

На правах рукописи

Машевский Глеб Алексеевич

**МЕТОД И СИСТЕМА МОНИТОРИНГА
СОСТОЯНИЯ ВОДНО-СОЛЕВОГО ОБМЕНА ПАЦИЕНТА
В ПОСТОПЕРАЦИОННЫЙ ПЕРИОД**

Специальность:

05.11.17 – Приборы, системы и изделия медицинского назначения

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2012

Работа выполнена на кафедре биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор Юлдашев З. М.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор Гельман Виктор Яковлевич, профессор кафедры «Информатики и управления в медицинских системах» Санкт-Петербургской медицинской академии последипломного образования федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию.

кандидат технических наук, доцент Краснова Анастасия Ивановна, доцент кафедры медицинской радиоэлектроники Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Ведущая организация – Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, факультет медицинской физики и биоинженерии (СПбГПУ);

Защита диссертации состоится «20» июня 2012 г. в 15 часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.09 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» имени В. И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина).

Автореферат разослан «18» мая 2012 г.

Ученый секретарь
совета по защите докторских
и кандидатских диссертаций



Садыкова Е.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В практической медицине прилагаются значительные усилия для решения проблемы опережающего распознавания различных патологий, а также осуществления контроля лечения пациентов. Особую важность данный контроль имеет в те периоды течения болезни, когда врачебная ошибка может привести к развитию тяжёлых осложнений или смерти пациента. Наиболее острой данная проблема является при лечении онкологических больных, состояние которых характеризуется наличием нарушений сразу в большом числе систем организма, что затрудняет использование большинства известных методик для получения оперативной и комплексной оценки состояния пациента, и сопровождении больного после операции. Таким образом, существует необходимость в совершенствовании методик контроля и мониторинга состояния онкобольного и технических средств и комплексов, которые реализуют эти методики мониторинга и обеспечивают информационную поддержку врачам на протяжении всего периода постоперационного лечения больного.

Одним из перспективных направлений решения данной задачи необходимо признать контроль состояния функционирования водно-солевого обмена организма, а также оценку в биосубстратах динамики содержания продуктов обмена веществ, либо участвующих в важнейших физиологических процессах, либо косвенно отражающих их протекание. В свою очередь выбор данной методики анализа порождает необходимость создания соответствующего технического инструментария для её реализации.

Сам принцип мониторинга порождает многочисленные требования различного характера к разрабатываемым методикам. К ним можно отнести – простоту методики контроля, возможность осуществления его в реальном времени, безопасность, невмешательство в организм пациента и т.п. Одним из перспективных решений для развития системы мониторинга является использование ионоселективных электродов. Тем не менее, до настоящего времени метод прямой потенциометрии не получил широкого распространения в практической медицине из-за сложности интерпретации результатов измерений. Другим недостатком использования ионометрии в современной медицинской практике является ограниченность информационной базы, используемой в настоящий момент, и включающей в себя только такие параметры как pH, Na⁺, K⁺, Ca²⁺.

Для преодоления указанных недостатков необходимо не только существенно расширить инструментальную базу при анализе биосред организма человека, но и выполнить глубокий анализ по интерпретации измеряемых показателей с позиций биохимии и физиологии. Создание алгоритмов диагностики при моделировании изучаемых биосистем служит основой для дальнейшей разработки мультисенсорной системы потенцио-

метрического контроля мочи, используемой для мониторинга при лечении больных.

Наконец, необходимой является разработка самой технологии и системы мониторинга состояния онкобольного. Она предполагает непосредственный выбор измерительных преобразователей, создание алгоритмического, технического и программного обеспечения системы.

Цель диссертационной работы состоит в разработке инструментального метода и системы диагностики и мониторинга состояния водно-солевого обмена пациентов с распространёнными формами онкологического заболевания в послеоперационный период.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи**:

- Выбор и обоснование пространства контролируемых признаков, на основе которых обеспечивается мониторинг состояния больного;
- Обоснование структуры и элементов инструментальных средств системы мониторинга;
- Разработка методик анализа, обработки и интерпретации экспериментальной информации, алгоритмов распознавания послеоперационных патологий;
- Разработка компонентов инструментального, алгоритмического и программного обеспечения системы мониторинга;
- Экспериментальная апробация системы в клинических условиях.

Объектом исследования является система мониторинга состояния водно-солевого обмена онкобольного в после операционный период.

Предметом исследования является информационное, методическое, инструментальное и алгоритмическое обеспечение системы.

Методы исследования. Исследование базируется на методологии электрохимического контроля биосред, методах математического моделирования электрохимических процессов, методах обработки экспериментальных данных с помощью углубленной математической статистики, факторного анализа, разложения случайных функций в ряды Фурье, разработке математических моделей на основе теории нейронных сетей, методах экспертных оценок, анализе устойчивости колебательных процессов в здоровом организме и при патологии с помощью фазовой плоскости.

Новые научные результаты.

В процессе проведения исследований получены новые научные результаты:

1. Новое пространство информационных признаков, обеспечивающих возможность мониторинга состояния пациента на основе изучения характера изменения в биосубстрате потенциалов девяти ионоселективных электродов с перекрестной чувствительностью, отражающих особенности функционирования различных подсистем организма человека.

2. Методика оценки состояния системы выработки и аккумуляции энергии человеческого организма, основанная на изучении динамики потенциала Na–селективного электрода в биосубстрате, позволившая выде-

лить области значений потенциалов, соответствующих различным степеням тяжести состояния больного. Исследования биосубстрата с использованием предложенной методики выявили стационарность процессов, связанных с колебаниями $[Na^+]$ в моче здорового организма.

3. Методика диагностики интоксикаций организма ионами HS^- и Fe^{2+} в послеоперационный период, основанная на совместном измерении потенциалов Pt- и Ag_2S - электродов.

4. Методика обработки комплекса из 9 показателей ионометрии биосубстрата, отражающих изменение состояния пациента, включающая построение топологической карты Кохонена и ее интерпретацию с помощью факторного анализа, проектирования выделенных нейронов на плоскости $F_i - F_j$ с нанесением на них векторов измеряемых параметров и изолиний выходной функции.

5. Обобщенный вероятностный критерий оценки тяжести состояния пациента, вычисляемый с помощью разработанной нейросетевой модели состояния пациента с распространенными формами онкологического заболевания.

6. Референтные границы измеряемых показателей в биосубстрате для здорового организма, при патологии и при состояниях близких к терминальному.

Практическую ценность работы составляют:

1. Информационное пространство, основанное на результатах потенциометрических измерений ионных параметров мочи, обеспечивающее возможность мониторинга состояния водно-солевого обмена онкобольного при его послеоперационном сопровождении.

2. Совокупность предложенных элементов инструментального, алгоритмического и программного обеспечения системы мониторинга, позволяющая контролировать динамику изменения ионных параметров мочи на протяжении послеоперационного сопровождения пациента и обеспечивающая анализ результатов обследования.

3. Метод мониторинга состояния водно-солевого обмена пациента с распространенными формами онкологического заболевания, на основе потенциометрического контроля мочи.

4. Система диагностики и мониторинга состояния пациента в послеоперационный период.

5. Результаты экспериментальной апробации разработанных методов и системы мониторинга состояния водно-солевого обмена пациентов.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. При разработке системы мониторинга состояния водно-солевого обмена у пациента с распространенными формами ракового заболевания в послеоперационный период необходимо использовать информационное пространство диагностических признаков, учитывающее активности ионов Na^+ , K^+ , NH_4^+ , величину рН, а также потенциалы LaF_3 , Pt, Ag_2S , Cd и EM – электродов, позволяющее контролировать состояние водно-солевого

обмена в организме пациента, использовать предложенные алгоритмы оценки состояния, методики обработки и модели, учитывающие динамику протекающих процессов в различных подсистемах организма.

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы нашли применение при выполнении НИР в СПбГЭТУ “Теоретические основы построения биотехнических систем обработки и анализа биомедицинской информации и сигналов и поддержки принятия решений врача” (БЭС-122, 2010-2012 гг., госрег. №01201154859); “Теоретические основы и методы обработки и анализа биомедицинской информации, сигналов и медицинских изображений для задач ранней диагностики заболеваний” (ФИЕТ/БЭС123, 2011 г., госрег. № 01201151506); “Разработка теоретических основ построения биотехнических систем управления состоянием человека” (БЭС-100, 2009-2010 гг., госрег. №01200906240); “Разработка теоретических основ, информационных и математических моделей взаимодействия человека и биотехнического комплекса” (БЭС-82, 2006-2007, госрег. № 01200905132); “Метод и автоматизированная система для ранней диагностики рака” (БЭС-76, 2005-2006,), а также учебном процессе в образовательной программе подготовки магистров по направлению 20100 - Биотехнические системы и технологии, были использованы при отработке новых методов лечения больных с распространенными формами онкологического заболевания на кафедре торакальной хирургии МАПО (2002-2012 гг.) и внедрены в практику работы отделения торакальной хирургии Городской больницы № 26 Санкт-Петербурга.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (2007-2012 гг.), научно-технических конференциях НТО РЭС им. А.С. Попова (2007-2012 гг.), Международном симпозиуме «Электроника в медицине» (Санкт-Петербург, 2006-2012 гг.), Всероссийской научной школе по биомедицинской инженерии (БМИ – 2009, Санкт-Петербург, 2009 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 26 научных работ, из них 8 статей в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определённых ВАК, 18 – в трудах международных и российских научно-технических конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 103 наименований, и одного приложения. Основная часть работы изложена на 160 страницах машинописного текста. Работа содержит 50 рисунков и 27 таблиц и 35 формул.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, изложены основные научные и практические результаты, выносимые на защиту, приведено краткое содержание глав диссертации.

В первой главе анализируется состояние проблемы мониторинга в области диагностики послеоперационной патологии при лечении больных с распространенными формами рака. Подчеркивается, что создание мониторинговой системы является сложным и комплексным процессом, требующим проработки вопросов методического, информационного и технического обеспечения системы.

Анализ выполненных и опубликованных работ показал, что в настоящий момент мониторинг водно-солевого обмена с включением мочи, в качестве биосубстрата слабо развит в медицинской практике. Причиной этого является большая сложность контролируемого биообъекта и трудность интерпретации результатов измерений. К недостаткам применяемых методик в медицинской практике следует отнести ограниченность используемых средств потенциометрического контроля мочи и математических методов обработки экспериментальных данных, что снижает эффективность лечения больных с распространенными формами ракового заболевания, особенно в послеоперационном периоде. На основании проведенного анализа определяются цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена разработке и обоснованию нового информационного пространства признаков для системы мониторинга больных в постоперационный период.

Путём выполненного сопоставительного анализа, показана большая информативность мочи в сравнении с кровью в качестве биосубстрата для мониторинга состояния водно-солевого обмена в организме пациента.

В результате исследований было сформировано новое информационное пространство признаков для мониторинга, включающее активности ионов Na^+ , K^+ , NH_4^+ (выраженные через потенциалы соответствующих электронных систем), величину рН, а также потенциалы LaF_3 , Pt, Ag_2S , Cd и EM – электродов, позволяющие контролировать состояние водно-солевого обмена пациента.

В работе выдвинуто предположение о соответствии динамики изменения потенциала Na – электрода в моче динамике изменения состояния системы выработки и аккумуляции энергии организма. Обоснованность этой взаимосвязи обусловлена работой энергозависимой K^+/Na^+ -АТФазы, потребляющей энергию, аккумулированную в молекулах АТФ. Теоретические и экспериментальные исследования позволили подтвердить выдвинутое предположение.

Выполненные исследования динамики изменения потенциалов пленочного мембранного электрода на основе четвертичных аммониевых оснований (EM), и сопоставление измеренных потенциалов с результатами

коагулограмм показывают возможность контроля в моче простейших метаболитов, которые отражают работу подсистемы гемостаза в организме человека.

В отличие от выполненных ранее работ по применению LaF_3 – электрода с целью контроля концентрации фторидных ионов в моче, показано, что электрод имеет смешанную функцию и обладает перекрестной чувствительностью по отношению, как к фторидным, так и фосфатным ионам. Выявлено, что повышение абсолютных значений потенциалов электрода является плохим прогностическим фактором.

Выполненные исследования подтвердили высокую информативную значимость применения в системе мониторинга Ag_2S – и Pt – электродов, диагностирующих возникновение HS^- и Fe^{2+} интоксикаций, сопровождающихся развитием воспалительных процессов.

Исследование динамики изменения потенциалов Cd – электрода позволило выдвинуть предположение, о связи значений потенциалов электрода с величиной осмоляльности мочи.

Статистические исследования результатов более 7000 измерений подтвердили значимость контроля рН мочи, значение которого лежит в основе динамических равновесий между ионными параметрами мочи и определяет достоверность диагностики по степени отклонения от выявленных закономерностей в здоровом организме, а не просто по абсолютным значениям измеренных потенциалов.

Проектируемая система мониторинга, по решаемым задачам сходна с экспертными системами и представлена на рисунке 1. На рисунке даны условные обозначения: МВ – машина вывода; БЗ – база знаний; СЛВ – средства лечебного воздействия. При проведении диссертационного исследования основное внимание было сосредоточено на разработке компонентов, входящих в состав базы знаний системы и базирующихся на предложенных алгоритмах и методиках.

Третья глава посвящена разработке моделей состояния водно-солевого обмена, а также отражающих характер патологических отклонений обнаруживаемых с помощью разрабатываемого метода мониторинга.

Методами статистического анализа изучены непараметрические характеристики потенциала натрийселективного электрода и построены кривые распределения данного параметра для здорового организма и при патологии (рисунок 2). Показано наличие трёх характерных областей значений потенциалов электрода:

Первая область (75-100 мВ) отражает нормальное функционирование организма. Вторая область (50-75 мВ), свидетельствует о развитии патологии. Третья область (0-50 мВ) соответствует пациентам в тяжёлом состоянии.

Показано, что удержание в организме Na^+ является плохим прогностическим фактором и присутствует при наличии большинства видов изученных нами патологических отклонений.

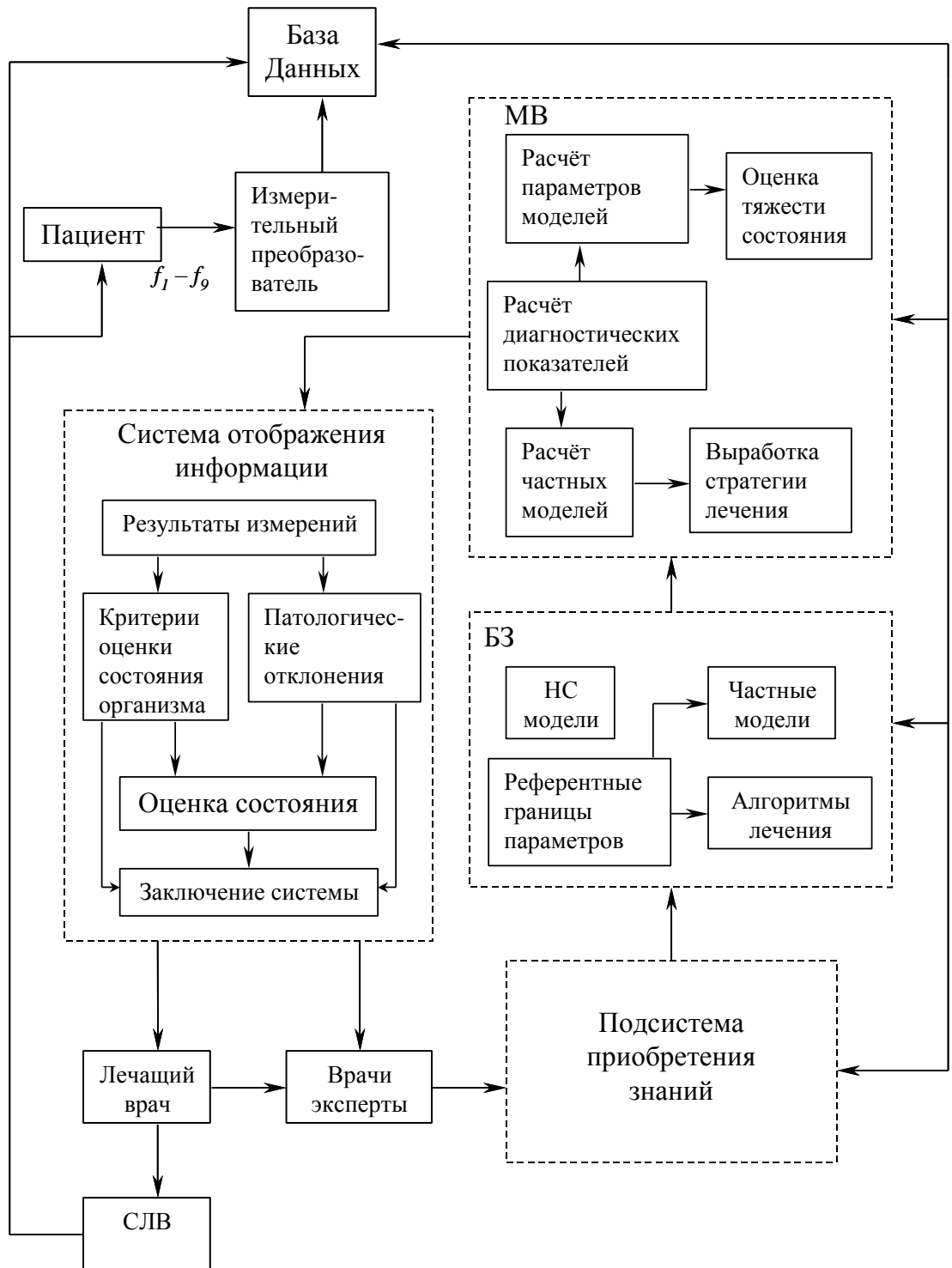


Рисунок 1 - Структура системы мониторинга

Выявленное нами влияние алкалоза и ацидоза на натриевый потенциал организма позволило сформулировать взаимосвязь между этими параметрами

$$\frac{\Delta E_{Na}}{\Delta pH} = k E_{Na}$$



Рисунок 2 - Кривые распределения потенциала Na-электрода по группам

В соответствии с разработанной моделью, определены границы области существования здорового организма: для алкалоза

$$E_{Na} = 55e^{0,084(pH-6)} \quad \text{и для ацидоза } E_{Na} = 55e^{-0,86(pH-6)}.$$

Выполнено исследование по анализу стационарности и устойчивости биологических ритмов в здоровом организме и при патологии. Исследование стационарности натриевого потенциала выполнено путем сравнения фазовых плоскостей, отражающих устойчивые и неустойчивые предельные циклы. Рассчитаны параметрические уравнения для здорового организма:

$$Na = 90 + 4\cos(1,5t - 4) \quad \text{и } pH = 6 + 0,5\sin(0,7t - 1,5),$$

и при патологии:

$$Na = 50 + 50\cos(50t) \quad \text{и } pH = 6 + 0,7\sin(0,2t).$$

Подтверждено существенное различие предельных циклов на фазовой плоскости.

В основе предложенной методики распознавания интоксикаций организма ионами HS^- и Fe^{2+} лежит электрохимическая модель, описывающая работу Ag_2S – и Pt – электродов в присутствии сульфгидрильных компонентов, а также влияния на результат pH исследуемой среды. Из соответствующих электродных функций для Ag_2S – и Pt – электродов:

$$\varphi_1 = -0,688 - 0,0291g[S^{2-}], \text{ В}$$

$$\varphi_2 = -0,480 - 0,0291g[S^{2-}], \text{ В}$$

вытекает теоретическое соотношение

$$E_{Ag_2S} = -0,208 + E_{Pt}, \text{ В}$$

и значение рабочего параметра, определяющего вид интоксикации

$$\Delta pS = E_{Ag_2S_{\text{факт}}} - (-208 + E_{Pt_{\text{факт}}}), \text{ мВ}$$

$$\Delta pS = E_{Ag_2S, \text{ измеренное}} - (-208 + E_{Pt, \text{ измеренное}}) > 0 \rightarrow \text{Fe}^{2+}\text{-интоксикация,}$$

$$\Delta pS = E_{Ag_2S, \text{ измеренное}} - (-208 + E_{Pt, \text{ измеренное}}) \leq 0 \rightarrow \text{HS}^- \text{ интоксикация.}$$

Выполнена разработка нейросетевых моделей диагностики патологических отклонений в организме человека. В основу разработки положено использование нейросетевых карт Кохонена. Для достижения более высокой достоверности при идентификации топологических карт Кохонена в целях диагностики предложена методология, включающая интерпретацию вычисленных средних значений исследуемых параметров по всем нейронам, с помощью метода факторного анализа, проектирование выделенных нейронов на плоскости главных компонент $F_i - F_j$ и нанесение на них значений физических векторов измеряемых параметров и изолиний выходной функции.

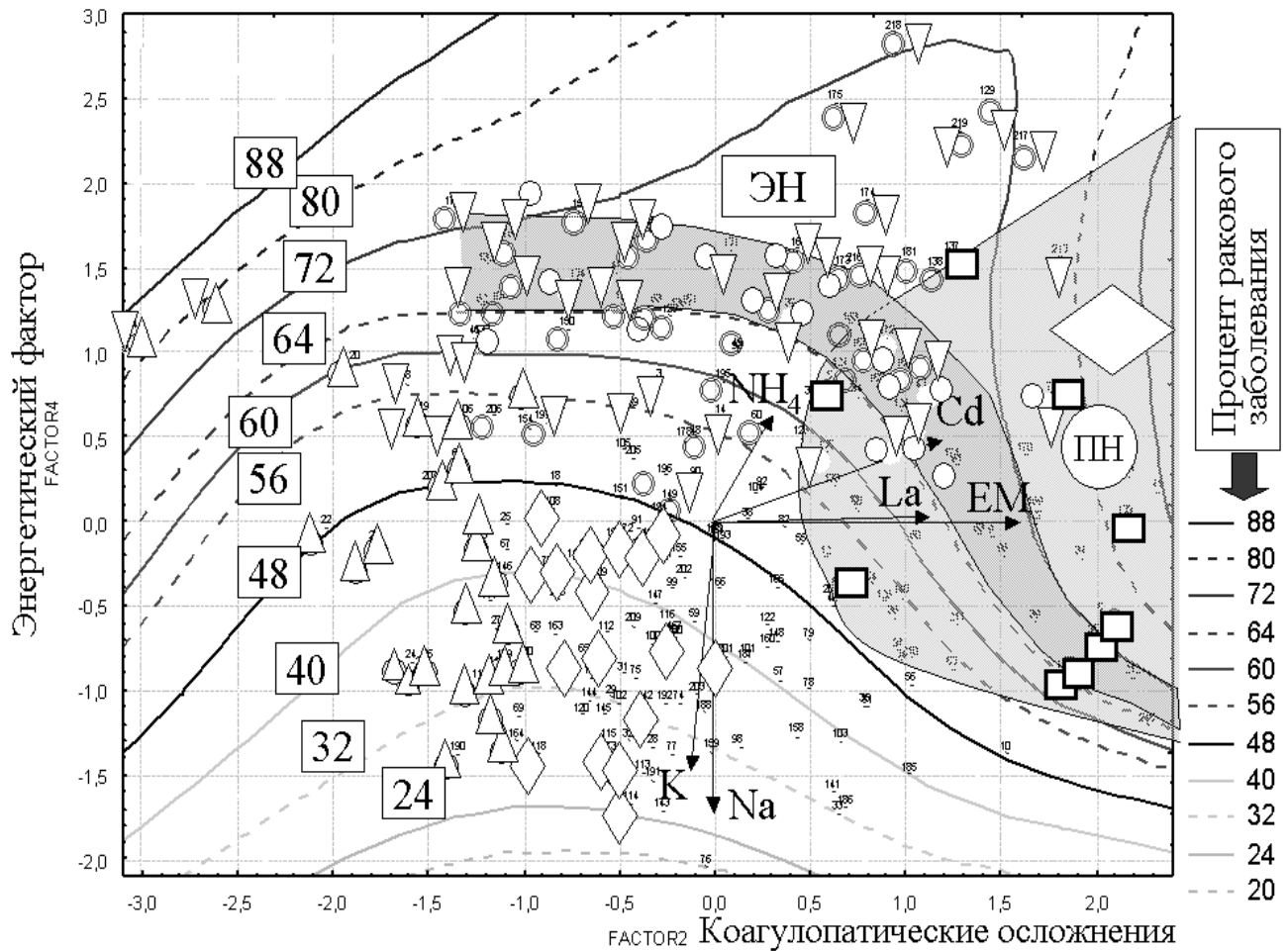
Одна из проекций многофакторного пространства на плоскость F2-F4 представлена на рисунке 3. В обратном направлении вектора Na наблюдается развитие различных патологий, сопровождающихся возникновением энергетической недостаточности. В этом направлении концентрируются изолинии, отражающие повышенный процент ракового заболевания. В направлении вектора Na формируется кластер нейронов, соответствующий компенсированному состоянию системы ионного гомеостаза.

Сформулирован обобщенный вероятностный критерий оценки степени тяжести состояния организма, вычисляемый по разработанной нейронной модели ОРНС 9:9-1316-2-1:1 при патологии организма. Учитывая контингент пациентов, в основном с различными формами ракового заболевания, утверждается, что степень нарушения электролитного баланса, связана с наличием (01) или отсутствием (10) ракового заболевания. Эта категориальная переменная выбрана в качестве выходной функции нейросетевой модели ОРНС.

Четвертая глава посвящена экспериментальной апробации разработанного метода в клинических условиях. В главе рассмотрен экспериментальный макет предложенной системы, его технические характеристики, а также программное обеспечение.

Предложены алгоритмы для диагностики и лечения нарушений работы системы выработки и аккумуляции энергии организма, нарушений в антиоксидантной и антикоагулянтной системах организма, наличия сероводородной или Fe^{2+} интоксикаций. Рассматриваются примеры, обеспечивающие решение одной из важнейших задач практической медицины по выбору оптимальной дозы вводимых лекарственных средств на основе определенных в работе референтных границ измеряемых электродных по-

тенциалов. На рисунке 4 приведен алгоритм принятия решения по виду интоксикации.



□ -почечная недостаточность (ПН); ▽-Энергетическая недостаточность (ЭН);
 △-гипокоагуляция; ◇ -нарушение метаболизма F^- и $H_2PO_4^-$; ●-гипокалиурия;
 ○-нарушение функций печени; ◆-компенсация ионных параметров;

Рисунок 3 - Проекция многофакторного пространства на плоскость F2-F4

В алгоритме учтена возможность протекания у пациента воспалительного процесса в форме HS – интоксикации, либо интоксикации катионами Fe^{2+} . Соответственно, проводится дифференциация этих двух состояний на основе значений параметра ΔpS с последующим уточнением окончательного диагноза. Если $\Delta pS < 0$ и $E_{Ag2S} > -300$ делается вывод об отсутствии у пациента патологии. Дополнительно учитывается присутствие факторов, способных оказать влияние на показания электродов – приёма пациентом железосодержащих препаратов (в случае если $\Delta pS > 0$), либо наличие у пациента цистита или цистэктомии (в случае, если $\Delta pS < 0$ и $E_{Ag2S} < -300$).

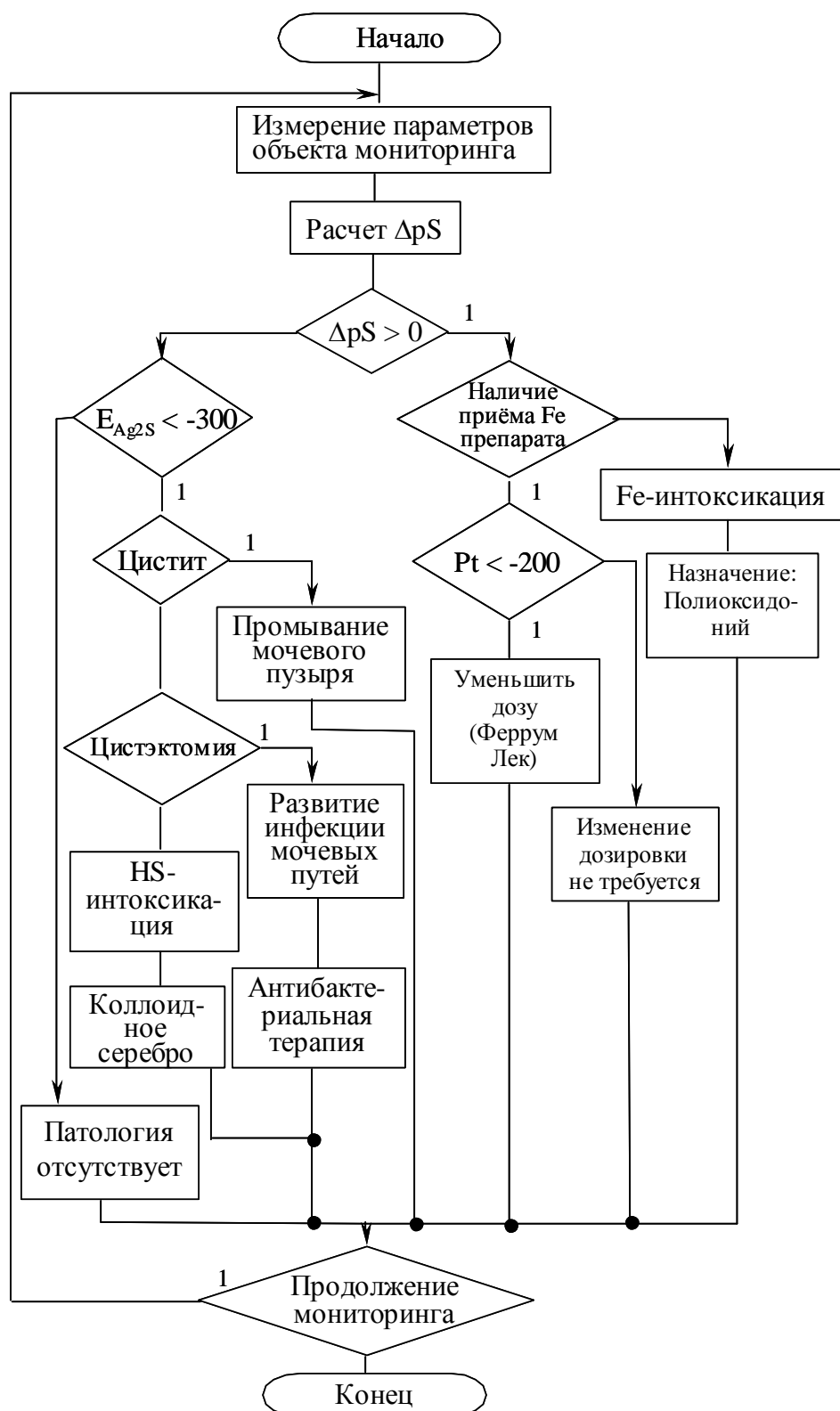


Рисунок 4. Алгоритм диагностики и лечения воспалительного заболевания

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Осуществлён выбор объекта для мониторинга. Показано, что в качестве контролируемого биосубстрата при мониторинге состояния больных с распространёнными формами ракового заболевания моча характеризуется большей информативностью ионных параметров, по сравнению с кровью.

2. Определено новое пространство входных признаков системы мониторинга, включающее измеренные потенциалы девяти ионоселективных электродов с перекрестной чувствительностью, учитывающее особенности функционирования различных подсистем в организме человека. Представленная модель системы мониторинга включает на входе контроль измеренных потенциалов композиции электродов: рН, Na, K, NH₄, LaF₃, Pt, Ag₂S, Cd и EM. В работе раскрыт физиологический смысл выбранных параметров.

3. Осуществлена разработка технологии контроля ионных параметров выбранного биосубстрата (мочи), выбрана методика проведения измерений, – прямая потенциометрия, предложен алгоритм проведения измерений.

4. Предложены структура системы мониторинга, отражающая циркуляцию информационных потоков внутри системы. На базе предложенной структуры создан экспериментальный макет системы, экспериментальная апробация которого в клинических условиях подтвердила эффективность разработанной системы при прослеживании изменения состояния пациента в послеоперационный период.

5. Предложена биохимическая модель натриевого потенциала человеческого организма, на основании которой показана возможность контроля состояния системы выработки и аккумуляции энергии организма по величине активности ионов натрия в моче.

6. Разработаны электрохимическая и дифференциальная модели диагностики интоксикации человеческого организма ионами Fe²⁺ и HS⁻. Анализ дифференциальной модели позволяет сделать предположение о единстве этиологии форм Fe²⁺ – и HS⁻ – интоксикации организма, которые являются следствием уровня водородного показателя. Данный вывод подтверждается клиническими наблюдениями.

7. Построены математические модели на основании карт самоорганизации Кохонена, описывающие патологические отклонения в системе ионного гомеостаза организма человека.

8. Разработан обобщенный критерий оценки степени тяжести состояния пациента, позволяющий оценивать эффективность лечебной стратегии в послеоперационном периоде.

9. Разработана методика математической обработки экспериментальных данных многопараметрического биообъекта. Методика включает построение топологической карты Кохонена, ее интерпретации с помощью метода факторного анализа, проектирование выделенных нейронов

на плоскости главных компонент $F_i - F_j$, и нанесение на них значений физических векторов измеряемых параметров и изолиний выходной функции.

10. В соответствии с полученными результатами теоретических исследований, разработаны алгоритмы оценки состояния энергетики организма, диагностики и лечения воспалительных процессов и диагностики состояния антиоксидантной и антикоагуляционных систем организма. Экспериментальная апробация показала их работоспособность.

11. Определены референтные границы измеряемых потенциалов в биосубстрате человека для здорового организма, при патологии и при состояниях близких к терминальному.

Публикации автора в журналах, рекомендованных ВАК

1. **Машевский Г. А.** Исследование влияния ионов фторида и фосфата на состояние организма человека с помощью LaF_3 -электрода [текст] // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 11. С. 69-73.

2. **Машевский Г. А.** Использование математического моделирования для распознавания и мониторинга интоксикации человеческого организма [текст] / Машевский Г.А., Юлдашев З.М. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 4. С. 73-78.

3. **Машевский Г. А.** Оценка энергетического потенциала организма человека по данным ионометрии мочи [текст] / Машевский Г.А., Юлдашев З.М. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 11. С. 40-44.

4. **Машевский Г. А.** Экспресс-контроль нарушения металлолигандного гомеостаза при ионометрировании мочи больных с распространенными формами рака [текст] / Машевский Г.А., Тарасов В.А. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия Государственного электротехнического университета); Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2006. Вып. 2. С. 125-131.

5. **Машевский Г.А.** Развитие информационной базы при ионометрировании больных с распространенными формами рака [текст] / Машевский Г.А., Тарасов В.А. // Информационно–управляющие системы . 2006. № 4(23). С. 50-53.

6. **Машевский Г.А.** Развитие информационной базы системы функционального компьютерного мониторинга при лечении больных с распространенными формами рака [текст] / Машевский Г.А., Тарасов В.А. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия Государственного электротехнического университета); Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2005. Вып. 2. С. 75-78.

7. **Машевский Г.А.** Потенциометрический контроль мочи больных с распространенными формами рака [текст] // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия Государственного электротехнического университета); Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2005. Вып. 1. С. 72-79.

8. **Машевский Г.А.** Об информационной базе системы функционального компьютерного мониторинга при лечении больных с распространенными формами рака [текст] / Машевский Г.А., Тарасов В.А., Филиппов Д.И. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (Известия Государственного электротехнического университета); Сер. Биотехнические системы в медицине и экологии. 2004. Вып. 1. С. 40-46.р

Публикации автора в других изданиях

Ниже представлен перечень наиболее значимых публикаций.

9. **Машевский Г.А.** Использование нейросетевого моделирования для диагностики патологических отклонений при лечении больных в постоперационный период. [текст] // Труды VIII Международного симпозиума «Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия», Санкт-Петербург, Вестник Аритмологии, приложение А, 16-18 февраля 2012 г. С. 129.

10. **Машевский Г.А.** Особенности динамики ионных параметров мочи здорового организма [текст] // Современные техника и технологии: сб. тр. XVI Международной научно – практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 2 // Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2010. 426 с. С. 60-62.

11. **Машевский Г.А.** Система мониторинга состояния пациента в постоперационный период. [текст] // «Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия», Санкт-Петербург, Вестник Аритмологии, приложение А, 18-20 февраля 2010 г. С. 527.

12. **Машевский Г.А.** Математическая модель интоксикации организма. [текст] // Труды VII Международного симпозиума «Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия», Санкт-Петербург, Вестник Аритмологии, приложение А, 18-20 февраля 2010 г. С. 528.

13. **Машевский Г.А.** Математическая модель интоксикации организма [текст] // Тр. международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы (Биомедсистемы – 2009)» РГРТУ. Рязань: Редакционно-издательский центр РГРТУ, 2009. С. 308-311.

14. **Машевский Г.А.** Особенности динамики ионных параметров мочи здорового организма [текст] // «Всероссийская научная школа по биомедицинской инженерии» (БМИ – 2009); Федеральная целевая программа «научные и научно-педагогические кадры инновационной России», 2009-2013 гг.; сб. тр. молодых ученых. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2009. С. 257-264.