

На правах рукописи



КИРЕЕВ Андрей Владимирович

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОЦЕНКЕ
АКТИВНОСТИ ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВАНИИ
АНАЛИЗА ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОПРОБ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации
(технические и медицинские системы)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Курск – 2009

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Пензенская государственная технологическая академия».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
ИСТОМИНА Татьяна Викторовна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
ФИЛИСТ Сергей Алексеевич

кандидат технических наук
УВАРОВА Анна Георгиевна

Ведущая организация: **ФГУ «Пензенский ЦСМ»**

Защита состоится 26.03.2009 в 16 часов в конференц-зале на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.105.03 при ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет» по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Курский государственный технический университет».

Автореферат разослан _____ 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.105.03



Старков Ф.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Эффективность лечения и предупреждение осложнений воспалительных процессов во многом связаны не только с возможностью их надежного выявления на ранних стадиях, но и с возможностью регистрации активности их протекания в динамике. Это необходимо для получения прогноза дальнейшего течения заболевания и выбора оптимальной тактики лечения. В настоящее время для исследования воспалительных процессов используются рентгенологические и биохимические методы, а так же методы рентгеновской и МР томографии, представляющие значительную информацию о характере патологического процесса. Однако применение этих методов отнимает значительное время и сопряжено с воздействием вредных факторов на организм, что не позволяет их использовать с высокой периодичностью и сильно затрудняет исследование воспалительного процесса в динамике. В этом отношении, перспективным является применение диагностических методов, основанных на исследовании пассивных электрических свойств биообъекта (ПЭС).

Общие достоинства этих методов заключаются в абсолютной безвредности для организма, скорости и оперативности применения, а так же сравнительно низкой себестоимости.

Понятие пассивные электрические свойства включает в себя множество характеристик, определяющих электрическую реакцию объекта на воздействие внешнего электрического тока. Пассивные электрические свойства биообъекта заключают в себе значительный объем полезной информации, однако ее полное использование для постановки диагноза сталкивается с серьезными затруднениями. Из-за отсутствия четкой взаимосвязи с физиологическими параметрами биообъекта, представляющими интерес в плане постановки диагноза, параметры ПЭС биообъекта несут в себе значительную неопределенность. Увеличение числа принимаемых во внимание параметров неизбежно приводит к возникновению противоречий в процессе принятия диагностических решений. Вместе с этим, в силу особенностей мышления человек не в состоянии оперировать большим количеством параметров, что особенно ярко проявляется в условиях недостатка времени, типичных для большинства задач медицинской диагностики. Поэтому на практике обычно используется только малая часть полезной информации, заключенная в нескольких наиболее информативных параметрах ПЭС.

Одной из форм представления ПЭС является частотная зависимость импеданса. В настоящее время именно импедансометрия используется в биомедицинских исследованиях. А.Ф. Калашник предложил использовать импедансометрию для прогнозирования нагноения ран. В работе А.В. Давыдова предприняты попытки увеличения диагностической ценности импедансометрического метода при диагностике острого синусита за счет использования в качестве информативного признака “коэффициент актив-

ного сопротивления” (КАС), представляющий собой отношение активных низкочастотных и высокочастотных сопротивлений воспаленной биологической ткани.

Несмотря на отдельные успехи, реальная диагностическая ценность методов исследования ПЭС биообъекта в настоящее время остается слишком низкой, и результаты таких исследований являются малодостоверными. Это связано с тем, что информативность отдельных параметров импеданса биообъекта является сравнительно невысокой, а их связь с интересующими физиологическими параметрами биообъекта – сильно опосредованной. Низкая информативность импедансных параметров связана с присутствием в результатах реальных измерений значительной доли погрешностей, как случайного, так и систематического характера. Отсутствие четкой взаимосвязи между измеряемыми параметрами импеданса и физиологическими параметрами биообъекта, вызывает серьезные затруднения, вызванные с интерпретацией результатов измерений.

В настоящее время методики биоимпедансных исследований разработаны достаточно хорошо и существенное повышение информативности результатов исследований ПЭС биообъекта может быть достигнуто только за счёт использования других, более адекватных, способов представления ПЭС биообъекта и построения на их основе новых способов получения и обработки первичной измерительной информации о ПЭС. Причём достижение реального положительного эффекта в плане повышения качества постановки диагноза за счет увеличения числа измеряемых параметров, становится возможным, только при использовании автоматизированных систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих в условиях дефицита времени, на основании множества параметров ПЭС, давать четкие рекомендации по принятию оптимальных диагностических решений. Создание таких систем на основе методов исследования ПЭС является особенно актуальным, так как является единственным путем существенного повышения диагностической ценности и расширения области практического применения этих методов.

Работа выполнена в соответствии с внутренним грантом Пензенской государственной технологической академии за 2008г. на тему «Информационно-измерительная система для исследования и контроля пассивных электрических свойств биообъекта» по направлению «Наука – шаг в будущее».

Цель работы. Разработка системы поддержки принятия решений врача - хирурга, позволяющей повысить достоверность оценки активности протекания воспалительного процесса на основании данных о ПЭС отбираемых биопроб.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

- разработать адекватную математическую модель ПЭС биообъекта и эффективный метод её идентификации при наличии посторонних шумов;

- разработать методы компенсации случайной и систематической погрешностей измерения параметров ПЭС биообъекта;

- разработать специализированные алгоритмы принятия диагностических решений по оценке активности воспаления на основании параметров ПЭС биопроб, отбираемых в процессе лечения;

- реализовать СППР по оценке активности воспалительного процесса на основании данных о ПЭС отбираемых биопроб.

Методы исследований. При решении поставленных задач использовались методы системного анализа, методы математического моделирования, методы принятия решений, методы адаптивной идентификации линейных систем, методы деконволюции сигналов, методы редукции измерений, численные методы, методы статистики многомерных данных, нейросетевые методы, методы линейной оптимизации, методы электрохимического анализа.

Научная новизна работы. В диссертационной работе получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

- двухуровневая иерархическая модель ПЭС биообъекта, отличающаяся наличием второго уровня иерархии, выполняющего функции компенсации влияния дестабилизирующих факторов и интерпретации результатов измерений параметров ПЭС биообъекта, позволяющая организовать эффективную процедуру обработки первичной измерительной информации.

- алгоритмы редукции измерений параметров ПЭС биообъекта, позволяющие скомпенсировать систематическую погрешность измерений, обусловленную несовершенством и нестабильностью характеристик аппаратной части системы поддержки принятия решений по оценке активности воспалительного процесса (СППР АОВП) в реальном времени.

- специализированные алгоритмы принятия решений по оценке активности воспаления, отличающиеся использованием в качестве информативных признаков коэффициентов многочленов числителя и знаменателя передаточной функции ПЭС биопроб и позволяющие повысить достоверность оценки активности воспаления.

- система адаптивной идентификации, отличающаяся сочетанием полигармонического сигнала с идеальной автокорреляционной функцией (АКФ), линейной модели ПЭС биообъекта с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) и градиентного алгоритма наименьших средних квадратов (НСК), обеспечивающая, при минимальной вычислительной сложности, быструю сходимость и точную оценку высокоинформативных параметров ПЭС биообъекта.

Практическая значимость и результаты внедрения. Разработанные методики модели и алгоритмы позволяют повысить достоверность оценки активности воспалительного процесса и дают возможность прогнозирования дальнейшей динамики его протекания, на основании анализа ПЭС биопроб, что в свою очередь позволяет своевременно определить

наиболее эффективную тактику лечения и сократить период пребывания больных в стационаре.

Результаты работы внедрены в учебный процесс Пензенской государственной технологической академии при подготовке специалистов по направлению 200401 - "Биотехнические и медицинские аппараты и системы", а так же используются в учебном процессе ГДО ДПО «Пензенский институт усовершенствования врачей Росздрава».

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях, симпозиумах и форумах: Междунар. симп. «Надежность и качество» (Пенза, 2002); XIII научных чтений памяти академика Н.Н. Бурденко (Пенза, 2002); XI Междунар. симп. «Мониторинг, аудит и информационное обеспечение в системах медико-экологической безопасности» (Испания, Коста Дуарада, 2002); V междунар. конф. «Радиоэлектроника в медицине» (Москва, 2003); Междунар. конф. «Измерительные и информационные технологии в охране здоровья» (Санкт-Петербург, 2007); Междунар. НТК «Современные информационные технологии» (Пенза, 2007); XIV Междунар. НТК «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Москва, 2008); XI Междунар. НТК «Медико-экологические информационные технологии – 2008» (Курск, 2008); Междунар. НТК «Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации» (Пенза, 2008); XXXIV Междунар. конференции и дискуссионного клуба «Информационные технологии в науке социологии экономике и бизнесе IT+SE'08» (Крым, Ялта – Гурзуф, 2008).

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Двухуровневая иерархическая модель ПЭС биообъекта, позволяющая организовать эффективную процедуру обработки первичной измерительной информации, получаемой в процессе исследования ПЭС биообъекта.
2. Алгоритмы редукции измерений параметров ПЭС биообъекта, позволяющие скомпенсировать систематическую погрешность измерений, обусловленную несовершенством и нестабильностью характеристик аппаратной части системы поддержки принятия решений по оценке активности воспалительного процесса (СППР АОВП) в реальном времени.
3. Специализированные алгоритмы принятия диагностических решений по оценке активности воспалительного процесса на основании анализа ПЭС отбираемых биопроб, позволяющие повысить достоверность оценки активности воспаления за счёт использования множества параметров ПЭС.
4. Система адаптивной идентификации модели ПЭС биообъекта, позволяющая при минимальной вычислительной сложности достичь быстрой сходимости адаптивного процесса и высокой точности оценок высокоинформативных параметров ПЭС биообъекта.

Публикации. Самостоятельно и в соавторстве по теме диссертации опубликовано 20 печатных работ.

Личный вклад автора. В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в конце автореферата, в [5] лично автором проведен сравнительный анализ эффективности применения нейронных сетей различного типа при распознавании биообъекта, в [4,6,9] – лично автором проведено усовершенствование конструкции четырехэлектродных датчиков и проведен анализ областей его практического применения, в [8] – лично автором проведены исследования по улучшению воспроизводимости параметров ПЭС, в [10] – лично автором установлена теоретическая взаимосвязь ПЭС ДЭС с химическим составом электролита, в [11,16] – лично автором проведен анализ методов адаптивной идентификации и преимуществ их использования при исследовании ПЭС биообъекта, в [2,17,19] – лично автором разработана система сбора данных и алгоритмы обработки первичной измерительной информации, в [20] – лично автором проведен анализ методов принятия решений и разработаны нейросетевые алгоритмы построения решающей функции СППР.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов по главам, заключения, библиографического списка использованной литературы и приложения. Основная часть работы изложена на 145 страницах, включая 51 рисунок, 84 формулы, 11 таблиц. Библиографический список содержит 107 наименований источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи исследования, перечислены методы исследования, показана научная новизна работы, показана обоснованность и достоверность основных научных результатов работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, показана практическая значимость работы; приведены сведения об апробации работы, реализации и внедрении ее результатов, а так же сведения о публикациях.

В первой главе рассматриваются общие особенности объекта исследования и существующие методы, применяемые для оценки активности протекания воспалительных процессов. Определяется область применения методов исследования ПЭС биообъекта в медицинской диагностике. Приводятся основные преимущества и недостатки этих методов в сравнении с другими диагностическими методами. Определяются основные затруднения, возникающие при проведении подобных исследований.

В настоящее время для исследования ПЭС биообъекта, как правило, используется импедансный метод. Однако большая продолжительность импедансных измерений, плохая воспроизводимость и сложность их интерпретации обуславливают необходимость поиска более эффективных

методов получения первичной измерительной информации и её дальнейшей обработки.

Проведённые систематизация и анализ существующих методов получения первичной измерительной информации о ПЭС, математических моделей биообъекта, наиболее распространенных методов идентификации и методов принятия решений, позволили поставить цель и задачи исследования, а так же наметить основные пути их решения.

Во второй главе разрабатываются методы, используемые при обработке информации в СППР ОАВП. Предложена иерархическая модель биообъекта (рисунок 1) позволяющая осуществить эффективную процедуру обработки первичной измерительной информации.

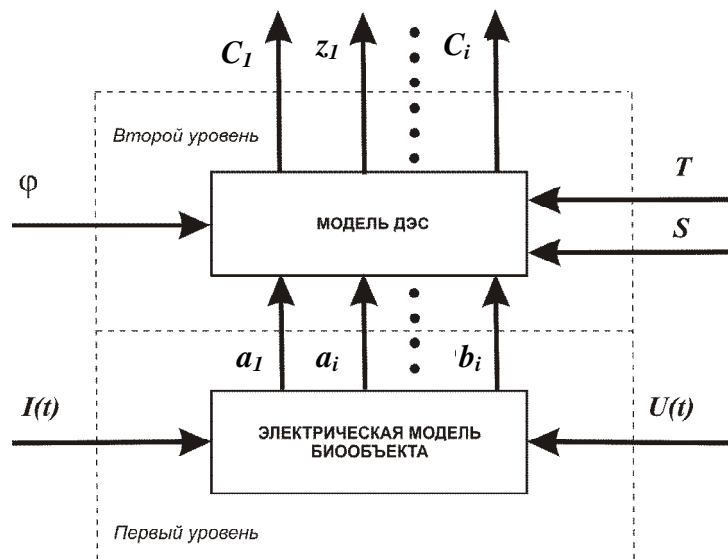


Рисунок 1 – Иерархическая модель биообъекта

Подмодель первого уровня иерархии – электрическая модель биообъекта устанавливает однозначную взаимосвязь между возбуждающим током и откликом напряжения биообъекта выполняет функции сжатия первичной измерительной информации, подавления посторонних шумов, и получения инвариантных во времени параметров передаточной функции $a_1 \dots a_i \dots b_i$. Подмодель второго уровня иерархии – модель двойного электрического слоя (ДЭС) выполняет функцию компенсации влияния дестабилизирующих факторов и интерпретации измерений. Входными данными этой подмодели служат параметры подмодели первого уровня и значения дестабилизирующих факторов (равновесный потенциал ϕ , температура T и площадь поверхности электрода S). Выходными данными этой модели являются концентрации ионов C_i и их заряды z_i .

В качестве подмодели первого уровня - электрической модели биообъекта, используется линейная модель с бесконечной импульсной характеристикой и дискретным временем:

$$y[n] = b_0 x[n] + b_1 x[n-1] + \dots + b_p x[n-p] - a_1 y[n-1] - \dots - a_q y[n-q] + e[n], \quad (1)$$

где p - порядок многочлена числителя, q - порядок многочлена знаменателя (здесь $a_0 \equiv 1$ для обеспечения однозначности) передаточной функции, n - номер отсчета, $e(n)$ - остатки модели (шум).

Исследуются разновидности линейных параметрических моделей с дискретным временем, алгоритмов адаптивной идентификации и применяемых сигналов. Предложена адаптивная система идентификации, отличающаяся сочетанием линейной модели типа ARX (авторегрессия со входом), градиентного алгоритма НСК, и полигармонических тестовых сигналов с идеальной формой АКФ. Алгоритм НСК предельно прост в вычислительном отношении (на каждом шаге он требует выполнения 2-х операций сложение и 2-х операций умножение на каждый коэффициент модели), согласно этому алгоритму параметры модели ARX обновляются в соответствии с рекуррентными формулами:

$$V[n+1] = V[n] + 2m \cdot e[n] \cdot U[n], \quad (2)$$

где n - номер отсчета, $V = [b_0, b_1, \dots, b_p, a_1, a_2, \dots, a_q]^T$ - обобщенный вектор параметров, $U = [x[n], \dots, x[n-p], -y[n-1], \dots, -y[n-q]]^T$ обобщенный вектор сигналов m - параметр сходимости алгоритма (шаг), $e[n] = y[n] - V^T \cdot U$ - ошибка.

Предложенные полигармонические тестовые сигналы с идеальной формой АКФ, описываются следующим уравнением:

$$x[n] = 0.5 + \sum_{i=1}^{(p+q)/2-1} \cos\left(\frac{2p}{p+q} i \cdot n + j_i\right) + 0.5 \cos(p \cdot n), \quad (3)$$

где p и q - порядки полиномов передаточной функции числителя и знаменателя электрической модели биообъекта.

Подмодель второго уровня иерархии - дискретная модель ДЭС (рисунк 2), устанавливает взаимосвязь ПЭС биообъекта с химическим составом приэлектродных слоев. Передаточная функция отдельного слоя ДЭС определяется как:

$$H(z)_k = \frac{\frac{\Delta_k d}{S_k e_0 e_k} z^{-1}}{1 + \left(1 - \frac{c_k d}{e_0 e_k}\right) z^{-1}}, \quad (4)$$

где d - дискрет времени, Δ_i - толщина соответствующего элемента, S_i - площадь соответствующей эквипотенциальной поверхности, c_k - электропроводность, $e_0 e_k$ - диэлектрическая проницаемость.

Посредством разложения передаточной функции ДЭС на элементарные дроби вида (4), определяются значения электропроводностей отдельных слоёв (диэлектрическая проницаемость принимается постоянной).

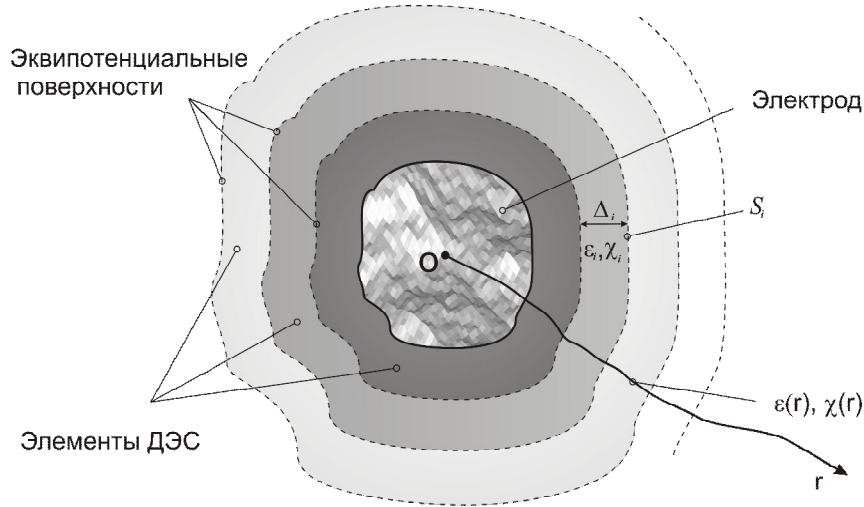


Рисунок 2 – Дискретная модель ДЭС

Из уравнения диффузии – миграции, при отсутствии тока, и уравнения Пуассона следует уравнение, позволяющее на основании распределений макроскопических параметров ($e_0 e_k$ и c_k) определить распределение напряженности электрического поля в зоне действия ДЭС:

$$\tilde{D} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial r^2} + \frac{c}{ee_0} \vec{E} = 0, \quad (5)$$

где \tilde{D} - эффективный коэффициент диффузии ионов в зоне действия ДЭС.

Оценка химического состава ДЭС производится на основании автономного дифференциального уравнения, вытекающее из уравнения Пуассона и уравнения Нернста:

$$\frac{\partial^2 j}{\partial r^2} = - \frac{F}{ee_0} \sum_{i=1}^n z_i \bar{C}_i e^{\frac{z_i F j}{RT}}, \quad (6)$$

где \bar{C}_i - концентрация ионов при бесконечном удалении от поверхности электрода, z_i - заряд ионов; j - потенциал в заданной точке ДЭС; T - температура ДЭС; R - универсальная газовая постоянная; F - постоянная Фарадея, ee_0 - диэлектрическая проницаемость, r - расстояние от поверхности электрода.

Таким образом, в предлагаемой модели, качественной характеристикой, позволяющей дифференцировать ионы различного типа, является величина их относительного заряда z_i .

Дискретная модель позволяет построить алгоритмы компенсации дестабилизирующего влияния нестабильностей температуры, поверхности электрода и равновесного электродного потенциала. Кроме того, она дает возможность интерпретировать параметры ПЭС двойного электрического слоя биообъекта в терминах химического состава электролита.

Разработаны алгоритмы компенсации систематической погрешности измерений параметров ПЭС, основанные на методах редукции измерений. Стохастическая постановка задачи редукции для модели типа ARX имеет следующий вид:

$$h(R, H) = \sup_{x \in \mathcal{R}} E \left\| \left(R(q) \cdot \frac{\tilde{B}(q)}{\tilde{A}(q)} - \frac{B(q)}{A(q)} \right) x(t) + \left(R(q) \cdot \frac{1}{\tilde{A}(q)} - \frac{1}{A(q)} \right) e(t) \right\|^2 \sim \min_R, (7)$$

где $\tilde{A}(q)$ и $\tilde{B}(q)$ - искаженные полиномы числителя и знаменателя передаточной функции, а $A(q)$ и $B(q)$ - истинные полиномы, $R(q)$ – оптимальный оператор редукции, позволяющий наиболее точно восстановить искаженный отклик, $x(t)$ - входной сигнал, $e(t)$ - шум, E – обозначение математического ожидания.

Оператор редукции определяется в процессе калибровки измерительной части СППР ОАВП, после чего он используется для построения цифрового фильтра деконволюции, включаемого перед алгоритмом идентификации и компенсирующего систематическую погрешность измерений связанную с несовершенством аналогового тракта СППР ОАВП.

Предложено формирование обобщенного показателя активности воспалительного процесса на основании параметров ПЭС биопроб, позволяющего характеризовать активность протекания воспаления. При построении решающей функции рассматривается задача регрессии.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований основных элементов СППР ОАВП и образцов исследуемых биопроб. Исследования проводились с целью получения сравнительной оценки эффективности применения различных тестовых сигналов, моделей ПЭС биообъекта и алгоритмов их идентификации, а так же для установления взаимосвязи динамики воспалительного процесса с параметрами ПЭС биопроб и построения решающей функции СППР ОАВП.

На рисунке 3 приведены результаты численного эксперимента представленные в форме зависимостей ошибок идентификации имитационной модели биообъекта от числа итераций, характеризующие сходимость адаптивного процесса алгоритма НСК (во всех случаях использована одна и та же модель). Кривая «а» соответствует полигармоническому сигналу с идеальной АКФ, кривая «б» - последовательности Фибоначчи, кривая «в» - конгруэнтной последовательности и кривая «г» - последовательности максимальной длины.

В ходе исследований установлено, что в отношении точности и скорости сходимости адаптивные алгоритмы сравнимы с корреляционными алгоритмами частотной идентификации, и их преимущество заключается только в возможности получения более информативных параметров, так как идентифицируемая модель в этом случае является более адекватной (параметрическая модель с БИХ, при той же точности, требует в 12 раз меньше параметров по сравнению с импедансной моделью).

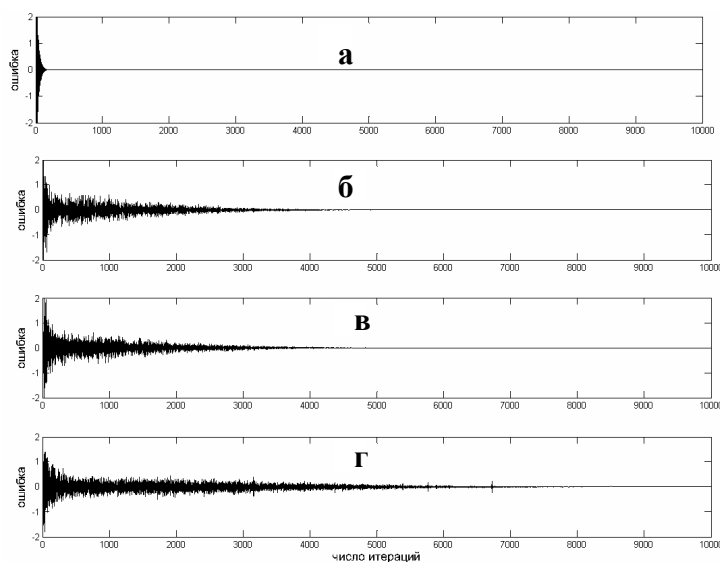


Рисунок 3 - Зависимости ошибок идентификации от числа итераций

В рамках исследования предложенной модели ДЭС проведены расчеты основных характеристик ДЭС для электролита заданного состава. По полученным данным рассчитана импульсная реакция ДЭС при его представлении эквивалентной схемой замещения Войта. Проведено исследование влияния температурной неустойчивости и неустойчивости равновесного потенциала на форму расчетных импульсных реакций ДЭС.

Приведены результаты исследования ПЭС биопроб, отбираемых посредством проведения пункций у больных с диагнозом гнойный плеврит. На основании полученных данных, согласно критерия Акаике и финальной ошибке предсказания (рисунок 4), определен оптимальный порядок идентифицируемой параметрической модели с БИХ, равный 16 (16 коэффициентов числителя и 16 коэффициентов знаменателя передаточной функции). Получены оценки дисперсии измеряемых параметров, равные в среднем 10-15%. На основании анализа собственных чисел ковариационной матрицы параметров передаточной функции (рисунок 5) сделан вывод об информационной избыточности признакового пространства, сформированного из параметров передаточной функции ПЭС биопроб.

Приведены результаты кластерного анализа экспериментальных данных (таблица 1), после сокращения размерности признакового пространства по методу главных компонент, с помощью различных методов кластеризации. Из приведенных данных следует, что выделенные кластеры примыкают друг к другу, их центры C_i образуют ядерную аппроксимацию линии в сокращенном, 16 мерном пространстве новых признаков V_i , что подтверждает справедливость постановки задачи регрессии.

Получены оценки статистической значимости отдельных параметров передаточной функции ПЭС, позволяющие сделать вывод о том, что только 5 из 32 параметров имеют существенную связь с динамикой протекания воспалительного процесса (определяют 75% дисперсии данных).

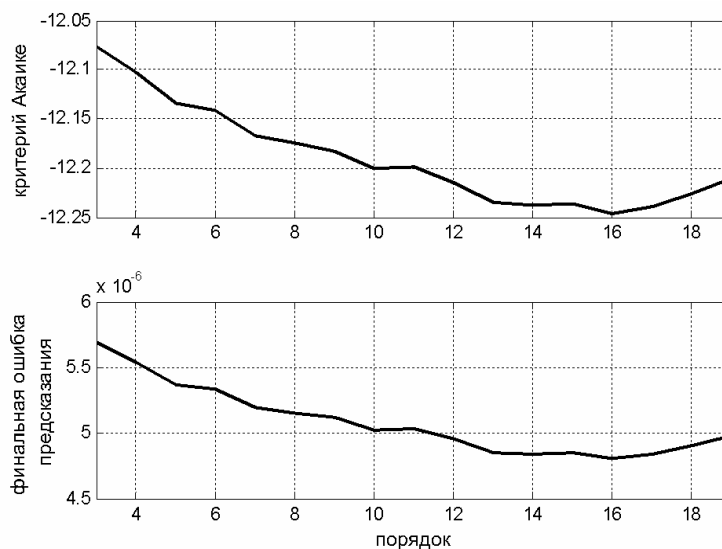


Рисунок 4 – Зависимости значений критерия Акаике и финальной ошибки предсказания от порядка идентифицируемой модели

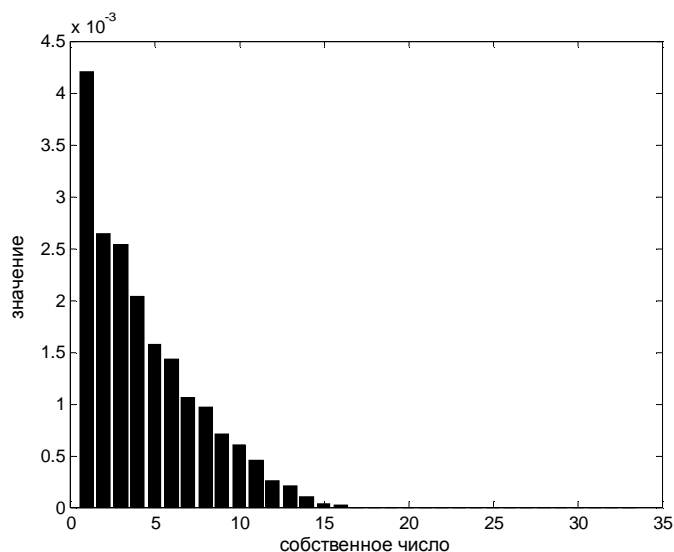


Рисунок 5 – Распределение собственных чисел ковариационной матрицы параметров ПЭС биопроб

На основании полученных данных сформирована линейная решающая функция, следующего вида:

$$P = \sum_{i=1}^{16} (a_i \cdot a_i + b_i b_i), \quad (8)$$

где P – значение показателя активности воспалительного процесса, a_i и b_i – коэффициенты знаменателя и числителя передаточной функции биопробы, a_i и b_i – коэффициенты линейной регрессии.

Значение эмпирического коэффициента детерминации сформированного показателя составило 0,85-0,9. На рисунке 6 представлены зависимости значений сформированного показателя активности воспаления от времени лечения для четырех пациентов с диагнозом гнойный плеврит.

Таблица 1 – Координаты центров и дисперсия кластеров

	C1	C2	C3	C4	C5
V1	-0,04032	-0,02435	-0,05986	0,076797	-0,10723
V2	0,033803	-0,0661	-0,07676	-0,02193	-0,03562
V3	0,009164	-0,03461	0,024108	0,046512	0,093481
V4	0,067239	0,042481	0,098558	0,080297	0,084399
V5	-0,00273	0,018694	-0,03377	0,012808	0,026237
V6	-0,05701	-0,08574	-0,02739	-0,06538	-0,10968
V7	0,01962	0,011995	0,001862	-0,00594	0,004931
V8	-0,05664	-0,0373	-0,02979	-0,02761	-0,05153
V9	-0,0102	-0,01474	-0,00252	-0,02026	-0,02199
V10	-0,09153	-0,10626	-0,08806	-0,09006	-0,08643
V11	-0,10028	-0,08756	-0,10497	-0,09865	-0,08802
V12	-0,11719	-0,11903	-0,11842	-0,10838	-0,10453
V13	0,043696	0,035838	0,045726	0,039458	0,042849
V14	0,078618	0,081849	0,08609	0,083117	0,085702
V15	-0,09906	-0,10127	-0,09992	-0,10022	-0,10677
V16	0,063213	0,061704	0,059868	0,061963	0,061916
дисперсия	0,030486	0,0091511	0,0049982	0,0066891	0,0066015

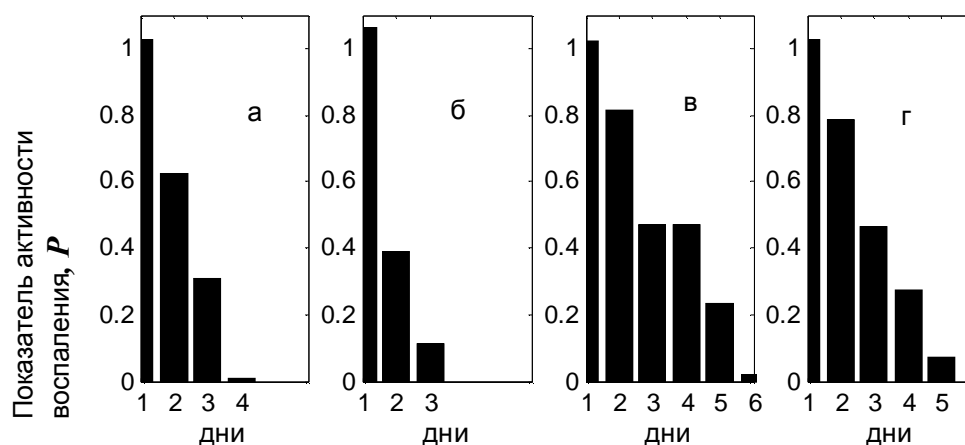


Рисунок 6 – Зависимости значения показателя активности воспаления от времени лечения

Таким образом, сформированный показатель позволяет характеризовать активность и прогнозировать динамику дальнейшего протекания воспалительного процесса, в то время как, ни один из параметров ПЭС биопробы в отдельности не даёт такой возможности.

В четвертой главе рассмотрены вопросы практической реализации СППР АОВП на основании ПЭС биообъекта. Предложена обобщенная структурная схема СППР АОВП на основании ПЭС биообъекта (рисунок 7). Сформулированы основные требования, предъявляемые к каждому элементу структурной схемы СППР АОВП, проведен анализ существующей элементной базы и даны рекомендации по выбору элементов.

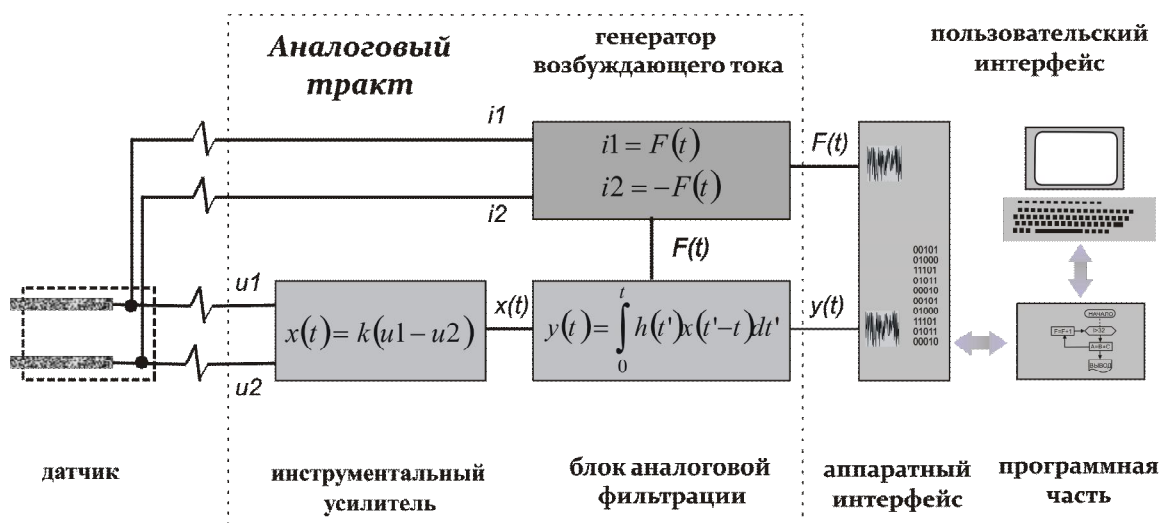


Рисунок 7 – Обобщенная структурная схема СППР ОАВП на основании анализа ПЭС биообъекта

Разработана конструкция аналогового тракта ИИС контроля ПЭС биообъекта, включающая инструментальный усилитель, аналоговый фильтр и однобитный ЦАП с токовым выходом. Описана реализация аппаратного интерфейса предлагаемой СППР ОАВП на основании анализа ПЭС биообъекта на базе универсальной платы Advantech PCI – 1710.

Разработаны конструкции контактных датчиков для исследования ПЭС биожидкостей. На рисунке 8 показан двухэлектродный контактный поляризующийся датчик, который использовался при получении экспериментальных данных, приведенных в работе. Он позволяет проводить наиболее информативные измерения параметров ПЭС (измеряется до 32 параметров передаточной функции биопробы).

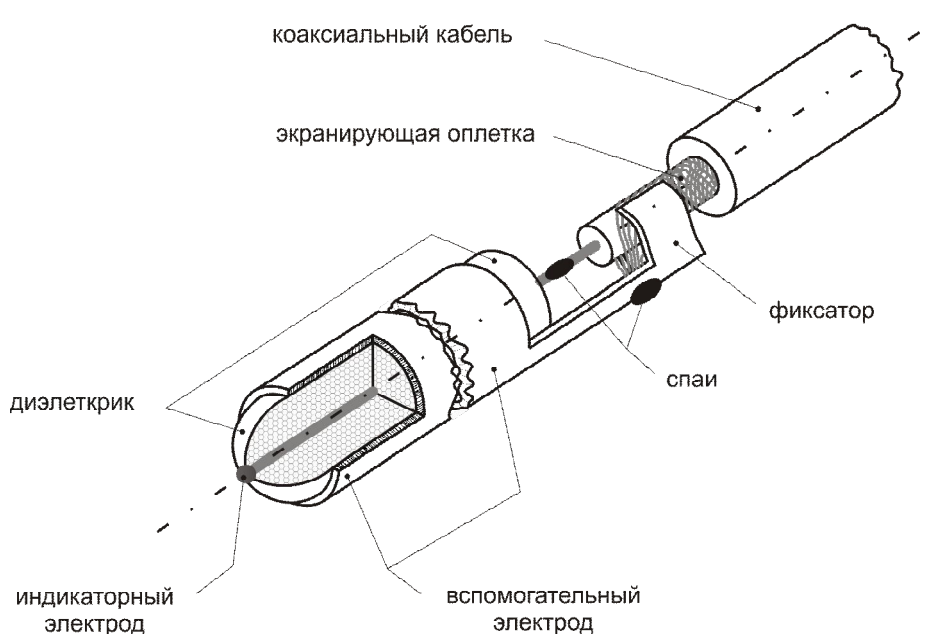
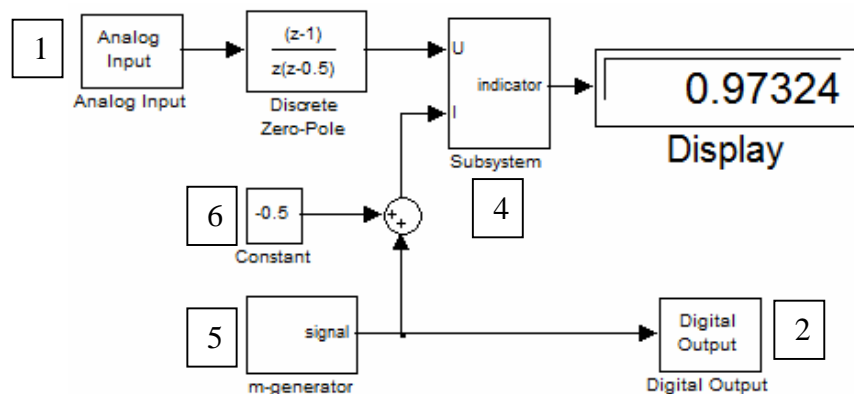


Рисунок 8 – Контактный поляризующийся датчик

Программная часть СППР реализована в пакете визуального моделирования Matlab – Simulink. На рисунке 9 приведена действующая Simulink – модель СППР ОАВП на основании анализа ПЭС биообъекта.



**Рисунок 9 - Simulink – модель СППР ОАВП
на основании анализа ПЭС биообъекта**

Блок 1 – реализует сопряжение программной части с АЦП аналогового тракта СППР ОАВП, блок 2 – реализует сопряжение программной части с управляемым генератором возбуждающего тока. Блок 3 – представляет собой реализацию цифрового фильтра деконволюции, компенсирующего систематическую погрешность измерений. Блок 4 – реализует алгоритм идентификации и линейную решающую функцию СППР ОАВП. Блок 5 – реализует генератор двоичной последовательности максимальной длины, блок 6 – предназначен для преобразования униполярного сигнала в биполярный. Блок 7 - непосредственно осуществляет индикацию значения формируемого показателя активности воспалительного процесса.

Предлагаемая реализация программной части работает в реальном масштабе времени. При проведении клинических исследований значение определяемого показателя активности воспаления устанавливается достаточно быстро, что позволяет осуществлять оперативный контроль и многократно повторять измерения. Кроме того, имеется возможность осуществления мониторинга состояния исследуемого биообъекта, что особенно важно при проведении исследований *in vivo*.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложена двухуровневая иерархическая модель ПЭС биообъекта, позволяющая реализовать эффективную обработку первичной измерительной информации, а так же интерпретировать данные измерений в терминах химического состава биообъекта.
2. Разработана адаптивная система на базе полигармонических тестовых сигналов с идеальной формой АКФ, алгоритма НСК и линейной пара-

метрической модели типа ARX, обеспечивающая при минимальной вычислительной сложности, быструю сходимость и точную оценку высокоинформативных параметров ПЭС биообъекта.

3. Разработаны алгоритмы редукции измерений параметров ПЭС биообъекта, позволяющие скомпенсировать систематическую погрешность измерений, обусловленную несовершенством и нестабильностью характеристик аппаратной части СППР ОАВП.
4. Разработаны специализированные алгоритмы поддержки принятия решений на основе линейной решающей функции, формирующей обобщенный показатель активности протекания воспалительного процесса.
5. Разработана обобщенная структурная схема построения СППР ОАВП на основании ПЭС биообъекта, позволяющая выделить основные элементы данной СППР, их взаимосвязи и сформулировать основные требования, предъявляемые к каждому из них.
6. Разработана надежная конструкция двухэлектродного поляризующегося датчика для исследования ПЭС биожидкостей, обеспечивающая высокую информативность измерений параметров ПЭС.
7. Реализован и внедрен опытный образец СППР ОАВП на основании анализа ПЭС биообъекта, построенный на базе ПЭВМ и средств визуального моделирования Matlab – Simulink, позволяющий проводить исследования ПЭС биообъекта в реальном масштабе времени, осуществлять быстрый и оперативный контроль, многократно повторять измерения, а так же - реализовать мониторинг параметров ПЭС.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМАТИКЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях рекомендованных ВАК РФ

1. Киреев, А.В. Многопараметрическая система контроля ПЭС биообъекта [Текст] / А.В. Киреев // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета №2 (24). Рязань, 2008. –С. 19-25.
2. Киреев, А.В. Исследовательский комплекс для анализа электрических характеристик на базе универсальной платы Advantech PCI-1710 [Текст] / Т.В. Истомина, А.В. Киреев, Е.В. Истомина // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. «Медицинские информационные системы» №5(82).– Таганрог, 2008. –С. 61-64.
3. Киреев, А.В. Выбор оптимальной структуры модели пассивных электрических свойств биообъекта при построении биометрических ИИС [Текст] / А.В. Киреев // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. «Медицинские информационные системы» №5(82). – Таганрог, 2008. –С. 64-68.

Авторские свидетельства и патенты

4. Киреев, А.В. Способ прогнозирования динамики воспалительного процесса и устройство для его осуществления [Текст] / В.И. Волчихин, С.И. Геращенко, С.М., Геращенко, Ф.Ш. Енгальчев, А.В. Киреев, Н.О. Голотенков // Патент РФ А61В5/053 № 2224458. Заявка №2002108201, 01.04.2002г.; Опубликовано: 27.02.2004г. Бюл. №6.

Статьи и материалы конференций

5. Киреев, А.В. Выбор структуры нейронной сети для распознавания человека [Текст] / Г.С. Никитина, Ю.С.Чистова, А.В. Киреев // Безопасность информационных технологий: Труды НТК, Пенза 2001. -С. 38-40.
6. Киреев, А.В. Использование четырехэлектродного электрохимического датчика в биометрических исследованиях [Текст] / С.И. Геращенко, А.В. Киреев, Ю.С. Чистова, С.М. Геращенко // Безопасность информационных технологий: Труды НТК, Пенза 2001. -С. 45-47.
7. Киреев, А.В. Четырехэлектродные контактные датчики [Текст] / А.В. Киреев // Современные охранные технологии и средства обеспечения комплексной безопасности объектов: Материалы IV Всерос. НПК – Пенза: Инф. –изд. центр ПГУ, 2002. –С.116-118.
8. Киреев, А.В. Исследование влияния емкостной, миграционной и диффузионной составляющих электрического тока на достоверность и воспроизводимость джоульметрических измерений [Текст] / С.И.Геращенко, С.М.Геращенко, А.В.Киреев // Надежность и качество: Труды Междунар. симп. – Пенза: Инф. –изд. центр ПГУ, 2002. –С.460-462.
9. Киреев, А.В. Применение четырехэлектродных электрохимических датчиков в медико-биологических исследованиях [Текст] / Геращенко С.И., Геращенко С.М., Енгальчев Ф.М., Киреев А.В.// Тринадцатые научные чтения памяти академика Н.Н. Бурденко: Материалы НПК - Пенза: НИЦ, ПГУ, 2002. -С. 56-57.
10. Киреев, А.В. Исследование динамических свойств ДЭС для оценки состояния биосистем [Текст] / Т.В. Истомина, А.В. Киреев // Измерительные и информационные технологии в охране здоровья. МЕТРОМЕД – 2007.: Труды Международной научной конференции. СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2007. -С. 88-90.
11. Киреев, А.В. Адаптивная идентификация пассивных электрических параметров биообъекта [Текст] / Т.В. Истомина, А.В. Киреев // Информационные и управленческие технологии в медицине: сборник статей Всероссийской НТК. – Пенза, 2007. –С. 25-30.

12. Киреев, А.В. Применение методов идентификации для контроля пассивных электрических свойств биообъекта [Текст] / А.В. Киреев // Инновационные технологии в экономике, информатике, медицине и образовании: Сб. статей IV Межрегиональной НПК, Пенза, 2007. –С. 105-107.
13. Киреев, А.В. Синтез оптимальной структуры электрической модели биообъекта [Текст] / А.В. Киреев // Современные информационные технологии: Труды Международной НТК, Пенза, 2007. -С. 161-165.
14. Киреев, А.В. Система контроля пассивных электрических свойств биообъекта [Текст] / А.В. Киреев // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы, БИОМЕДСИСТЕМЫ-2007: Материалы XX Всероссийской НТК, Рязань, 2007. –С. 12-17.
15. Киреев, А.В. Повышение информационных характеристик систем контроля ПЭС биообъекта [Текст] / А.В. Киреев // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: Тез. докл. XIV Междунар. НТК в 3-х т. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. Т.1 – С. 247-248.
16. Киреев, А.В. Основные преимущества методов параметрической идентификации в исследованиях ПЭС биообъекта [Текст] / Т.В. Истомина, А.В. Киреев // Медико–экологические информационные технологии – 2008: сборник материалов XI Международной НТК, Курск, 2008. –С. 75-78.
17. Киреев, А.В. Оценка оптимальной структуры модели электрокардиосигнала типа ARMA [Текст] / Т.В. Истомина, А.В. Киреев, Е.В. Истомина, И.В. Степичев // Информационные и управленческие технологии в медицине: сборник статей Всероссийской НТК. – Пенза, 2008. –С. 31-33.
18. Киреев, А.В. Моделирование динамических характеристик двойного электрического слоя // Современные информационные технологии: Труды Международной НТК, Пенза, 2008. -С. 88-90.
19. Киреев, А.В. Особенности измерения и интерпретации параметров ПЭС биологических объектов [Текст] / Т.В. Истомина, А.В. Киреев, Е.В. Истомина // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: труды Международной НТК, Пенза, 2008. –С. 73-80.
20. Киреев, А.В. Систематизация методов принятия диагностических решений [Текст] / Т.В.Истомина, Е.В. Истомина, А.В. Киреев // Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе IT+SE'08: Материалы XXXIV международной конференции и дискуссионного научного клуба, Украина, Крым, Ялта – Гурзуф, 2008г. - С. 200-202.