегральный показатель оценки НТУ данного МИ.

Методики обработки экспертной информации

Одним из источников информации о НТУ МИ, а также о значениях различных показателей, используемых при моделировании НТУ развития МИ, являются эксперты [10, 13]. В процессе выполнения данной работы рассматривались расчеты экспертных оценок предпочтения в шкалах порядка и расчеты экспертных оценок в балльных шкалах.

Надо отметить, что вторая методика, в которой реализуется обработка экспертных мнений о парных предпочтениях совокупности характеристик объекта, также имеет свои преимущества. Методика представляет собой одну из разновидностей способа априорного ранжирования, хорошо известного в планировании эксперимента [17].

При использовании этой методики для оценки коэффициентов относительной важности W_i применяются известный закон К. Ципфа и его модификации, в том числе модификация Б. Манделброта [18].

■ Таблица 1

Признак	1-я группа	2-я группа	3-я группа	4-я группа	5-я группа
Разность δ_i i -го параметра q_i лучшего $q_{ил}$ и худшего q_{ix} объектов: $\delta_i = q_{ил} - q_{ix}$	$\delta_i > 0$	$\delta_i < 0$	$\delta_i > 0$	$\delta_i < 0$	q_i имеет определенное значение
Изменение интегрального показателя Q с увеличением величины параметра q_i	Увеличивается	Уменьшается	Увеличивается	Уменьшается	Уменьшается
Вид ограничений на величину параметра q_i	Не накладываются	Не накладываются	Ограничивается минимально допустимым значением $q_{идоп. мин}$	Ограничивается максимально допустимым значением $q_{идоп. макс}$	Ограничивается верхним и нижним допусками $q_{ином} + \Delta q_{идоп}$ $q_{ином} - \Delta q_{идоп}$
Примеры параметров групп МИ	Мощность излучения, глубина зондирования и т. п.	Габариты, стоимость технического обслуживания и т. п.	Ресурс, температурный диапазон и т. п.	Погрешность, нелинейность измерения и т. п.	Напряжение питания, частота возбуждения и т. п.

При использовании закона Б. Манделброта веса параметров определяются по формуле

$$W_i = \frac{A(n, m)}{m} \text{ либо } W_i = \frac{A(n, m, v)}{(1+v)^m},$$

где $A(n, m)$, $A(n, m, v)$, v , m – константы при числе характеристик объекта, равно n .

Величина m определяется в процессе аппроксимации гиперболического распределения, она не изменяется для рассматриваемой совокупности оценок признаков исследуемого объекта.

При анализе экспертных мнений по данной методике пересчеты осуществляются вначале на первом уровне при корне дерева, затем – на втором в каждом поддереве, далее – на третьем и т. д. до последнего. Окончательные оценки признаков получаются путем перемножения оценок от корня до всех вершин с нулевой степенью

$$W_i = \prod_{l=1}^p W_{il},$$

где $l = 1, p$ – уровни дерева свойств. Очевидно, что

$$\text{при этом } \sum_{i=1}^n W_i = 1.$$

Метод операционно-квалиметрической оценки НТУ МИ

Предлагаемый операционно-квалиметрический метод оценки НТУ МИ позволяет определить:

- ранг единичного показателя в зависимости от степени его влияния на качество МИ;
- оптимальное количество единичных показателей, необходимое и достаточное для оценки уровня качества МИ определенного класса.

Все характеристики (параметры) объектов разделяются на пять групп, каждая из которых определяется, во-первых, знаком разности δ_i i -го параметра q_i лучшего $q_{ил}$ и худшего q_{ix} объектов: $\delta_i = q_{ил} - q_{ix}$, во-вторых, эластичностью этого параметра по интегральному показателю НТУ Q , в-третьих, ограничениями или предельно допустимыми значениями рассматриваемого i -го параметра (табл. 1).

Параметры первых двух групп являются не критическими к изменению их величины. Три последующие группы представляют собой группы критических параметров. Каждая группа параметров различным образом влияет на интегральный показатель Q , поэтому обработка параметров различных групп выполняется по-разному. Исходные параметры определяются экспертным опросом. Процедура оценки НТУ разбивается на два этапа: первый – сбор экспертных мнений и определение показателей для расчета; второй – расчет НТУ МИ. При опросе эксперт заполняет анкету (табл. 2) [19].

После опроса экспертов определяются необходимые для расчетов оценок НТУ МИ показатели, в том числе:

N – общее число параметров (характеристик) оцениваемого объекта;

L – первоначальное число опрошенных экспертов;

F – число параметров 3-й и 4-й групп;

G – число параметров 5-й группы;

q_i – значения i -х параметров оцениваемого эталонного (базового) изделия;

$\Delta q_{идоп}$ и Δq_i – соответственно, величины устанавливаемого допуска;

$q_{идоп. макс}$ и $q_{идоп. мин}$ – предельные допустимые (максимальные и минимальные) значения параметров 3-й и 4-й групп;

■ Таблица 2

Номер группы	Номер параметра	Наименование параметра	Номер параметра					Число предпочтений
			1	2	...	<i>i</i>	<i>n</i>	
	1							
	2							
	...							
	<i>n</i>							

$\delta_i = q_{il} - q_{ix}$ – величина, характеризующая влияние *i*-го параметра на интегральный показатель *Q*;

P_{ij} – число предпочтений, отданных *i*-му показателю *j*-м экспертом;

$D_{кр}$ – величина порогового значения критерия Диксона, используемого для оценки аномальных мнений экспертов.

Интегральный показатель *Q* может изменяться от 0 до 1. Очевидно, что для эталонного образца МИ интегральный показатель $Q = 1$. Поэтому по значению *Q* можно судить о НТУ оцениваемого объекта МИ.

В такой наукоемкой области как МИ, где довольно трудно прогнозировать НТУ ее развития, целесообразно использовать в качестве эталона несколько вариантов, рассчитанных с помощью других методов определения НТУ, например метода таксономии и факторного анализа.

На рис. 4. представлена схема обобщенного алгоритма расчета НТУ МИ.

Сценарий анализа НТУ однородных МИ

При исследовании параметрических данных МИ возникают следующие задачи:

- формирование параметрических рядов рассматриваемых образцов МИ;
- выявление закономерностей в динамике параметров МИ в каждой группе;
- оценка НТУ МИ (в том числе в динамике, стабильность и сменяемость лидирующих образцов МИ);
- прогнозирование значений комплекса параметров в подклассах (группах) МИ;
- оценка оптимальных соотношений параметров, формирование параметрического образа перспективного образца МИ.

Указанные задачи взаимосвязаны более высокой по уровню иерархии задачей сопоставительного анализа развития соответствующего класса отечественной и зарубежной МИ и нередко решаются одновременно.

Сценарий прогнозно-аналитического исследования параметров МИ должен обеспечивать следующие возможности:

1) группировку содержащихся в базе данных МИ по важнейшим параметрам в каждом временном интервале;

2) автоматизированное формирование временных рядов из однородных групп МИ;

3) ранжирование МИ по их техническому уровню;

4) оценку статистических связей между параметрами и общих факторов, обуславливающих изменчивость параметров в представительных группах рассматриваемых МИ;

5) определение на основе этих факторов относительной важности каждого параметра;

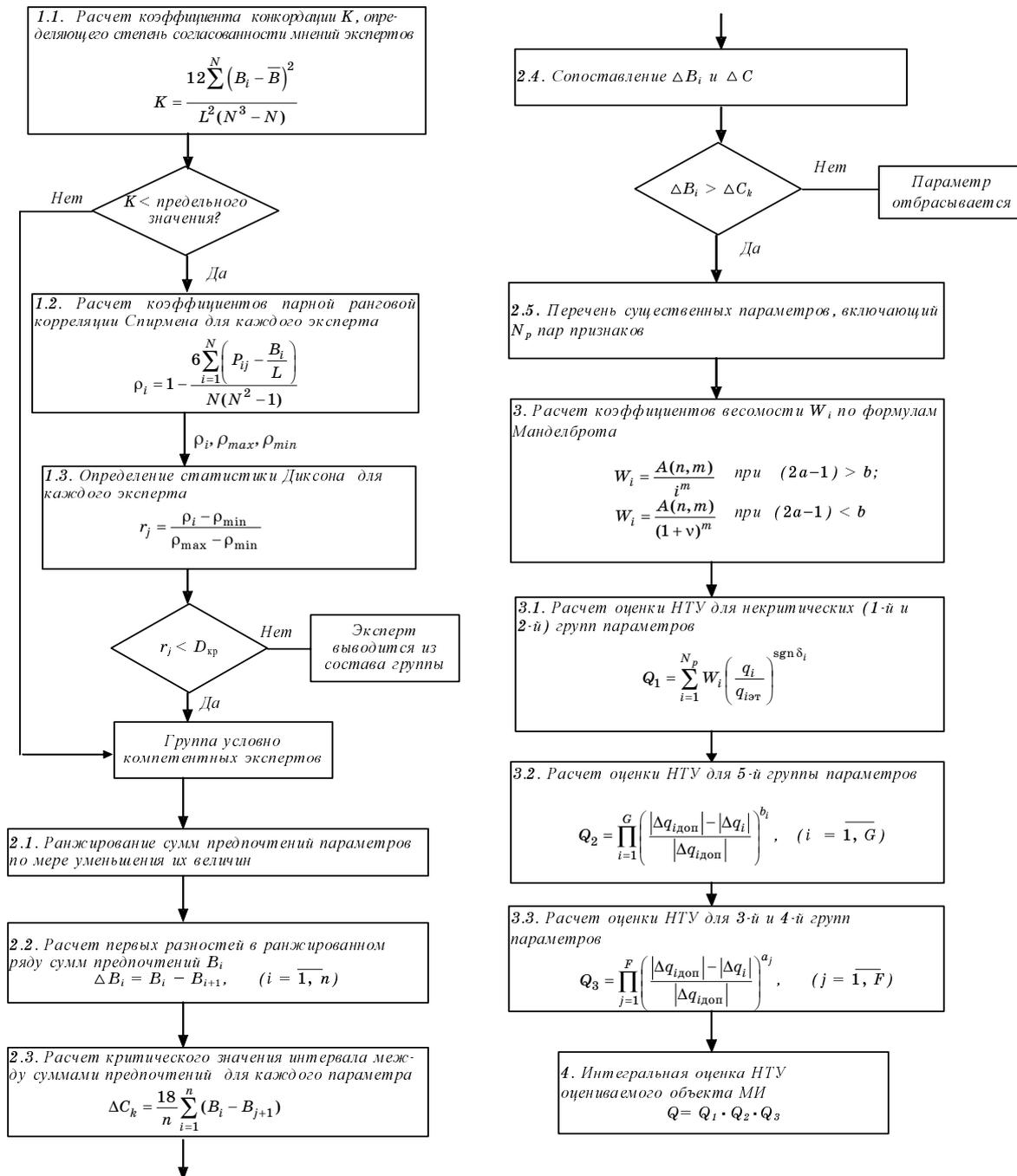
6) приведение к оптимальным соотношениям параметров МИ и построение системы информационных образцов МИ, которая могла бы использоваться при разработке заданий на НИОКР.

Сценарий должен управляться в процессе диалога с пользователем.

В соответствии с изложенными требованиями следует сформулировать и цели разработки сценария.

Исходной целью такой разработки является создание программного продукта, автоматизирующего процессы решения задач прогнозно-аналитического исследования большого массива параметрических данных МИ, имеющих временную координату. Исходная цель расчленяется на подцели, которые полагают при реализации сценария получение следующих результатов:

- а) выбор наиболее существенных параметров МИ;
- б) машинную классификацию МИ по отобранным параметрам в каждом временном интервале (процесс машинной классификации часто называется таксономией, а выделенные таким образом классы или группы – таксонами);
- в) формирование временных рядов;
- г) ранжирование МИ по техническому уровню в таксонах, имеющих малую представительность (до 25 изделий в таксоне);
- д) оценку статистических связей параметров МИ во временном ряду таксонов с достаточной представительностью (свыше 25 изделий в таксоне одного временного интервала);
- е) факторные конфигурации параметров МИ для оценки влияния общих факторов на изменчивость параметров в представительных таксонах;
- ж) оценку наиболее информативных параметров МИ в таксоне;



■ Рис. 4. Схема алгоритма расчета интегральной оценки НТУ МИ

з) динамические факторно-регрессионные зависимости между параметрами МИ представительных таксонов по отношению к главному из них (в качестве которого при неполном знании объекта целесообразно принять один из наиболее информативных);

к) ранжирование МИ представительных таксонов по техническому уровню.

Сценарий реализуется в виде процесса, состоящего из следующих последовательных этапов:

- 1) подготовка анкет для экспертов;
- 2) опрос экспертов (заполнение анкет);
- 3) ввод данных экспертного опроса и информации об экспертах;
- 4) ранжирование параметров МИ и составление перечня (списка) важнейших параметров;

5) запрос в базу данных «Выбрать данные по перечню параметров (отобранных в п. 4) МИ i -го года»;

6) представление извлеченных из базы данных на таксономию;

7) таксономия, вывод результатов в виде системы классификаций для рассматриваемого года;

8) просмотр классификаций администратором (или экспертами) и выбор классификации; если удовлетворительной классификации не получено, – к п. 2;

9) запоминание выбранной классификации i -го года. Проверка того, последний ли i -й год; если да, – к п. 11;

10) запрос в базу данных «Выбрать данные по перечню параметров (отобранных в п. 4) объектов для $(i + 1)$ -го года – к п. 6»;

11) формирование (отбор) массива центров таксонов в выбранных классификациях по всем годам;

12) автоматическая классификация центров таксонов; вывод результатов в виде классификаций с упорядочением во времени;

13) просмотр классификаций администратором; неформальный выбор рациональной классификации;

14) вывод временных рядов таксонов для неформального анализа; анализ полученных рядов – к пп. 15 и 22;

15) отбор временных рядов непредставительных (до 25 точек) таксонов (по среднему числу точек в одном году) для оценки НТУ МИ;

16) ранжирование точек по НТУ в отобранном j -м временном ряду таксонов на таксоне i -го года;

17) проверка того, последний ли i -й год; если да, – к п. 19;

18) ранжирование точек по НТУ в отобранном j -м временном ряду таксонов на таксоне $(i + 1)$ -го года – к п. 17;

19) вывод результатов ранжирования МИ по НТУ j -го таксона по годам для неформального анализа; отбор лучших МИ;

20) проверка, является ли j -й ряд последним в числе отобранных в п. 15; если нет, – к п. 16;

21) печать параметров лучших МИ (с указанием времени) для рассмотренных рядов таксонов;

22) отбор временных рядов представительных (свыше 25 точек) таксонов (по среднему числу точек в одном году) для оценки НТУ;

23) расчет значений коэффициентов корреляции в k -м ряду представительных таксонов на таксоне i -го года; формирование графа связей;

24) проверка того, последний ли i -й год; если да, – к п. 26;

25) расчет значений коэффициентов корреляции в k -м ряду таксонов на таксоне $(i + 1)$ -го года; формирование графа связей;

26) вывод графов связей для неформального анализа – к пп. 27 и 29;

27) формирование общей выборки для k -го временного ряда таксона; сортировка данных (устранение дублирующих данных);

28) ранжирование параметров в k -м временном ряду таксонов; определение главного параметра;

29) получение системы параметрических регрессионных уравнений факторного анализа для k -го временного ряда таксонов;

30) расчет показателей рассеяния параметров МИ 5-й группы для k -го ряда таксонов;

31) расчет оптимальных соотношений параметров в перспективном образце МИ;

32) расчет относительных показателей для параметров названного пользователем образца МИ (например, типового) для k -го временного ряда и интегральной оценки НТУ;

33) проверка, является ли k -й временной ряд последним в числе отобранных в п. 22; если нет, – к п. 23;

34) подготовка выводов о характере и тенденциях развития рассматриваемого класса МИ.

В настоящее время на основе предложенного сценария разрабатывается программное обеспечение данного метода.

Заключение

В решении Коллегии МЗ РФ от 21 марта 2001 г. «О ходе реализации Концепции развития здравоохранения и медицинской науки, задачах на 2001–2005 годы и на период до 2010 года» в разделе «Повышение структурной эффективности системы здравоохранения» указывалось на необходимость «разработки правил оснащения государственных и муниципальных медицинских организаций оборудованием, его применения и обновления, предусмотрев ранжирование медицинского оборудования по классам, стандартизацию фондооснащенности медицинским оборудованием различных типов медицинских технологий...» [1].

Практически во всех документах, посвященных данной проблеме, на разных уровнях отмечается актуальность и обязательность решения следующих задач:

1) стандартизации медицинских технологий и разработки протоколов ведения больных; 2) разработки нормативов оснащенности медицинских учреждений; 3) приведения оснащения в соответствие с требованиями нормативов; 4) внедрения формулярной системы, разработки норм обеспечения медицинской техникой, медикаментами и расходными материалами.

Однако до настоящего времени ни в Минздравсоцразвития РФ, ни в других государственных органах нет единого мнения о методах и системных принципах решения проблемы качества технической оснащенности ЛПУ.

В работе предложена методология оптимизации МТО учреждений здравоохранения, в основу которой положены системные принципы оценки и прогнозирования НТУ МИ. На базе этих принципов и предполагается формирование типовых таблиц технического оснащения различных ЛПУ, гарантирующих высокое техническое качество предоставляемых медицинских услуг.

Литература

1. **Юрьев А. С.** Некоторые аспекты обеспечения современных медицинских технологий медицинскими изделиями // Медицинские изделия для здравоохранения России – 2003: Материалы II Всерос. форума. Москва, 16–17 апреля 2003 г. С. 15–16.
2. Решение Коллегии МЗ РФ от 21 марта 2001 г. «О ходе реализации Концепции развития здравоохранения и медицинской науки, задачах на 2001–2005 годы и на период до 2010 года» / Минздрав РФ. М., 2001. 36 с.
3. **Вуори Х. В.** Обеспечение качества медицинского обслуживания / Европейское бюро ВОЗ. Копенгаген, 1985. 380 с.
4. **Миронов А. А.** Стандарты медицинского обслуживания и оценка его качества. М.: Наука, 1994. 214 с.
5. **Ворогушин В. А., Пахарьков Г. Н.** Медико-технические аспекты создания системы обеспечения качества медицинских услуг // Физика и радиоэлектроника в медицине и биотехнологии «ФРЭМБ-98»: Материалы III Междунар. науч.-техн. конф. Владимир, 17–19 июня 1998 г. / Под ред. Л. Т. Сушковой; Ин-т оценки Земли. Гаврилов Посад, 1998. С. 349–353.
6. **Пахарьков Г. Н.** Биотехническая система контроля качества медико-технического оснащения учреждений здравоохранения // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2004. № 1. С. 3–10.
7. **Грановский В. А., Пахарьков Г. Н.** Модель жизненного цикла медицинских услуг на основе требований Международного стандарта ИСО 9004.2 // Диагностика, информатика, метрология, экология и безопасность (ДИМЭБ-97): Тез. докл. науч.-техн. конф. СПб., 1997. С. 47–50.
8. **Пахарьков Г. Н., Марек Р., Стожаров В. В.** Система оценки качества медико-технического обеспечения медицинских услуг // Проблемы городского здравоохранения: Сб. науч. тр. / СПбГМУ. СПб., 1999. Вып. 4. С. 304–308.
9. **Эль Маула Ш. Х.** Автоматизированная система качества медико-технического обеспечения медицинской помощи в лечебно-профилактическом учреждении: Дис. ... канд. техн. наук / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2000. 148 с.
10. **Пахарьков Г. Н.** Системные проблемы оценки технического качества медицинских услуг // Вестник Северо-Западного регионального отделения Академии медико-технических наук. СПб.: ООО «Агентство «РДК-принт». 2001. № 5. С. 90–105.
11. **Пахарьков Г. Н., Попечителей Е. П., Марек Р.** Автоматизированные системы качества медико-технического обеспечения здравоохранения // Биотехнические системы в биологии и медицине / Под общ. ред. Е. П. Попечителя. СПб.: Политехника, 2002. С. 182–191.
12. **Пахарьков Г. Н., Марек Р.** Методология оценки качества медико-технического оснащения учреждений здравоохранения / Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2003. № 1. С. 12–15.
13. **Пахарьков Г. Н., Попечителей Е. П.** Принципы и методы обеспечения качества медико-технического оснащения здравоохранения: Учеб. пособие / СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб., 2003. 120 с.
14. **Пахарьков Г. Н., Попечителей Е. П.** К вопросу об оценке технического качества медицинской услуги в санаторно-курортных учреждениях // Курорты, экология и образование: Сб. тр. X юбилейной Междунар. науч.-практ. конф. 19–20 апреля 2001 г. СПб.: Геликон Плюс, 2001. С. 54–66.
15. **Леонов Б. И., Зинченко В. Я.** Общероссийская система мониторинга медицинских изделий в ЛПУ – информационная основа концепции реализации современных медицинских технологий // Медицинские изделия для здравоохранения России – 2003. Материалы II Всерос. форума. Москва, 16–17 апреля 2003 г. С. 17–18.
16. **Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 279 с.
17. **Райхман Э. И., Азгальдов Г. Г.** Экспертные методы в оценке качества товаров. М.: Экономика, 1974. 151 с.
18. **Хартман К.** и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. М.: Мир, 1977. 147 с.
19. **Пахарьков Г. Н.** Система операционно-квалиметрического анализа научно-технического уровня медицинской техники // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2005. № 1. С. 3–9.

УДК 543.422

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СОСТАВА ПОЛИКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД ПО ДОМИНИРУЮЩЕЙ КОМПОНЕНТЕ

А. М. Василевский,

доктор техн. наук, профессор

Г. А. Коноплев,

канд. техн. наук, ассистент

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Описана информационно-измерительная система анализа поликомпонентных сред по ультрафиолетовым спектрам экстинкции (200–400 нм). Рассмотрена математическая модель поглощения таких сред, методика проведения градуировки и расчета концентрации доминирующего компонента. Приводятся характеристики автоматизированного многоканального спектроанализатора. Показана возможность применения разработанной системы для анализа поликомпонентных жидких биологических сред.

Informational and measuring system for the analysis of multicomponent media by ultraviolet spectrophotometry (200–400 nm) is described. The mathematical model of media absorption, the methods of calibration and determination of the principal component concentration are considered. Technical characteristics of the automatic spectroanalyzer are presented. The possibility of analysis of multicomponent biological fluids by the method presented is proved.

Метод абсорбционного спектрального анализа широко используется в науке и технике. Преимуществами данного метода являются оперативность, высокая воспроизводимость, малый объем пробы, неинвазивность, возможность реализации мониторинга состава среды в проточном режиме, сравнительно невысокая стоимость используемой аппаратуры, отсутствие необходимости в использовании реактивов, низкая трудоемкость и возможность автоматизации. Отметим лишь несколько научных и практических областей, в которых важное место занимает абсорбционный спектральный анализ – контроль экологического состояния среды обитания человека, клинико-лабораторные биохимические исследования, фармакологические исследования, контроль качества пищевых продуктов.

Наиболее информативной для спектрального анализа жидких сред является ультрафиолетовая (УФ) область, где находятся электронные полосы поглощения многих хромофорных групп [1], а современные автоматизированные УФ-спектрофотометры, построенные на основе многоэлементных приемников излучения, обеспечивают возможность регистрации и анализа значительных объе-

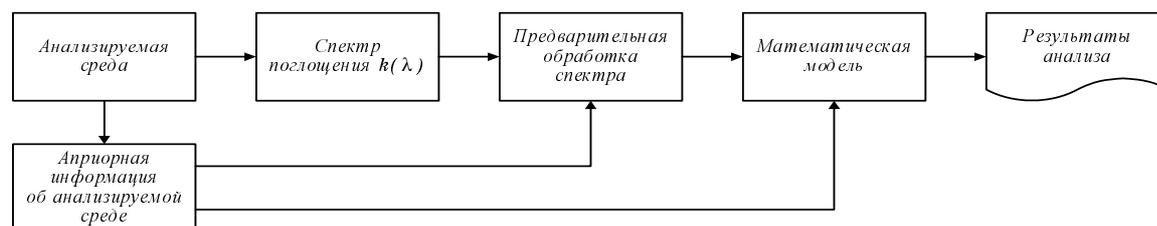
мов спектральной информации в реальном масштабе времени.

Абсорбционный спектральный анализ состава жидкой среды (рис. 1) реализуется при выполнении следующих условий: среда идентифицирована, известна степень ее разбавления и тип растворителя (априорная информация), заданы границы применимости используемой в расчетах математической модели и известны спектральные коэффициенты экстинкции отдельных компонентов и растворителя в исследуемой спектральной области.

Базовой математической моделью при количественном абсорбционном спектральном анализе обычно служит закон Бугера–Ламберта–Бера, согласно которому ослабление параллельного монохроматического пучка света в среде описывается выражением

$$I_{\lambda} = I_{\lambda}^0 \exp(-k_{\lambda}d) = I_{\lambda}^0 \exp(-\varepsilon_{\lambda}Cd), \quad (1)$$

где I_{λ} – интенсивность прошедшего через слой среды монохроматического света; I_{λ}^0 – интенсивность падающего монохроматического света; k_{λ} – спектральный коэффициент экстинкции; ε_{λ} – моляр-



■ Рис. 1. Обобщенная схема спектрофотометрического анализа

ный (удельный) коэффициент экстинкции; C – концентрация поглощающего вещества; d – толщина слоя среды (оптическая толщина кюветы для жидких и газовых сред). При анализе многокомпонентных сред закон Бугера–Ламберта–Бера дополняют принципом аддитивности, в соответствии с которым коэффициент экстинкции смеси равен сумме коэффициентов экстинкции отдельных ее компонентов. Анализ чаще всего проводится на одной (для однокомпонентных сред) или нескольких (для поликомпонентных сред) дискретных длинах волн, лежащих в области максимума характеристических полос поглощения компонентов [2].

Многими исследователями показано, что закон Бера и принцип аддитивности соблюдаются лишь для разбавленных растворов и разреженных газов, когда межмолекулярные взаимодействия не оказывают заметного влияния на коэффициент экстинкции среды. Целый ряд встречающихся на практике сред, в частности жидкие биологические среды (плазма крови, лимфа, ликвор, моча), жидкие лекарственные формы, сточные воды и т. д., не удовлетворяют данному условию в силу следующих причин:

- концентрация компонентов в среде может изменяться в широких пределах;
- спектры поглощения отдельных компонентов в значительной степени перекрываются;
- в состав среды могут входить компоненты, концентрация и молярные коэффициенты экстинкции которых неизвестны.

Применение классического абсорбционного спектрального анализа в подобных условиях приводит к значительным погрешностям в случае однокомпонентных сред, а для поликомпонентных сред практически исключено.

Вероятными путями расширения возможностей практического применения классического абсорбционного анализа может быть расширение объема априорной информации об исследуемых средах, а также уточнение математических моделей, используемых для анализа.

Авторами предложены оригинальные методики классификации жидких биосред организма [3] и уточняющие математические модели [4], позволившие создать на их основе автоматизированные оптико-электронные информационно-измеритель-

ные системы количественного анализа жидких биосред в УФ-области спектра.

Априорная информация об исследуемых средах может быть дополнена выделением доминирующей компоненты, которая вносит наибольший вклад в суммарное поглощение среды в используемой для анализа спектральной области. Как показали наши исследования, в большинстве случаев форму спектра поглощения основных жидких биосред организма определяет один (доминирующий) компонент: белок в плазме крови и ликворе, мочевая кислота и креатинин в моче, один из компонентов в жидких лекарственных формах. Если такой компонент выделен и предварительно исследованы его спектральные характеристики поглощения, анализ поликомпонентной смеси существенно упрощается. Эта дополнительная информация должна быть использована в уточненных математических моделях для повышения точности анализа сложных сред и расширения диапазона концентраций при анализе однокомпонентных сред.

Ультрафиолетовый спектр поглощения можно рассматривать как функцию зависимости показателя поглощения от длины волны $k_\lambda(\lambda)$, заданную в интервале длин волн $\lambda_1, \dots, \lambda_2$. Если функция $k_\lambda(\lambda)$ определена в конечном числе точек (дискретных длин волн), например при использовании спектрофотометров на основе многоэлементных приемников излучения, она трансформируется в вектор \mathbf{k} размерностью N^t , равной числу ячеек фотоприемника. Направление вектора характеризует форму спектра, а его длина – общий уровень поглощения.

В этом случае модель поглощения N -компонентной среды можно представить в виде математического оператора \mathbf{F} , преобразующего вектор концентраций компонентов \mathbf{C} в вектор значений показателя поглощения \mathbf{k} :

$$\mathbf{k} = \mathbf{F}\mathbf{C}, \quad (2)$$

$$\text{где } \mathbf{k} = \begin{bmatrix} k_1 \\ \vdots \\ k_{N'} \end{bmatrix}; \mathbf{C} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_N \end{bmatrix}.$$

При соблюдении закона Бугера–Ламберта–Бера и принципа аддитивности \mathbf{F} является линейным оператором. В сложных средах данные условия не выполняются и необходимы более разви-

тые модели, предполагающие наличие нелинейной зависимости показателя поглощения от концентрации. Построение таких моделей требует значительных усилий даже для однокомпонентных сред, а для многокомпонентной среды, состав которой изменяется произвольно, представляет собой чрезвычайно сложную задачу, которая в настоящее время не решена.

Задача количественного спектрального анализа заметно облегчается, если априори известно, что процессы изменения концентрации компонентов анализируемой среды носят в той или иной степени согласованный характер. В частности, для многих сред характерно постоянство формы спектра при значительных вариациях общего уровня поглощения. Данный факт обусловлен тем, что концентрации информативных (оказывающих заметное влияние на спектр поглощения) компонентов в таких средах изменяются пропорционально степени разведения.

Рассмотрим однокомпонентные среды. Зависимость $k_\lambda(C)$ для подобной среды можно разложить в ряд Тейлора по степеням концентрации:

$$k_\lambda(C) = \varepsilon_\lambda C + \frac{1}{2} \frac{d^2 k_\lambda}{dC^2} \Big|_{C=0} C^2 + \frac{1}{6} \frac{d^3 k_\lambda}{dC^3} \Big|_{C=0} C^3 + \frac{1}{24} \frac{d^4 k_\lambda}{dC^4} \Big|_{C=0} C^4 + \dots \quad (3)$$

Коэффициент разложения первого порядка представляет собой молярный показатель поглощения классического закона Бугера–Ламберта–Бера. При малых концентрациях члены высших порядков пренебрежимо малы, зависимость $k_\lambda(C)$ можно считать линейной, и выражение обращается в закон Бугера–Ламберта–Бера. С ростом концентрации вклад членов высших порядков становится заметным. Наши исследования [4] показали, что для многих сред в разложении можно ограничиться первыми двумя членами. Коэффициент разложения второго порядка назовем молярным показателем поглощения второго порядка $\varepsilon_\lambda^{(2)}$:

$$k_\lambda(C) = \varepsilon_\lambda C + \varepsilon_\lambda^{(2)} C^2. \quad (4)$$

Молярные показатели спектрального поглощения первого и второго порядка не могут быть рассчитаны теоретически, поэтому априорная информация о параметрах модели применительно к конкретной среде должна быть определена экспериментально в ходе предварительной градуировки. Для этого необходимо приготовить набор из L проб исследуемой среды с известной концентрацией, измерить их спектры и определить границы информативной спектральной области. На каждой длине волны информативного спектрального диапазона составляется система уравнений и с использованием одного из статистических методов обработки результатов, например метода наименьших квадратов, рассчитываются

спектральные компоненты вектора молярных показателей поглощения e_λ :

$$\begin{bmatrix} C_1 & C_1^2 \\ \vdots & \vdots \\ C_L & C_L^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_\lambda \\ \varepsilon_\lambda^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_\lambda^1 \\ \vdots \\ k_\lambda^L \end{bmatrix} \Rightarrow C e_\lambda = k_\lambda \Rightarrow e_\lambda = (C^T C)^{-1} C^T k_\lambda. \quad (5)$$

В случае поликомпонентной среды, содержащей N компонентов, по аналогии с (4) имеем

$$k_\lambda(C_1, C_2, \dots, C_N) = \sum_{i=1}^N (\varepsilon_{i\lambda} C_i + \varepsilon_{i\lambda}^{(2)} C_i^2) + \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \varepsilon_{ij\lambda}^{(2)} C_i C_j, \quad (6)$$

где $\varepsilon_{i\lambda}$, $\varepsilon_{i\lambda}^{(2)}$ – молярные показатели поглощения первого и второго порядка для i -го компонента;

$\varepsilon_{ij\lambda}^{(2)} = \frac{\partial^2 k_\lambda}{\partial C_i \partial C_j}$ – молярный показатель поглощения

второго порядка, учитывающий взаимодействие между i -м и j -м компонентами среды.

Рассмотрим случай, когда важно определить концентрацию только одного компонента поликомпонентной среды, поглощение излучения которым вносит наибольший вклад в суммарное поглощение среды в используемой для анализа спектральной области. При этом остальные компоненты смеси в той или иной степени ухудшают точность анализа. Разделим на две группы мешающие компоненты, концентрация которых изменяется: 1) от пробы к пробе практически пропорционально изменениям концентрации доминирующего компонента; 2) независимо от концентрации доминирующего компонента.

Выразим концентрации компонентов первой группы через концентрацию определяемого компонента $C_i = g_i C$, причем $g_i = \text{const}$; концентрации компонентов второй группы заменим их средними значениями для исследуемой среды $C_i = C_i$. Элементарные преобразования выражения (6) дают

$$k_\lambda(C) = k_\lambda^0 + (\varepsilon_\lambda + \Delta\varepsilon_\lambda) C + (\varepsilon_\lambda^{(2)} + \Delta\varepsilon_\lambda^{(2)}) C^2. \quad (7)$$

Таким образом, вклад в поглощение среды всех компонентов за исключением определяемого может быть учтен введением в зависимость (4) всего трех дополнительных коэффициентов:

1) двух поправок к молярным показателям поглощения определяемого компонента $\Delta\varepsilon_\lambda$ и $\Delta\varepsilon_\lambda^{(2)}$, которые учитывают интегральный вклад компонентов первой группы;

2) постоянной составляющей k_λ^0 , учитывающей интегральный вклад компонентов, отнесенных ко второй группе.

Следует отметить, что дополнительные коэффициенты являются характеристикой не конкрет-

■ Таблица 1

Рабочий спектральный диапазон	198–406 нм
Спектральное разрешение	0.4 нм
Дифракционная решетка	Вогнутая, 4-секционная
Источник излучения	Дейтериево-неоновая лампа ДНМ-15
Фотоприемник	УФ ПЗС (512 элементов)
Время регистрации одного спектра	8 мс – 2 с
Погрешность измерения коэффициента пропускания δT_λ	Не более $\pm 5\%$
Внешний интерфейс	LPT

ного вещества, а исследуемой среды в целом, и будут различными по величине для одного и того же определяемого компонента в различных средах. Поскольку эти коэффициенты не могут быть рассчитаны теоретически, для каждой исследуемой среды требуется предварительная градуировка.

Градуировка проводится по набору проб поликомпонентной среды, концентрация определяемого компонента в которых измерена одним из биохимических методов. Предварительно для определяемого компонента в ходе исследования однокомпонентных модельных растворов вычисляют молярные показатели поглощения первого и второго порядков. Поправки k_λ^0 , $\Delta \epsilon_\lambda$, $\Delta \epsilon_\lambda^{(2)}$ находят из системы уравнений, аналогичной системе (5), с помощью метода наименьших квадратов.

Процедура вычисления концентрации по измененному спектру для простых моделей, таких как закон Бугера–Ламберта–Бера, сводится к применению обратного оператора к вектору значений показателя поглощения $\mathbf{C} = \bar{\mathbf{F}}^{-1}\mathbf{k}$. Предложенная модель представляет собой оператор, который аналитически не может быть обращен, поэтому для расчета концентрации необходимо использовать метод оптимизации. Подставляя концентрацию в разложение (7), можно рассчитать и восстановить спектр поглощения $\mathbf{k}^B = \bar{\mathbf{F}}\mathbf{C}$ во всем информативном спектральном диапазоне. Варьируя элементы вектора \mathbf{C} и добиваясь наилучшего совпадения измеренного \mathbf{k} и рассчитанного \mathbf{k}^B спектров, можно вычислить концентрацию основного компонента. Общепринятым численным критерием степени идентичности восстановленного и экспериментально зарегистрированного спектров является квадрат модуля разности векторов \mathbf{k} и \mathbf{k}^B :

$$\Delta = \left| \mathbf{k} - \mathbf{k}^B \right|^2 = \sum_{n=N_1}^{N_2} \left(k_n - k_n^0 - \epsilon'_n C - \epsilon_n^{(2)} C^2 \right)^2. \quad (8)$$

Для оценки степени достоверности полученных результатов необходимо вычислить коэффициент подобия формы восстановленного и реального спектров $S(\mathbf{k}, \mathbf{k}^B)$, под которым здесь понимается

нормированное скалярное произведение векторов \mathbf{k} и \mathbf{k}^B . Коэффициент подобия зависит только от формы спектральной кривой и не зависит от общего уровня поглощения:

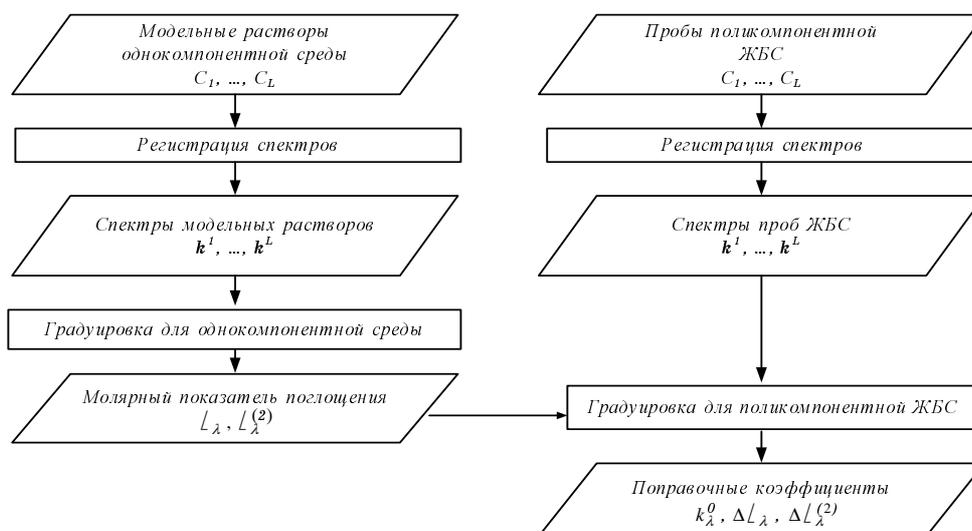
$$S(\mathbf{k}, \mathbf{k}^B) = 1000 \frac{\sum_{n=N_1}^{N_2} k_n k_n^B}{\sqrt{\sum_{n=N_1}^{N_2} (k_n)^2 \sum_{n=N_1}^{N_2} (k_n^B)^2}}. \quad (9)$$

Результат расчета концентрации можно считать достоверным, если величина коэффициента подобия превышает пороговую величину $S_{\text{пор}}$. Конкретное значение $S_{\text{пор}}$ определяется экспериментально, исходя из особенностей анализируемых сред и рабочего интервала длин волн. Наши исследования показали, что для однокомпонентных биосред пороговый коэффициент подобия целесообразно выбирать равным $S_{\text{пор}} = 990$, для многокомпонентных биосред – $S_{\text{пор}} = 950$.

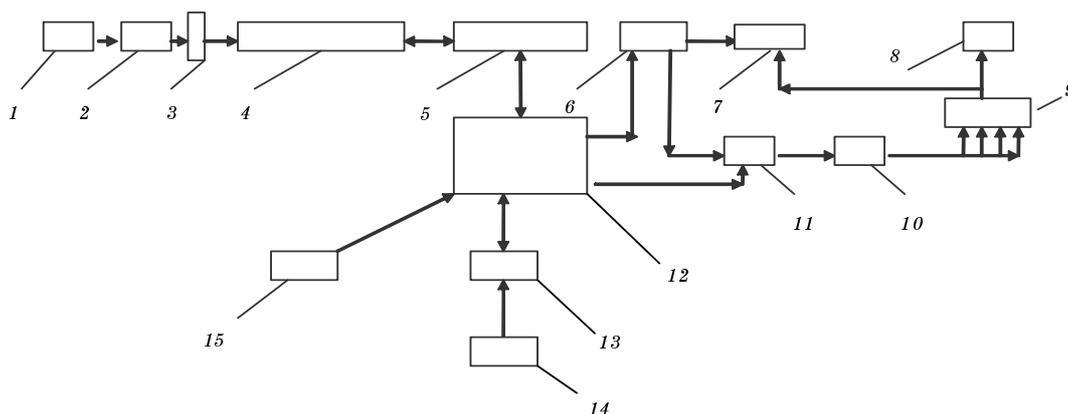
Таким образом, при проведении анализа состава жидких поликомпонентных сред по предложенным методикам предварительно должны быть сформированы банки данных спектральных коэффициентов коррекции поглощения, описывающих используемую математическую модель применительно к исследуемой среде.

Описанный метод, алгоритм которого представлен на рис. 2, реализован как составная часть разработанного авторами программного продукта для обработки УФ-спектров экстинкции жидких сред [5]. Для регистрации спектров применялся многоканальный автоматизированный спектроанализатор, основные технические характеристики которого приведены в табл. 1.

Разработанная на основе спектроанализатора автоматизированная информационно-измерительная система (рис. 3) была использована для анализа сложной многокомпонентной жидкой биологической среды – перитонеального диализата [6]. Эта среда, в состав которой входят практически



■ Рис. 2. Алгоритм анализа состава поликомпонентной среды по спектру экстинкции; ЖБС – жидкая биологическая среда



■ Рис. 3. Блок-схема автоматизированной системы для анализа поликомпонентной жидкой биосреды по спектрам экстинкции:

1 – источник света; 2 – оптическая система формирования пучка; 3 – проточная кювета с содержащейся в ней исследуемой жидкостью; 4 – спектрометр; 5 – контроллер; 6 – блок обработки текущего спектра; 7 – дисплей; 8 – блок данных градуировки для поликомпонентной исследуемой среды; 9 – блок алгоритмов расчета концентрации; 10 – блок предварительной обработки данных; 11 – таймер; 12 – вычислительный управляющий блок; 13 – блок данных градуировки для отдельных компонентов; 14 – блок управления параметрами анализа; 15 – блок управления параметрами регистрации и настройки спектрометра

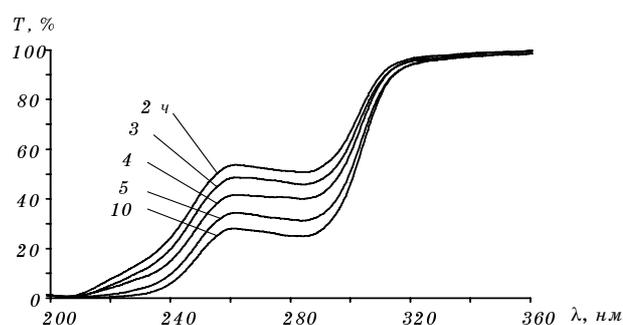
все компоненты плазмы крови, относящиеся к низко- и среднемoleкулярному пулу, является объектом анализа при лечении хронической почечной недостаточности. В настоящее время не существует методик, которые позволяли бы проводить автоматизированный количественный спектральный анализ подобных сред.

В процессе предварительных исследований было установлено, что доминирующими компонентами для диализата являются мочевая кислота и креатинин [7]. По описанному выше алгоритму была проведена градуировка, в ходе которой были

определены поправочные коэффициенты k_{λ}^0 , $\Delta \epsilon_{\lambda}$, $\Delta \epsilon_{\lambda}^{(2)}$ для креатинина и мочевой кислоты. Экспериментальные спектры пропускания перитонеального диализата одного из больных в спектральной области 200–400 нм приведены на рис. 4. Спектральное поглощение в области 230 нм обусловлено креатинином, а в области 290 нм – мочевой кислотой. Остальные компоненты, входящие в состав диализата, вносят в общее поглощение дополнительную погрешность, вклад которой и должен быть учтен по предложенной методике. Результаты сопоставительного анализа состава диализата

■ Таблица 2

№ больного	Дата сеанса	Длительность нахождения в полости брюшины, ч	Концентрация доминирующего компонента, ммоль/л			
			Мочевая кислота		Креатинин	
			биохимический анализ	спектральный анализ	биохимический анализ	спектральный анализ
1	10.04.01–11.04.01	2	0.23	0.18	0.63	0.63
		3	0.24	0.20	0.72	0.72
		4	0.26	0.20	0.72	0.72
		5	0.17	0.13	0.65	0.45
		10	0.29	0.24	0.80	0.87
2	10.04.01–11.04.01	2	0.11	0.10	0.32	0.29
		3	0.13	0.12	0.42	0.35
		4	0.16	0.15	0.42	0.46
		5	0.10	0.09	0.30	0.26
		10	0.20	0.19	0.54	0.65
3	08.02.02–09.02.02	2	0.19	0.19	0.42	0.49
		3	0.23	0.22	0.53	0.58
		4	0.26	0.23	0.54	0.61
		5	0.17	0.14	0.38	0.36
		10	0.29	0.27	0.61	0.75
4	15.03.02–16.03.02	2	0.15	0.16	0.21	0.26
		3	0.18	0.16	0.24	0.26
		4	0.22	0.18	0.25	0.29
		5	0.11	0.12	0.16	0.18
		10	0.23	0.25	0.27	0.44
5	08.02.03–09.02.03	2	0.10	0.10	0.35	0.28
		3	0.10	0.10	0.37	0.30
		4	0.11	0.11	0.39	0.30
		5	0.08	0.08	0.32	0.22
		10	0.14	0.15	0.44	0.43
Коэффициент корреляции ρ			0.95		0.86	



■ Рис. 4. Спектры пропускания перитонеального диализата по длительности нахождения в полости брюшины

по УФ-спектрам экстинкции для 5 больных и параллельного биохимического анализа по мочевой кислоте и креатинину приведены в табл. 2. Погрешность анализа перитонеального диализата биохимическим методом составляла 10%.

Относительная погрешность определения концентрации мочевой кислоты не превышает 8%, креатинина – 18%.

Процедура спектрального анализа по предложенной методике включала измерение спектра экстинкции диализата, обработку спектра и вывод результатов на экран монитора и составляла ~ 2 с. Длительность биохимического анализа по стан-

дартной методике включала для каждой пробы химическую, термическую и механическую обработку и лабораторный анализ и длилась более 4 ч.

Разработанная автоматизированная информационно-измерительная система была использована для спектрального анализа состава растворов

глюкозы, аналгина, гепарина и других жидких лекарственных форм, а также для анализа изменений состава мочи и слюны при различных заболеваниях.

Работа выполнена в рамках проекта РНП 2.1.2.7083 ФАО РФ.

Литература

1. Свердлова О. В. Электронные спектры в органической химии. Л.: Химия, 1985. 248 с.
2. Берштейн И. Я., Каминский Ю. Л. Спектрофотометрический анализ в органической химии. Л.: Химия, 1986. 198 с.
3. Василевский А. М., Коноплев Г. А. Peculiar character of dialyzate ultraviolet extinction spectra as an indicator of nucleic acids metabolism in humans (Индивидуальные особенности УФ-спектров экстинкции диализата как характеристика обмена нуклеиновых кислот у человека) // Journal of biomedical optics. 2005. Vol.10. N 4. P. 44–54.
4. Василевский А. М. Информационно-измерительная система мониторинга сеанса гемодиализа по спектрам экстинкции в УФ-области спектра // Информационно-управляющие системы. 2003. № 1. С. 40–46.
5. Василевский А. М., Коноплев Г. А. Программное обеспечение для обработки УФ-спектров экстинкции жидких сред // Региональная информатика-2004: Материалы девятой СПб. Междунар. конф., 22–24 июня 2004 г. / СПОИСУ. СПб., 2004. С. 354–355.
6. Гуревич К. Я. и др. Перитонеальный диализ: Метод. рекомендации для врачей / СПбМАПО. СПб., 2003. 98 с.
7. Василевский А. М., Коноплев Г. А. Применение ультрафиолетовой спектрофотометрии для анализа перитонеального диализата // Оптический журнал. 2004. Т. 71. № 3. С. 64–66.

РАБОЧИЙ СЕМИНАР «НАУКОЕМКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ» – НПО

27–28 июня 2006 г.

Место проведения конференции: Новосибирск, Академгородок

Семинар НПО пройдет в рамках Шестой международной конференции «Перспективы систем информатики» (http://www.iis.nsk.su/psi06/index_r.shtml)

Научный семинар НПО посвящен вопросам создания прикладного программного обеспечения, презентации имеющихся разработок, дискуссиям представителей фундаментальной и прикладной науки с разработчиками программных продуктов и заказчиками научного и наукоемкого программного обеспечения.

Организатор

Институт систем информатики им. А. П. Ершова СО РАН

Тематика семинара

Информационные технологии и информационные системы

Программное обеспечение для естественно-научной деятельности

Информационные системы гуманитарного направления

Инженерные расчеты и конструкторские пакеты автоматизации проектирования

Управление производством и технологическими процессами

Приложения геоинформационных технологий

Приложения, ориентированные на потребности людей (мультимедиа, поисковые системы, электронные

публикации, электронные коллекции, информационные порталы)

Бизнес-приложения

Контрольные сроки

Доклады и стендовые доклады по теме семинара принимаются до 15 мая 2006 г. В качестве доклада могут представляться оригинальные научные результаты, наукоемкие программные разработки, проекты и прототипы наукоемких разработок, запросы на наукоемкие разработки. Стендовые доклады являются демонстрацией разработанного стендового доклада, до 4 стр. для доклада.

Принятые доклады будут опубликованы. Участники получат информационный бюллетень с материалами семинара.

К 1 июня 2006 г. авторам будут разосланы уведомления о принятии (электронной почтой).

Дополнительная информация и справки

Институт систем информатики им. А. П. Ершова, Россия, 630090, Новосибирск, пр. акад. Лаврентьева, д. 6,

тел: +7 383 330 73 52, факс: +7 383 332 34 94,

e-mail: psi06@iis.nsk.su

http://www.iis.nsk.su/psi06/ap_software/index_r.shtml

НПФ «САКВОЕЕ»
Институт радиотехники и электроники РАН
Институт лазерной физики СОРАН
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Радиотехнический институт им. А. Л. Минца
Воронежский государственный технический университет
Воронежский НИИ связи
Воронежский государственный университет
Администрация г. Воронежа

**XII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«РАДИОЛОКАЦИЯ, НАВИГАЦИЯ, СВЯЗЬ»
(RLNC–2006)
18–20 апреля 2006 г.**

Место проведения конференции: Воронежский государственный университет
Адрес: Россия, 394006, Воронеж, Университетская площадь, 1.

Президент конференции, главный идеолог –
Директор НПФ «САКВОЕЕ», кандидат технических наук Осипов Б. Я.

Почетный Председатель Оргкомитета – Директор института радиотехники и электроники РАН, академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор Гуляев Ю. В.

Председатель Оргкомитета – Генеральный директор Воронежского НИИ связи, член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор Борисов В. И.

Направления работы конференции

Общие проблемы передачи и обработки информации

Передача изображений

Цифровая обработка сигналов

Системы радиосвязи и передачи дискретных сообщений

Мобильная связь

Радиолокация

Сверхширокополосная радиолокация

Навигация

Морская локация и навигация. Гидроакустика

Методы обработки радиолокационных и навигационных сигналов

Авиационно-космические радиоэлектронные системы

Электродинамика, распространение радиоволн, антенны

Техника СВЧ

Помехи. Электромагнитная совместимость

Радиоэлектронная разведка и радиоэлектронное подавление

Радиотехнические устройства

Электроника

Современные материалы и технологии в радиоэлектронике

Лазерно-оптические, тепловые системы наблюдения

Радиотехнический мониторинг

Конференции проводятся на русском языке. На конференции принимаются только полные доклады (тезисы не принимаются) общим объемом 5–12 страниц формата А 4.

Издание трудов конференции

К началу работы каждой конференции издается Сборник докладов конференции.

На конференции RLNC с 2004 года начато издание отдельного Сборника докладов ряда секций на английском языке. В 2006 году планируется выпуск Сборника докладов на английском языке в объеме 2/3 от общего количества докладов. С 2007 года планируется выпуск полного Сборника докладов как на русском, так и на английском языках.

Сборники реферируются в Реферативных журналах, выпускаемых ВИНТИ России.

За время проведения конференций в них участвовали несколько тысяч ученых и специалистов учебных институтов, университетов, академий, Институтов Российской академии наук, НИИ и КБ России, Украины, Белоруссии и др. стран ближнего и дальнего зарубежья.

Дополнительная информация и справки

Россия, Воронеж, почтаamt, а/я 360, Осипову Б. Я.
e-mail: rlnc@comch.ru; cht@sakv.ru;

osp@vnicom.comch.ru

сайт: <http://www.rlnc.sakv.ru/rlnc-2006.htm>

НПФ «САКВОЕЕ»
Институт системного анализа РАН
Институт проблем управления РАН
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
ЦНИИ автоматики и гидравлики
Воронежский НИИ связи
Воронежский государственный технический университет
Воронежский государственный университет
Администрация г. Воронежа

VII МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КИБЕРНЕТИКА И ВЫСОКИЕ ТЕХНОЛОГИИ XXI ВЕКА»
(С&Т–2006),
16–18 мая 2006 г.

Место проведения конференции: Воронежский государственный университет
Адрес: Россия, 394006, Воронеж, Университетская площадь, 1.

Президент конференции, главный идеолог – директор НПФ «САКВОЕЕ», кандидат технических наук Осипов Б. Я.

Почетный Председатель Оргкомитета – научный руководитель института системного анализа РАН, академик РАН, доктор технических наук, профессор Емельянов С. В.

Сопредседатель Оргкомитета – профессор МГУ, академик РАН, доктор технических наук, профессор Коровин С. К.

Вице-председатель Оргкомитета – проректор ВГУ, доктор физико-математических наук, профессор Сидоркин А. С.

Направления работы конференции

Общие проблемы управления

Кибернетика. Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы

Общая теория управления

Прикладные задачи автоматизированного управления

Информационные системы и технологии

Информационно-вычислительные и управляющие системы

Интеллектуальные информационные системы
Нейрокомпьютеры: теория, технологии создания и применения

Сети интегрального обслуживания в информационных системах

Интеллектуальное программное обеспечение.
Компьютерное моделирование

Проблемы идентификации в информационных системах

Автоматизированные промышленные технологии

Современные технологии в материаловедении

Высокие технологии в машиностроении
Автоматизированное управление химико-технологическими процессами

Динамика механических систем

Высокие технологии в аэрокосмических и морских системах

Интеллектуальные авиационно-космические системы управления

Управление воздушным движением. Безопасность полетов

Прочность конструкций летательных аппаратов

Интеллектуальные вспомогательные технические системы

Технологии поиска и наведения в системах управления

Издание трудов конференции

Конференция проводится на русском языке. Принимаются только полные доклады (тезисы не принимаются) общим объемом 5–12 страниц формата А 4.

К началу работы каждой конференции издается Сборник докладов конференции.

Сборники реферируются в Реферативных журналах, выпускаемых ВИНТИ России.

Контрольные сроки

До 25 марта 2006 г. необходимо представить доклады и сведения об авторах.

Дополнительная информация и справки

Россия, Воронеж, почтамт, а/я 360, Осипову Б. Я.
e-mail: cht@sakv.ru; rlnc@comch.ru;

osp@vnicom.comch.ru

сайт: www.cht.sakv.ru

Российская Академия наук
 (Отделение информационных технологий и вычислительных систем)
 Федеральное агентство по науке и инновациям
 Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
 Федеральный фонд развития электронной техники
 Российский фонд фундаментальных исследований
 Департамент науки и промышленной политики г. Москвы
 ОАО «Телеком»
 ОАО Московский комитет по науке и технологиям
 Ассоциация «Фонд “УНИЭТ”»

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
 «ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
 МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ – 2006»
 (МЭС–2006)
 9 – 12 октября 2006 г.**

Место проведения конференции – комфортабельный пансионат Подмоскovie

Организатор конференции

Институт проблем проектирования в микро-электронике РАН

Соорганизаторы конференции

Московский государственный институт электронной техники (Технический университет)

ФГУП «Научно-исследовательский институт микроэлектронной аппаратуры “Прогресс”»

Московское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова

Направления работы конференции

Методы и средства автоматизации проектирования МЭС (САПР)

Опыт разработки цифровых, цифроаналоговых и аналоговых МЭС

«Системы-на-Кристалле» и IP-блоки

Теоретические аспекты проектирования МЭС

Микроэлектромеханические системы

Фоточувствительные СБИС и МЭС

Проектирование МЭС с учетом спецтребований

Выставка коммерческих продуктов

Презентация коммерческих продуктов

Требования, предъявляемые к статьям

В статьях должны быть представлены аннотации, дающие краткий обзор статьи (не более 80-ти слов) с целью обеспечить быстрое ознакомление с представленными в статье научными результатами.

Правила оформления статей можно найти на сайте www.ippm.ru

Содержание статьи в явной форме должно отвечать на вопросы:

– какая проблема решается (с кратким анализом состояния исследуемой проблемы и ссылками на предшествующие работы);

– в чем заключается предложение или новый технический результат;

– что достигается применением полученного результата.

Контрольные сроки

Статьи принимаются до 15 апреля 2006 г. по электронной почте: boriskin@ippm.ru

По результатам рецензирования автору будет направлено извещение о включении доклада в программу конференции и предложено до 15 июня 2006 г. устранить замечания рецензентов (если таковые будут).

Дополнительная информация и справки

Россия, 124681, Москва–Зеленоград, ул. Советская, дом 3, Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН (ИППМ РАН)

Ученый секретарь Организационного комитета МЭС–2006 – Борискин Вячеслав Степанович.

Тел.: (495)532-5579,

тел./факс: (495)532-5708

e-mail: boriskin@ippm.ru

сайт: <http://www.ippm.ru>

Федеральное агентство по науке и инновациям
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
Федеральный фонд развития электронной техники
Российский фонд фундаментальных исследований
Департамент науки и промышленной политики г. Москвы
ОАО «Телеком»
ОАО Московский комитет по науке и технологиям
Ассоциация «Фонд «УНИЭТ»»
Комиссия РАН по работе с молодежью

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ И ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ
САПР-ИЗДЕЛИЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ШМУ–2006)
13 октября 2006 г.**

Место проведения конференции – комфортабельный пансионат Подмосковья

Организатор Школы

Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН

Соорганизаторы Школы

Московский государственный институт электронной техники

Московское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова

Фонд «ТОПЭК»

Основные направления работы Школы

Разработка математического и программного обеспечения САПР- изделий микроэлектроники и микроэлектронных систем

Методология практического применения САПР аналоговых, цифровых, фоточувствительных интегральных схем и микроэлектронных систем

Перспективы развития САПР- изделий микроэлектроники в России

Контрольные сроки

Участники Школы могут представить свои работы в виде статей и стендовых докладов.

Статьи и стендовые доклады принимаются до 15 апреля 2006 г. по электронной почте: pugachev@ippm.ru; serova@ippm.ru

Требования, предъявляемые к статьям

Правила оформления статей можно найти на сайте www.ippm.ru

Содержание статьи в явной форме должно отвечать на вопросы:

– какая проблема решается (с кратким анализом состояния исследуемой проблемы и ссылками на предшествующие работы);

– в чем заключается предложение или новый технический результат;

– что достигается применением полученного результата.

По результатам рецензирования, автору будет направлено извещение о включении доклада в программу конференции и предложено до 30 мая 2006 г. устранить замечания рецензентов (если таковые будут), а также оформить доклад в соответствии с требованиями типографии, которые будут высланы одновременно с уведомлением. По решению оргкомитета автору может быть предоставлена возможность выступить с устным докладом (кратким сообщением).

Стендовый доклад представляется на отдельных листах формата не более А3 (не более 6 листов формата А3) в форме, удобной для визуального восприятия с расстояния не менее м и по содержанию отвечающий общим требованиям, предъявляемым к статьям и стендовым докладам. Стендовые доклады не рецензируются.

По результатам работы Школы будет выпущен сборник статей участников.

Дополнительная информация и справки

Россия, 124681, Москва – Зеленоград, ул. Советская, дом 3, Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН

Председатель оргкомитета Школы – Пугачев Андрей Алексеевич

Секретари Школы – Смолева О. С., Серова Е. Н.
Тел.: (495) 589–39–40; 589-39-41

e-mail: pugachev@ippm.ru; serova@ippm.ru

сайт: <http://www.ippm.ru>

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Воронежская государственная технологическая академия
 Воронежский государственный технологический университет
 Донской государственный технический университет
 Российский химико-технологический университет
 Московский государственный университет инженерной экологии
 Московская государственная академия тонкой химической технологии
 Ангарская технологическая академия и другие ведущие вузы и НИИ РФ

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ
 «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МНОГОУРОВНЕВОГО ОБРАЗОВАНИЯ»**

(в рамках 19-й Международной научной конференции
 «Математические методы в технике и технологиях ММТТ-19»)
 27– 30 сентября 2006 года

**Место проведения конференции: Донской государственный технический университет.
 Адрес: 344010, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1**

Цели симпозиума

Научно-методический симпозиум проводится с целью анализа и обобщения накопленного опыта подготовки бакалавров и магистров и дальнейшего повышения эффективности многоуровневого обучения и образования.

Направления работы симпозиума

Организационное обеспечение многоуровневого образования (законодательная база, административное и финансовое обеспечение, структуры и форматы бакалавриата и магистратуры)

Научно-методическое обеспечение многоуровневого образования (многоуровневые образовательные профессиональные программы (МОПП); сопряжение МОПП с образовательными программами среднего и послевузовского обучения, государственные образовательные стандарты, учебные планы и графики учебного процесса)

Учебно-методическое обеспечение многоуровневого образования (программы учебных дисциплин, учебники, учебные пособия, электронные издания, методические разработки)

Управление качеством учебного процесса в условиях многоуровневого образования (конкурсные отборы, рейтинговые системы, индивидуализация и активизация учебного процесса, содержание итоговой государственной аттестации и др.)

Педагогика и психология многоуровневого образования

Многоуровневые образовательные профессиональные программы в условиях непрерывного образования

Опыт подготовки бакалавров, специалистов (инженеров) и магистров в условиях многоуровневого образования

Издание трудов симпозиума

Планируется издание трудов симпозиума в форме сборников научно-методических докладов по вышеуказанным темам; научных докладов магис-

трантов совместно с научными руководителями по тематике диссертационных работ; рефератов защищенных магистерских диссертаций. Рекомендуемый объем научно-методических докладов – 2–6 стр.; докладов магистрантов – 1–2 стр.; рефератов – не более 1 стр. Электронные версии докладов и рефератов в виде «Attach File» в формате RTF направляются по e-mail в два адреса: rneydorf@dstu.edu.ru и ruan@fromru.com.

Контрольные сроки

Прием материалов в электронном виде на симпозиум осуществляется с 1.12.05 до 15.04.06, результаты отбора докладов будут сообщены по e-mail авторам до 1 мая 2006 г., в мае 2006 г. программный комитет (председатель д.т.н. проф. Балакирев В.С.) будет принимать оргвзносы за публикацию научно-методических докладов (180 р., 250 р., 340 р., 450 р., 570 р. за 2, 3, 4, 5 и 6 стр. соответственно), научных докладов магистров (100 р., 150 р. за 1–2 стр.) и рефератов (70–100 р.). Оргвзносы за участие в симпозиуме будут приниматься в августе – сентябре 2006 г.

Труды симпозиума можно получить в сентябре в Ростове-на-Дону, Геленджике, в октябре – декабре – в Москве (МГУИЭ). По договоренности с авторами труды высылаются наложенным платежом до конца 2006 г.

Дополнительная информация и справки

Москва: (495) 267-12-67, Балакирев В. С.;
 (495) 434-71-11, Юловская В. Д.,
 e-mail: makot@mitht.rssi.ru
 Ростов-на-Дону: (863-2) 52-08-65,
 Нейдорф Рудольф Анатольевич,
 e-mail: rneydorf@dstu.edu.ru
 Воронеж: (0732) 55-46-12,
 Хаустов Игорь Анатольевич,
 e-mail: haustov@vgta.vrn.ru

Информацию о симпозиуме можно найти на сайтах: <http://www.vgta.vrn.ru> и <http://www.dstu.edu.ru>.

АФАНАСЬЕВА
Виктория
Владимировна



Заведующая отделением медицинской профилактики Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И. П. Павлова. В 1996 году окончила Санкт-Петербургскую государственную медицинскую академию им. акад. И. П. Павлова по специальности «Лечебное дело» (специализация – «терапевт»). Является автором пяти научных публикаций. Область научных интересов – методики формализации решающих правил в системах многопрофильного скрининга.

БЕГУН
Петр
Иосифович



Профессор, заместитель заведующего кафедрой прикладной механики и инженерной графики Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, академик Академии медико-технических наук России. В 1962 году окончил Ленинградский военно-механический институт. В 2003 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором 250 научных публикаций. Область научных интересов – биомеханика человека.

ВАСИЛЕВСКИЙ
Александр
Михайлович



Профессор кафедры квантовой электроники и оптико-электронных приборов Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. В 1962 году окончил факультет электронной техники Ленинградского электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина). В 2004 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 100 научных публикаций и авторских свидетельств. Область научных интересов – информационно-измерительные оптико-электронные приборы и системы.

ВОРОНКОВ
Кирилл
Львович



Ведущий инженер отдела специальных информационных систем Федерального государственного научного учреждения «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт биотехнических систем». В 1993 году окончил Российский государственный гидрометеорологический институт по специальности «Океанология». Является автором 26 научных публикаций. Область научных интересов – информационные технологии в управлении телекоммуникационными средствами и сетями, методы и средства оперативной аналитической обработки данных.

ЗОЗУЛЯ
Елена
Павловна



Магистрант кафедры биомедицинской электроники и охраны среды Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. Является автором одной научной публикации. Область научных интересов – автоматический анализ биосигналов, распознавание образов.

КОВАЛЕВ
Даниил
Викторович



Аспирант кафедры биомедицинской электроники и охраны среды Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В. И. Ульянова (Ленина). В 2005 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». Является автором восьми научных публикаций, в том числе соавтор одной монографии. Область научных интересов – методология объектно-ориентированного анализа и проектирования, ее развитие и применение в интересах создания программного обеспечения.

КОНОПЛЕВ
Георгий
Асадович



Ассистент кафедры квантовой электроники и оптико-электронных приборов Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. В 2002 году окончил факультет электроники Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. В 2005 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором десяти научных публикаций. Область научных интересов – оптико-электронные приборы и системы, абсорбционный спектральный анализ.

КРИВОХИЖИНА
Оксана
Владимировна



Аспирант Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. В 2004 году окончила Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. Является автором 20 научных публикаций. Область научных интересов – биология и механика.

КУБАЙЧУК
Александр
Борисович



Начальник отдела медицинских информационных систем Федерального государственного научного учреждения «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт биотехнических систем». В 1994 году окончил Санкт-Петербургское высшее военное инженерное училище связи по специальности «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем». Является автором пяти научных публикаций. Область научных интересов – метауправление в сфере информационных технологий.

МАНИЛО
Людмила
Алексеевна



Доцент кафедры биомедицинской электроники и охраны среды Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. В 1970 году окончила Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина). В 1979 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 85 научных публикаций. Область научных интересов – автоматическая анализ биосигналов, распознавание образов.

МУХАМЕТШИНА
Виктория
Альфатовна



Аспирант кафедры биомедицинской электроники и охраны среды Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. В 2005 году окончила Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет. Является автором 15 научных публикаций. Область научных интересов – исследования характеристик биосубстратов.

ПАХАРЬКОВ
Геннадий
Николаевич



Доцент кафедры биомедицинской электроники и охраны среды, директор регионального Центра интегрированного медико-технического образования Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. В 1966 году окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина). В 1972 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 300 научных публикаций, в том числе четырех книг и учебных пособий. Область научных интересов – теория и практика медико-технического менеджмента.

РОМАНЕНКО
Александр
Иванович



Программист Санкт-Петербургского медико-генетического центра. В 1999 году окончил Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, в 2000 году – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. Является автором пяти научных публикаций. Область научных интересов – технологии обработки и хранения данных.

СУХОВ
Валентин
Константинович



Заведующий отделением эндоваскулярной хирургии городской многопрофильной больницы № 2 г. Санкт-Петербурга. В 1965 году окончил Первый Ленинградский медицинский институт им. акад. И. П. Павлова. В 1991 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Является автором более 200 научных публикаций. Область научных интересов – кардиология, рентгенохирургия, кардиохирургия.

ШАПОВАЛОВ
Валентин
Викторович



Директор Федерального государственного научного учреждения «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт биотехнических систем». В 1969 году окончил Ленинградский государственный университет по специальности «Физик». В 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором 94 научных публикаций. Область научных интересов – биотехнические системы.

ШЕРСТЮК
Юрий
Михайлович



Заместитель директора по научной работе Федерального государственного научного учреждения «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт биотехнических систем». В 1985 году окончил Ленинградское высшее военное инженерное училище связи им. Ленсовета. В 2001 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 140 научных публикаций. Область научных интересов – метауправление функциональностью информационных систем и его применение в интересах создания специального программного обеспечения.

ЮЛДАШЕВ
Зафар
Мухамедович



Профессор кафедры биомедицинской электроники и охраны среды Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета. В 1978 году окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина). В 1999 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 100 научных публикаций и 15 изобретений. Область научных интересов – исследование характеристик биосубстратов, обработки медицинских изображений, медицинская метрология.

УДК 004.435 + 004.4'423

Построение решающих правил для систем автоматизированного скрининга

Афанасьева В. В., Кубайчук А. Б., Шаповалов В. В. Информационно-управляющие системы, 2006. № 1. С. 2–6.

В статье рассматриваются подходы к построению врачебных решающих правил для автоматизированных систем скринирующей диагностики. Основное внимание уделено применению метода дискриминантных функций и методов нечеткой логики в алгоритмах анализа информации.

Список лит.: 7 назв.

УДК 331.007.61

Модель медико-социальной экспертизы ребенка-инвалида

Ковалев Д. В. Информационно-управляющие системы, 2006. № 1. С. 7–13.

В статье приведено описание модели процесса проведения медико-социальной экспертизы детей-инвалидов, изложена краткая характеристика содержания медико-социальной экспертизы. Описан предложенный и апробированный подход к формализации экспертных сведений и построению адаптивной автоматизированной информационной системы поддержки медико-социальной экспертизы детей-инвалидов, базирующийся на применении метауправления функциональностью.

Список лит.: 3 назв.

УДК 504.75

Методика синтеза структуры витрины данных медико-генетического мониторинга

Воронков К. Л., Шерстюк Ю. М., Романенко А. И. Информационно-управляющие системы, 2006. № 1. С. 14–20.

В статье описаны основные положения методики проектирования структуры единой витрины данных медико-генетического мониторинга, осуществляемого в медико-генетическом центре на основе сведений, аккумулируемых в эксплуатируемых информационных системах учетного типа.

Список лит.: 7 назв.

УДК 004.435 + 004.4'423

Decision Rules Building for Automated Screening Systems

Afanasieva V. V., Kubaichuk A. B., Shapovalov V. V. IUS, 2006. N 1. P. 2–6.

Methods of medical decision rules building for automated screening systems are considered in this article. The main consideration has been given to using the discriminant functions method and fuzzy logic methods in information analysis algorithms.

Refs: 7 titles.

УДК 331.007.61

Medical Social Examination Model of Disabled Children

Kovalyov D. V. IUS, 2006. N 1. P. 7–13.

The paper discusses a model of the medical social examination of disabled children. A method of the expert knowledge formalization is proposed. An approach to the development of an adaptive automated informational system for medical social examination of disabled children is discussed. The study is based on metamanagement of functionality.

Refs: 3 titles.

УДК 504.75

Technique of Data Mart Structure Synthesis for Medical Genetic Monitoring

Voronkov K. L., Sherstuk Y. M., Romanenko A. I. IUS, 2006. N 1. P. 14–20.

The article treats the principles of design of a common data mart for medical genetic monitoring. The medical genetic monitoring is carried out at a medical genetic centre which uses data accumulated in informational systems of registration type.

Refs: 7 titles.

УДК 612.17:616-073.584

Автоматическое распознавание мерцательной аритмии с использованием оценок аппроксимированной энтропии

Манило Л. А., Зозуля Е. П. Информационно-управляющие системы, 2006. № 1. С. 21–27.

Рассматриваются теоретические подходы к распознаванию нерегулярных процессов, основанные на анализе параметров аппроксимированной энтропии. Обсуждаются результаты модельных и реальных экспериментов, а также методы построения и критерии эффективности дискриминантных функций, используемых для обнаружения мерцательной аритмии на фоне других нарушений ритма.

Список лит.: 8 назв.

УДК 007: 57+007:573

Компьютерное моделирование и биомеханический анализ критического состояния и коррекции структур сосудистой системы (Часть 2)

Бегун П. И., Кривохижина О. В., Сухов В. К. Информационно-управляющие системы, 2006. № 1. С. 28–32.

Разработаны компьютерные модели для исследования перемещений и напряжений при дилатации кровеносных сосудов с бляшками разной степени развития и определения критического состояния истинных мешотчатых аневризм. Проведенные исследования влияния геометрических параметров и механических свойств бляшки и сосуда на величину дилатируемого отверстия и выявление критического состояния аневризм определяют необходимость предоперационного анализа с использованием этих моделей.

Список лит.: 15 назв.

УДК 76.13.23

Автоматизированная система для анализа ионного состава биосубстратов

Юлдашев З. М., Мухаметшина В. А. Информационно-управляющие системы, 2006. № 1. С. 33–38.

Разработан метод и автоматизированная система, позволяющие определять ионный состав биожидкостей организма. Метод основан на анализе амплитудно-частотной характеристики электропроводности исследуемой жидкости в поле тока высокой частоты. Система может найти применение в области ранней диагностики патологий.

Список лит.: 4 назв.

УДК 612.17:616-073.584

Automatic recognition of atrial fibrillation via estimation of approximated entropy

Manilo L. A., Zozulya E. P. IUS, 2006. N 1. P. 21–27.

Theoretical approaches to recognition of the irregular processes, based on the analysis of approximated entropy parameters are considered. The results of model and real-life experiments are discussed. The research provides the construction and criteria of efficiency of the discriminant functions used or detecting the atrial fibrillation against a background of other rhythm disturbances.

Refs: 8 titles.

УДК 007: 57+007:573

Computer modelling of research and corrections in herniology

Begun P. I., Krivohizhina O. V., Suhov V. K. IUS, 2006. N 1. P. 28–32.

Calculation schemes and computer models for the calculation of stresses and displacements in hernia-systems are constructed. The correlation between stress and displacement is investigated in the following cases: during the development of a pathological formation in the white line of the abdomen, during an infringement of the hernial gate and after an operation.

Refs: 15 titles.

УДК 76.13.23

Automated system for the analysis of the ion composition of biosubstrates.

Yuldashev Z. M., Muhametshina V. A. IUS, 2006. N 1. P. 33–38.

A method and an automated system for ion composition analysis of human biofluids are developed. The method is based on the analysis of gain-frequency characteristics of the liquid under high frequency current field. The developed system can find applications in the field of early pathology diagnostics.

Refs: 4 titles.

УДК 65.018+615.478

Проблемы оптимизации медико-технического оснащения отечественного здравоохранения

Пахарьков Г. Н. Информационно-управляющие системы, 2006. № 1. С. 39–47.

Рассмотрены вопросы методологии оптимизации и оценки качества медико-технического оснащения учреждений здравоохранения, в основу которой положены системные принципы менеджмента качества, с одной стороны, и операционно-квалиметрический метод оценки научно-технического уровня медицинских изделий, с другой.

Список лит.: 19 назв.

УДК 543.422

Опτικο-электронная информационно-измерительная система спектрального анализа состава поликомпонентных сред по доминирующей компоненте

Василевский А. М., Коноплев Г. А. Информационно-управляющие системы, 2006. № 1. С. 48–54.

Описана информационно-измерительная система анализа поликомпонентных сред по ультрафиолетовым спектрам экстинкции (200–400 нм). Рассмотрена математическая модель поглощения таких сред, методика проведения градуировки и расчета концентрации доминирующего компонента. Приводятся характеристики автоматизированного многоканального спектроанализатора. Показана возможность применения разработанной системы для анализа поликомпонентных жидких биологических сред.

Список лит.: 7 назв.

УДК 65.018+615.478

Problems of optimization of medical-technical equipment in the domestic publichealth

Paharkov G. N. IUS, 2006. N 1. P. 39–47.

We consider the questions of quality control and optimization of the medical-technical equipment of the institutions of public health. The discussion is based on system principles of quality management and on qualimetric method of estimation of the technical level of medical equipment.

Refs: 19 titles.

УДК 543.422

Optical electronic system for spectral analysis of multicomponent media by dominant component

Vassilevskii A. M., Konoplev G. A. IUS, 2006. N 1. P. 48–54.

Informational and measuring system for the analysis of multicomponent media by ultraviolet spectrophotometry (200–400 nm) is described. The mathematical model of media absorption, the methods of calibration and determination of the principal component concentration are considered. Technical characteristics of the automatic spectroanalyzer are presented. The possibility of analysis of multicomponent biological fluids by the method presented is proved.

Refs: 7 titles.

Редакция приносит извинения за опечатку. В статье Давидчук А. Г., Шепета Д. А. «Математические модели эхо-сигналов кораблей, наблюдаемых локаторами бортовых систем обработки информации», № 6, 2005 г., на с. 5 следует читать:

$$\bar{\tau}_i = \frac{\tilde{\tau}_i}{\sqrt{1 + K_{\tau_i}^2}}, \quad \sigma_{\tau_i} = \sqrt{\ln(1 + K_{\tau_i}^2)}, \quad (13)$$

($\tilde{\tau}_i$ и K_{τ_i} – средняя длительность и коэффициент вариации длительности i -го импульса соответственно).

где $r_{A_{ij}}$ – параметр распределения.

Коэффициент корреляции амплитуд $R_{A_{ij}}$ определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} R_{A_{ij}} &= \frac{1}{\sqrt{\tilde{D}_{A_i} \tilde{D}_{A_j}}} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} (A_i - \tilde{A}_i)(A_j - \tilde{A}_j) f(A_i, A_j) dA_i dA_j = \\ &= \frac{1}{\sqrt{\tilde{D}_{A_i} \tilde{D}_{A_j}}} \left[\int_0^{\infty} \int_0^{\infty} A_i A_j f(A_i, A_j) dA_i dA_j - \tilde{A}_i \tilde{A}_j \right] = \end{aligned}$$

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО,
ЛАБОРАТОРНОГО И ОПТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «КИЕВ. ОПТИКАТЕХ-2006»**

**11–14 апреля 2006 г.
Украина, г. Киев, Дворец спорта**

Уважаемые господа!

Выставочная компания «ВнешЭкспоБизнес» – лидер выставочного бизнеса в Украине, организатор ведущих международных и национальных выставок – приглашает вас принять участие в специализированной выставке «Киев. ОптикаТех-2006», которая будет проходить в рамках Международного форума контрольно-измерительного, лабораторного и оптического оборудования.

Программа форума

- VI Международная специализированная выставка «ЛабораТех-2006»
- Специализированная выставка «Контрольно-измерительное оборудование и автоматика»
- Специализированная выставка «Киев. ОптикаТех-2006»
- Конференции, семинары, презентации фирм-изготовителей.

Выставка «Киев. ОптикаТех-2006» – единственная в данной тематике, которая представляет отечественные и иностранные новейшие технологии производства оптического оборудования.

Основным заданием выставки является предоставление помощи предприятиям и организациям в реализации продукции широкого спектра назначений, в продвижении их на внешний и внутренний рынки, в осуществлении научных и коммерческих проектов.

Тематические направления выставки

- Производство на базе оптических и лазерных технологий
- Оптические материалы, оптическое оборудование, сырье и отраслевое оборудование
- Оптические и оптико-электронные приборы научного, военного, медицинского, промышленного и бытового назначения;
- Контрольно-измерительная оптическая аппаратура
- Научные исследования в отрасли оптики и инновационные проекты
- Специализированная литература, отраслевая информация
- Кинофотографическое и проекционное оборудование
- Услуги по изготовлению оптического оборудования на заказ и его обслуживание.

К участию в выставке приглашаются:

- Отечественные и зарубежные предприятия
- Научные и проектные организации
- Дилеры и дистрибьюторы
- Финансовые и инвестиционные институты.

Участие в выставке «Киев. ОптикаТех-2006» дает возможность наладить полезные деловые контакты, заключить выгодные коммерческие договоры, изучить рынок сбыта продукции и тенденции развития отрасли в целом.

Выставка пройдет во Дворце спорта – одном из лучших комплексов для проведения выставочных и презентационных мероприятий. Дворец спорта расположен в центре города (возле ст. метро) и имеет в своем распоряжении полный комплекс выставочных услуг.

Ждем вас на выставке и надеемся на плодотворное сотрудничество!

Выставочная компания «ВнешЭкспоБизнес»
Офис: г. Киев, ул. Воровского, 37/14
Тел./факс: +38 (044) 238-62-61, 238-61-00
Руководитель проекта – Натали Рой