

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ АДАПТАЦИИ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ

О. М. Гергет, О. Г. Берестнева^{*,**}, Я. С. Пеккер^{*,**}

Институт кибернетики Национального исследовательского
Томского политехнического университета, 634034, Томск, Россия

* Томский политехнический университет, 634050, Томск, Россия

** Сибирский государственный медицинский университет, 634050, Томск, Россия

УДК 613.952:681.3.01

Рассмотрены материалы и методы экспериментального исследования адаптационных возможностей организма человека. Приведено описание программного продукта, который является интеллектуальной системой, позволяющей получить качественно новые научные и практические результаты, существенно ускоряющие и облегчающие работу медицинского персонала при оценке адаптационных возможностей развивающихся систем.

Ключевые слова: интеллектуальная система, здоровье, типы адаптационных кривых, развивающаяся система.

The article deals with the materials and methods. The description of a software product that is an intelligent system that allows a qualitatively new scientific and practical conclusions significantly accelerates and facilitates the work of medical personnel in assessing the adaptive capacity of developing systems.

Key words: intelligent system, health, types of adaptation curves, developing system.

Введение. В течение длительного времени постоянными объектами исследований являются развивающиеся открытые системы, находящиеся в неравновесном состоянии относительно окружающей среды. Любая развивающаяся система в процессе своей жизнедеятельности стремится в кратчайшие сроки приспособиться к новым условиям. Во время беременности в организме женщины происходят значительные физиологические изменения, которые обеспечивают правильное развитие плода, подготавливают организм к предстоящим родам и кормлению. Состояние здоровья ребенка в период внутриутробного развития тесно связано со здоровьем и психологическим комфортом его матери, который в свою очередь определяется благополучным состоянием женщины во время беременности и родов. В связи с этим все большую актуальность приобретает разработка математических методов и интеллектуальных систем для выявления отклонений в состоянии здоровья матери в период беременности и своевременного принятия профилактических, организационных решений. Традиционные методы исследования адаптационных характеристик человека позволяют оценить динамику лишь отдельных параметров организма, но вследствие влияния большого числа неучтенных факторов, вариабельности параметров в “норме”, невысокой точности неинвазивных методик дают достоверный результат только при значительных отклонениях. Учесть характер изменения состояния организма либо вовсе не удастся, либо удастся лишь на уровне вербальных качественных заключений. В данной работе представлены результаты применения энтропийных методов моделирования сложных систем при решении задачи оценки адаптационных возможностей беременных женщин.

Таблица 1

Распределение типов адаптационных стратегий беременных женщин по клиническим группам

Тип кривой	К	С	О
Адаптивный	16 %	11 %	64 %
Компенсированный	39 %	38 %	20 %
Декомпенсированный	42 %	16 %	15 %
Деадаптивный	3 %	35 %	1 %

Таблица 2

Распределение типов адаптационных стратегий детей

Тип кривой	К	С	О
Адаптивный	6 %	–	41 %
Компенсированный	40 %	48 %	43 %
Декомпенсированный	13 %	10 %	6 %
Деадаптивный	24 %	40 %	–
Гиперкомпенсированный	17 %	2 %	10 %

Материалы и методы исследования. Важной особенностью развивающихся систем является их гибкость, под которой понимается способность к структурной адаптации системы в ответ на внешние и внутренние воздействия, способность к регулированию, к изменению своих характеристик и условий. Под регулированием будем понимать коррекцию информативных признаков по наблюдениям за поведением системы во времени с целью возвращения ее в стабильное состояние. С этой целью изучены данные о состоянии здоровья 298 беременных женщин в возрасте от 18 до 44 лет, наблюдавшихся в женской консультации № 1 г. Томска. В зависимости от результатов первичного обследования все обследованные женщины были разделены на три группы.

Контрольную группу (К) составили практически здоровые беременные женщины, для которых не проводились оздоровительные мероприятия, и их дети в возрасте от 0 до 7 лет.

Группу сравнения (С) составили беременные женщины, имевшие соматические заболевания, для которых не проводился комплекс оздоровительных мероприятий, а также их дети в возрасте от 0 до 7 лет.

Основную группу (О) составили беременные женщины, имевшие соматические заболевания, для которых проводились различные оздоровительные мероприятия (физические упражнения, дыхательная гимнастика, аквагимнастика, музыкальная релаксация), и их дети в возрасте от 0 до 7 лет.

Для получения количественных характеристик процесса адаптации вводились энтропийные показатели состояния биосистемы [1, 2], позволяющие оценивать не абсолютные значения физиологических (или любых других) характеристик состояния организма, а характер их изменения под воздействием внешних факторов или условий.

Данный подход использовался при решении следующих прикладных задач: оценка состояния адаптированности нефтяников в условиях вахты [1] и студентов-первокурсников в условиях “вхождения” в учебный процесс [3]; оценка состояния организма на основе анализа результатов функциональных проб [3, 4]; диагностика состояния новорожденных в раннем неонатальном периоде [3]; слежение за динамикой состояния организма человека в послеоперационном периоде [5].

Для оценки адаптационных возможностей беременных женщин применялись функциональные дыхательные нагрузочные тесты (задержка дыхания на вдохе и выдохе), а для детей проведено исследование показателей сердечно-сосудистой системы. Анализ полученных с помощью информационного критерия кривых $I_{тр}$ с использованием кластерного анализа позволил выделить: для беременных женщин — четыре эталонных типа адаптационных стратегий, для детей — пять эталонных типов. Распределение типов адаптационных стратегий по клиническим группам, полученное при обследовании беременных женщин и детей, представлено в табл. 1, 2 соответственно.

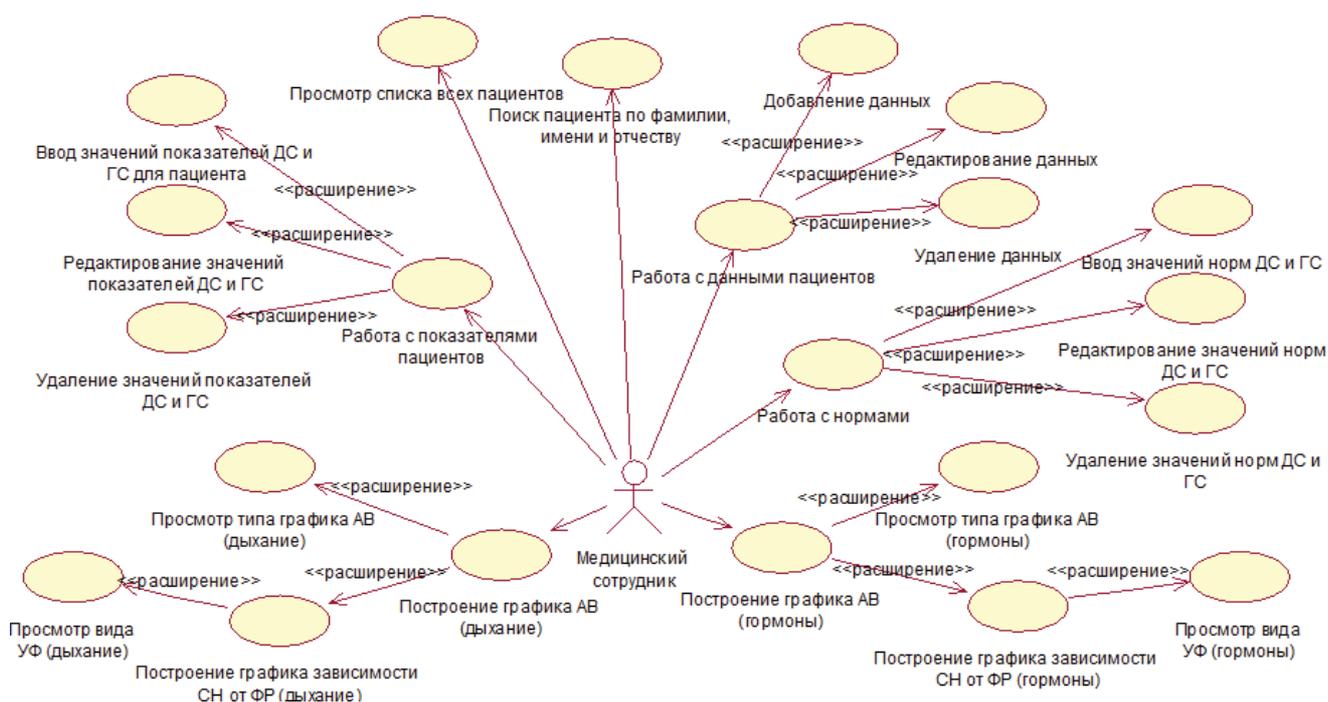


Рис. 1. Диаграмма прецедентов

Следует отметить, что согласно результатам исследования у 123 детей основной группы наблюдались преимущественно компенсаторные (53 %) и адаптивные (41 %) типы адапционных кривых. Кроме того, у большинства детей этой группы наблюдались высокие значения функционального резерва при достаточно низкой степени напряжения (73 %). В то же время у 40 детей, для матерей которых не проводились оздоровительные мероприятия, имели место компенсаторные (48 %) и дезадаптивные (40 %) типы при низких (63 %) функциональных резервах и максимальной (100 %) степени напряжения функциональных систем организма. Результаты исследования показали, что на адапционные типы кривых, описывающих адапционное поведение функциональных систем организма детей, оказывает влияние состояние здоровья матери. В группах детей, имеющих дезадаптивные типы, заболевания матерей на фоне беременности встречались чаще, чем в группе с адаптивными и компенсаторными типами.

Реализация информационного критерия в интеллектуальной системе. Для оценки адапционных возможностей женщин и их детей целесообразно создание интеллектуальной системы, способной оперативно проводить оценку уровня функционирования организма женщины в период беременности с целью предупреждения заболеваний как у матери, так и у ребенка.

Проектирование системы осуществлялось с использованием языка UML, обеспечивающего поддержку всех этапов жизненного цикла информационной системы и предоставляющего для этих целей ряд графических средств — диаграмм.

Интеллектуальная система разрабатывалась с учетом требований экспертов, которые отражены на диаграмме прецедентов (или вариантов использования) — обобщенной модели функционирования системы в окружающей среде (рис. 1). Система содержит следующие модули (программные компоненты):

- модуль формирования базы данных автоматизированной системы;
- модуль оценки степени адаптации организма женщины на основе математического

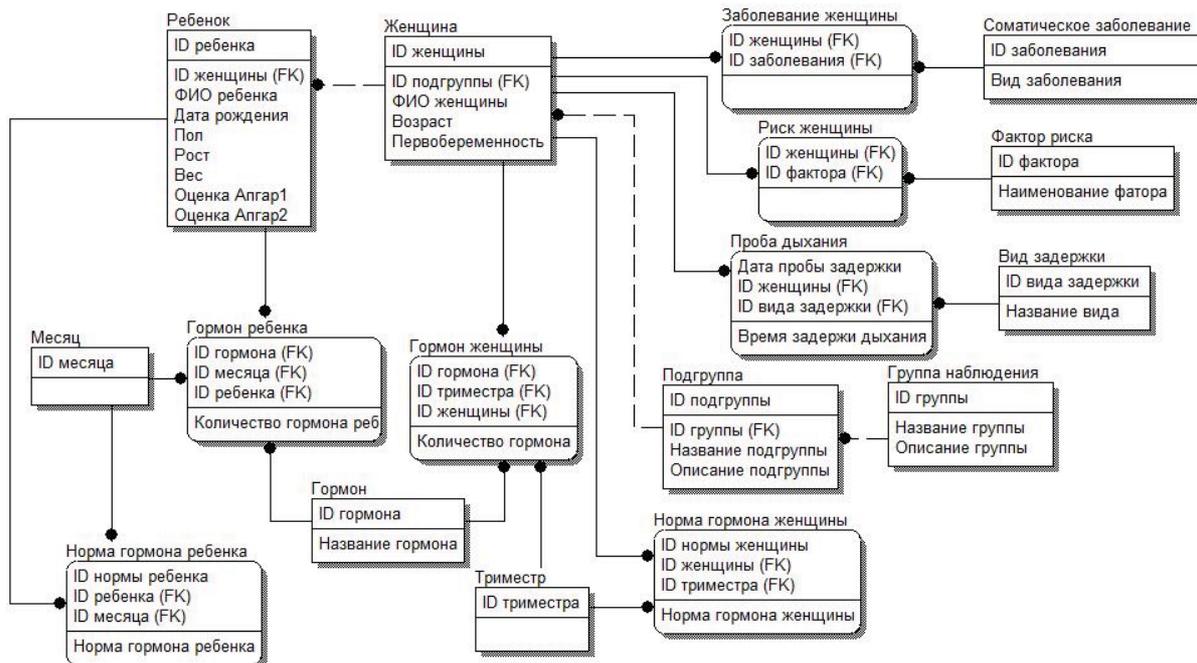


Рис. 2. Схема данных

анализа динамики показателей дыхательной системы и показателей гормонального статуса крови;

— модуль оценки уровня функционирования организма женщины на основе показателей степени напряжения и функциональных резервов организма;

— модуль визуализации результатов исследования (построение адаптационных стратегий, аппроксимирующих кривых, а также зависимости функциональных резервов от степени напряжения организма);

— математический модуль, содержащий алгоритмы аппроксимации, интерполяции, численного интегрирования, решения систем линейных уравнений.

Программный комплекс разработан таким образом, что каждый функциональный модуль имеет возможность работы в двух режимах:

- 1) в автономном режиме как отдельное приложение для решения конкретной задачи;
- 2) в составе интегрированной программной среды, предназначенной для комплексной диагностики здоровья беременных женщин.

Модуль формирования базы данных автоматизированной системы. База данных интеллектуальной системы спроектирована с использованием СУБД Microsoft Access. Для моделирования структуры данных использовалась ER-диаграмма (диаграмма сущность — связь), построенная в соответствии со стандартом IDEF1X, который применяется в CASE-системе ERWin. Данная ER-диаграмма представлена на рис. 2. На данной схеме представлены сущности “Женщина” и “Ребенок”, связанные неидентифицирующей связью 1:М. Эти сущности являются основными, все остальные сущности зависят от них. “Заболевание женщины”, “Риск женщины”, “Проба дыхания”, “Подгруппа”, “Норма гормона женщины”, “Гормон женщины” непосредственно связаны с сущностью “Женщина”, а “Гормон ребенка” и “Норма гормона ребенка” — с сущностью “Ребенок”.

Модуль оценки степени адаптации. Данный модуль реализован с помощью подпрограммы AdaptationEval. Подпрограмма включает четыре блока: обработка информации, графич-

ческое представление данных, определение типа адаптационной кривой, вывод промежуточного результата диагностики. На вход данного модуля поступают показатели дыхательной системы и показатели гормонального спектра крови беременной женщины.

Первый блок позволяет осуществить обработку поступающих в программу данных. С помощью интегральных критериев рассчитывается значение степени отклонения состояния женщины от нормального (от значения математического ожидания и среднеквадратичного отклонения, принятых в качестве “нормы”). Полученные данные сохраняются и записываются в базе данных системы. Эта процедура повторяется столько раз, сколько раз проходит обследование беременная женщина.

Второй блок подпрограммы позволяет вывести на экран монитора график функции $I_{\text{тр}}(t)$, на котором по оси абсцисс откладывается срок беременности, в течение которого проводилось измерение, а по оси ординат — значения $I_{\text{тр}}(t)$. Построенный таким образом график функции $I_{\text{тр}}(t)$ отражает изменение адаптационных возможностей организма женщины в течение всего периода беременности.

Третий блок позволяет осуществить аппроксимацию построенных функций $I_{\text{тр}}(t)$ с помощью полиномиальной функции $at^2 + bt + c$, интерполяцию этой функции с использованием метода кубических сплайнов и типизацию степени адаптации построенной функции. С этой целью в данном блоке был реализован метод наименьших квадратов и кубических сплайнов.

Программы, реализованные в четвертом блоке, предназначены для графического отображения адаптационных кривых и текущего функционального состояния организма.

Модуль оценки уровня функционирования. Программа LevelFunc позволяет оценить уровень функционирования организма, руководствуясь оценкой степени напряжения и оценкой функциональных резервов организма беременной женщины, рассчитываемых на основе все того же интегрального критерия. Программа построена по блочному принципу (так же как и программа AdaptationEval) и включает несколько блоков: обработка информации, графическое представление данных (зависимость функциональных резервов от степени напряжения), определение типа адаптации функционирования организма.

Управление действиями системы осуществляется несколькими альтернативными способами: с помощью панели меню или с использованием “горячих клавиш”.

Интуитивно понятный интерфейс пользователя не требует знания специальных возможностей операционной системы и ориентирован на пользователей различной квалификации.

При запуске исполняющего файла MainPrjs.exe на экране появляется первая форма автоматизированной системы, которая имеет ряд кнопок (“Карточки”, “Справочники” и “Выход”) и панель меню, содержащую ссылки на все основные команды (рис. 3). В верхней части окна расположены поля поиска. Представленная в верхней части данной области стандартная панель инструментов позволяет легко перемещаться по записям, добавлять, изменять или удалять их. Справа указаны данные по обследуемой женщине: фамилия, имя, отчество, возраст, первобеременность, перенесенные заболевания и факторы риска.

На рис. 4 представлены диалоговые окна редактирования экспериментальных данных. Кнопки “Вдох/Выдох” и “Гормоны” вызывают появление новых окон для добавления показателей дыхательных тестов и гормонального спектра крови соответственно. Существует возможность добавлять, изменять или удалять соответствующие показатели. После нажатия на кнопку “Оценка дыхания” открывается окно с двумя вкладками (рис. 5). На первой вкладке “Интегральный критерий” представлен график адаптационной кривой, построенной по показателям дыхательной системы; на вкладке “Уровень функционирования” — отображение функционального состояния беременной женщины в виде точки в координатах ФР–СН

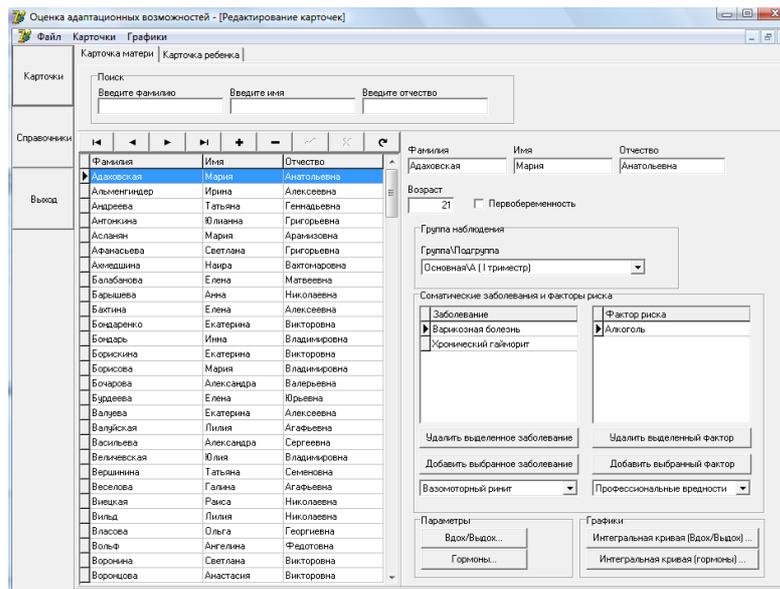


Рис. 3. Оценка адаптационных возможностей организма женщин

(ФР — функциональный резерв, СН — степень напряжения). Аналогично могут быть получены адаптационные характеристики для любого набора физиологических показателей.

Заключение. Представленный в работе подход к оценке состояния здоровья беременных женщин и их детей, основанный на информационном критерии, является универсальным и позволяет выявить общие для различных стрессовых факторов закономерности формирования адаптивного состояния. Количественные характеристики информационного критерия позволяют с высокой достоверностью оценить функциональный резерв и степень напряжения как организма в целом, так и его отдельных подсистем.

Апробация интеллектуальной системы на специальных тестовых задачах и задачах выявления отклонений в состоянии здоровья беременных женщин и их детей показала, что качество решения, полученного по алгоритмам, в основе которых лежит методика построения

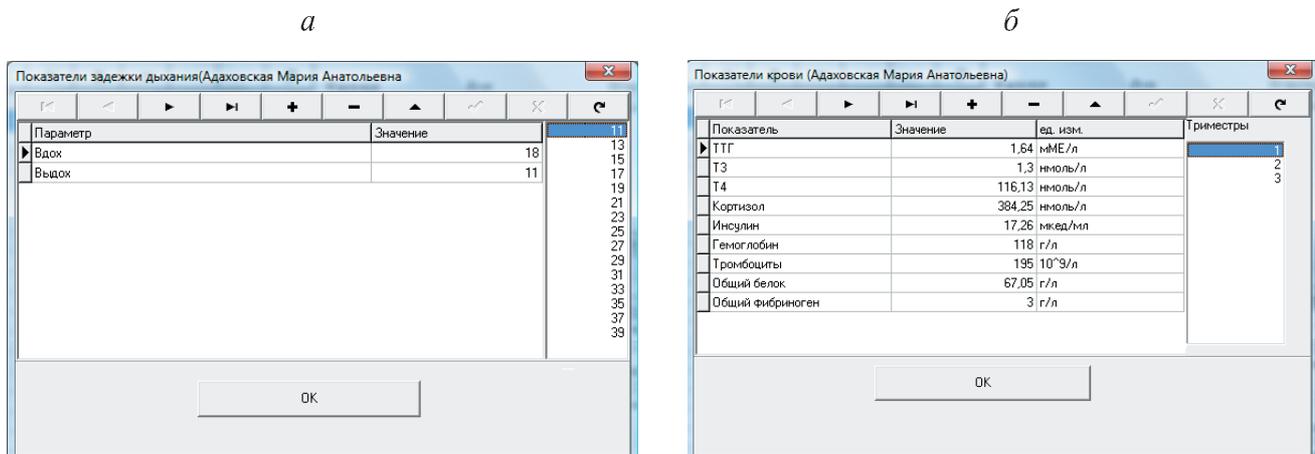


Рис. 4. Показатели задержки дыхания (а) и крови (б) у беременной женщины

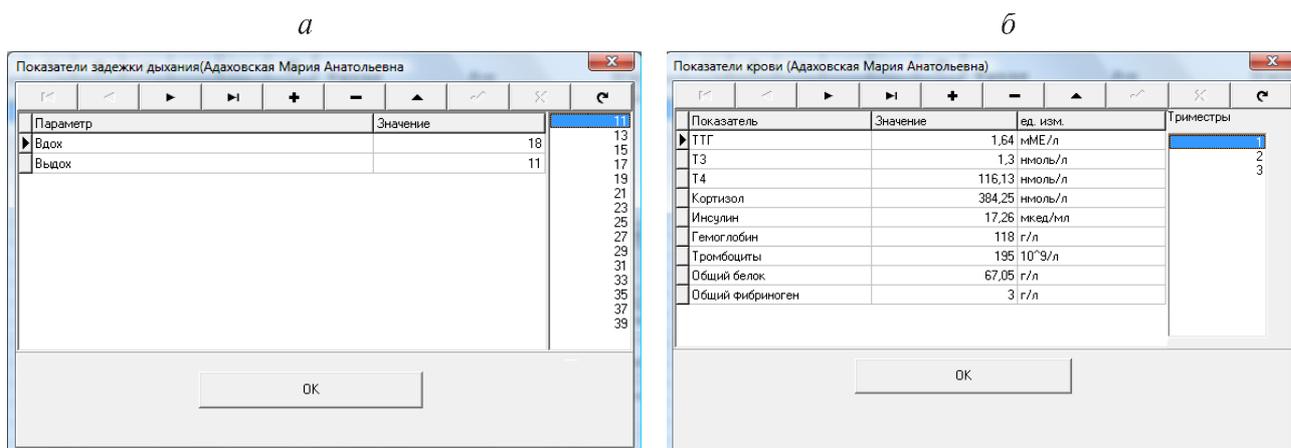


Рис. 5. Адаптационная кривая (а) и графическое отображение текущего функционального состояния (б) беременной женщины

адаптационной функции на основе информационных критериев, удовлетворяет требованиям практического врача.

Список литературы

1. РОТОВ А. В. Адаптационные характеристики человека (Оценка и прогнозирование) / А. В. Ротов, Я. С. Пеккер, М. А. Медведев, О. Г. Берестнева. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1997. 132 с.
2. РОТОВ А. В., БЕРЕСТНЕВА О. Г., ПЕККЕР Я. С. Оценка функционального состояния организма человека с применением интегральных критериев энтропийного типа // Сиб. психол. журн. 1996. Вып. 2. С. 68–69.
3. БЕРЕСТНЕВА О. Г., ГЕРГЕТ О. М., ШАРОПИН К. А. Моделирование адаптационных стратегий организма человека // Интеллектуальные системы (IEEE AIS'04). Интеллектуальные САПР (CAD-2004): Тр. Междунар. науч.-техн. конф. М.: Физматлит, 2004. Т. 2. С. 236–240.
4. БЕРЕСТНЕВА О. Г., КАРПОВ Г. А., ПЕККЕР Я. С. Оценка функционального состояния беременных женщин по данным ортостатической пробы // Медико-биол. аспекты нейрогуморальной регуляции. 1994. Вып. 3. С. 4–6.
5. БЕРЕСТНЕВА О. Г., ЦХАЙ В. Ф., ПЕККЕР Я. С. Применение интегральных критериев для оценки послеоперационного состояния при механических желтухах паразитарной природы // Медико-биол. аспекты нейрогуморальной регуляции. 1994. Вып. 3. С. 8–9.

Гергет Ольга Михайловна — канд. техн. наук, доц. Института кибернетики ТПУ;
тел. (3822) 42-61-00; e-mail: OlgaGerget@mail.ru;

Берестнева Ольга Григорьевна — д-р техн. наук,
проф. Томского политехнического университета,
доц. Сибирского государственного медицинского университета;
тел. (3822) 42-61-00; e-mail: ogb@tpu.ru;

Пеккер Яков Семенович — канд. техн. наук, зав. кафедрой
Сибирского государственного медицинского университета,
проф. Томского политехнического университета;
тел. (3822) 42-09-52; e-mail: pekker@ssmu.ru

Дата поступления — 07.02.11 г.