

*На правах рукописи*



**АЛЕКСАНДРОВ**  
**Алексей Борисович**

**ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА  
МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ, ОЦЕНКИ АДАПТАЦИОННОГО  
ПОТЕНЦИАЛА И РИСКА РАЗВИТИЯ АРТЕРИАЛЬНОЙ  
ГИПЕРТЕНЗИИ У СТУДЕНТОВ ВУЗА**

14.00.33 – общественное здоровье и здравоохранение

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Екатеринбург - 2008

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ижевский государственный технический университет»

**Научный руководитель:** доктор медицинских наук  
Пономарев Сергей Борисович

**Официальные оппоненты:** доктор медицинских наук, профессор  
Леонтьев Сергей Леопольдович

доктор медицинских наук, доцент  
Попова Наталья Митрофановна

**Ведущая организация:** ФГУ «Центральный НИИ организации и информатизации здравоохранения»,  
г. Москва

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2008 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д. 004.027.01 при Институте иммунологии и физиологии Уральского отделения Российской академии наук по адресу: 620049, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 106.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке УрО РАН (620219, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской-Академическая, д. 22/20), с авторефератом – на сайте Института иммунологии и физиологии УрО РАН – <http://www.iip.uran.ru>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2008г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор медицинских наук  
профессор



И.А. Тузанкина

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Сохранение и укрепление здоровья учащейся молодежи являются приоритетными задачами общества и государства [А.Г. Ильин и др. 1999; Л.А. Щеплягина, 2002]. На состояние здоровья подрастающего поколения оказывает влияние сложный комплекс разнообразных факторов [Е.П. Усанова, 1999; А.П. Спицин, 2007], среди которых особое место принадлежит учебной нагрузке, связанной с интенсивной умственной деятельностью, нарушением режима труда и отдыха, гиподинамией, стрессовыми ситуациями. В этой связи во многих странах мира студенчество как социальная группа, подверженная опасности развития многих болезней, выделено в отдельную группу риска. Следует отметить, что на сегодня лишь 9 % выпускников общеобразовательных учреждений России могут быть признаны здоровыми [Т.П. Калашникова и др., 2001], а распространенность среди молодежи разнообразных болезней и функциональных расстройств превышает 50 % [О.В. Шарапова и др., 2004].

В последние годы Президент и Правительство Российской Федерации уделяют проблемам здоровья подрастающего поколения все больше внимания. В стране приняты и действуют национальные проекты «Здоровье» и «Образование». Вместе с тем, реализация планов укрепления здоровья молодежи до сих пор сталкивается со многими трудностями, преодолеть которые невозможно без создания системы мониторинга и управления, обеспечивающей интеллектуальную поддержку врача-организатора [Ю.В. Михайлова, Г.С. Лебедев, 2006; В.К. Гасников и др., 2006; Л.А. Сковердяк и др., 2007]. При этом для молодого возраста необычайно важна не просто констатация наличия заболеваний, а прогноз и определение риска развития таковых, оценка уровня адаптационных возможностей организма.

Одной из значительных проблем здоровья подрастающего поколения является высокая распространенность артериальной гипертензии (АГ), вопросы диагностики, профилактики и лечения которой являются актуальными в связи с ее тяжелыми жизнеугрожающими последствиями. Доказано, что ведущим фактором возникновения и прогрессирования АГ являются значительные эмоциональные и умственные перегрузки, которыми сопровождается процесс обучения в вузе [Э.М. Казин и др.,

1999; В.А. Бароненко и др., 2003; А.В. Смирнов, 2003; С.В. Булатецкий, 2003]. Адаптация к комплексу условий, специфичных для интенсивного обучения, представляет собой сложный социально-психофизиологический процесс и сопровождается напряжением компенсаторно-приспособительных систем организма, способствующим развитию АГ [N.I. Shlyk et al., 1998; N.I. Shlyk, E. Sapoznikova, 1998; И.Н. Гаврилова, Н.П. Горбунов, 2003]. Так, в состоянии умеренного и выраженного стресса, обусловленного учебной нагрузкой, находятся от 20 % до 32 % учащихся. А «гипертензивные состояния» наблюдаются у половины учащихся [А.А. Шеломатов, Л.Ф. Игнатова, 2003]. Представляется, что в качестве интеллектуальной поддержки врача в решении проблемы идентификации риска АГ могут выступить современные информационные технологии, в частности – системы «искусственного интеллекта».

**Цель работы:** научное обоснование и создание информационно-аналитической системы мониторинга здоровья студентов с разработкой новых методов оценки адаптационного потенциала организма и определения риска развития артериальной гипертензии.

### ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Научно обосновать и создать информационно-аналитическую систему мониторинга и оценки здоровья студентов высшей школы.
2. Разработать систему оценки риска развития артериальной гипертензии у студента вуза.
3. Оценить состояние здоровья студентов, оздоравливаемых в санатории-профилактории Ижевского государственного технического университета.
4. Разработать новый метод определения адаптационного потенциала организма молодого человека, удовлетворяющего требованиям надежности, доступности и простоты в выполнении.
5. Внедрить указанные методы в практическую деятельность медицинских подразделений вуза.

**Научная новизна.** Впервые была создана информационно-аналитическая система (ИАС) мониторинга здоровья учащихся вуза с применением разработанного в

Ижевском государственном техническом университете (ИжГТУ) оригинального концептуального подхода, использующего передовые информационные технологии – систему управления ресурсами предприятия (ERP-система) (акт внедрения № 01/1412). Авторами использовались методы оптимизации с применением генетических алгоритмов на основе положений теории нечеткой логики – аппарат искусственных нейронных сетей. Доказана высокая информативность разработанной системы мониторинга здоровья студентов, определения риска артериальной гипертензии и оценки адаптационного потенциала организма. Доказана связь между особенностями формирования АГ в молодом возрасте и индивидуальным типом вариабельности сердечного ритма (ВСР). Разработан и практически апробирован новый индекс оценки адаптационных ресурсов организма (патент на изобретение № 2248747 от 27.03.2005 г.). Оценено состояние здоровья студентов, оздоравливаемых в санатории-профилактории ИжГТУ, разработан алгоритм оздоровительных мероприятий. Продемонстрирована возможность эффективного применения информационных технологий в медицинской практике.

**Практическая значимость работы.** Разработанная информационно-аналитическая система мониторинга здоровья студентов может быть использована для динамической оценки валеологической ситуации в среде студенчества, обеспечения управления, обратной связи и принятия решений при анализе здоровья студентов. Ведение единой электронной базы помогает в обеспечении профилактических и лечебных мероприятий в медицинских подразделениях вуза.

Модуль данной системы, использующий аппарат искусственной нейронной сети, может быть применен для определения адаптационного ресурса организма и риска развития АГ в условиях студенческой поликлиники. Использование системы мониторинга артериального давления (АД) и ряда клинических параметров позволяет идентифицировать лиц, склонных к повышению АД, и проводить своевременные лечебные и профилактические мероприятия. Разработанный новый индекс оценки эффективности гемодинамики может быть использован для анализа адаптации организма молодого человека. Предложенный алгоритм оздоровительных мероприятий может быть применен в условиях специализированного студенческого санатория.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Использование созданной информационно-аналитической системы позволяет обеспечить динамическую оценку валеологической ситуации в среде студенчества, управление, обратную связь и принятие решений при анализе здоровья студентов.

2. Разработанный алгоритм обследования и модуль информационно-аналитической системы, определяющий склонность к развитию артериальной гипертензии, повышают эффективность работы студенческой поликлиники.

3. Для определения тенденции к повышению артериального давления у лиц молодого возраста целесообразно использование аппарата «искусственного интеллекта» – искусственной нейронной сети.

4. Новый метод оценки адаптационного потенциала организма молодого человека (патент на изобретение № 2248747 от 27.03.2005) повышает качество диагностики в условиях студенческой поликлиники.

5. Разработанный алгоритм оздоровительных мероприятий целесообразно применять в работе специализированного студенческого санатория.

**Апробация работы.** Результаты исследований доложены на Российском национальном конгрессе кардиологов «От исследований к стандартам лечения» (Москва, 2003), III Международном симпозиуме «Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение» (Ижевск, 2003), I Конгрессе кардиологов стран СНГ (Москва, 2003), научно-практической конференции «Пути снижения заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний» (Москва, 2003), IV Международном симпозиуме «Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия» (Санкт-Петербург, 2004), X Всероссийском съезде сердечно-сосудистых хирургов (Москва, 2004), Российском национальном конгрессе кардиологов «Российская кардиология: от центра к регионам» (Томск, 2004), V Международном симпозиуме «Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия» (Санкт-Петербург, 2006), Российской научно-практической конференции с международным участием «Развитие информационных технологий и проблемы управления здоровьем и здравоохранением» (Ижевск, 2006), научно-практической

конференции «Проблемы энерго- и ресурсосбережения и охраны окружающей среды» (Ижевск, 2007), круглом столе «Медицинские информационные технологии» (Ижевск, 2007), на совместных клинических конференциях сотрудников кафедр госпитальной терапии, внутренних болезней и военно-полевой терапии, кафедры терапии с курсом поликлинической терапии факультета последипломной подготовки ИГМА, заседаниях кафедр «Информационные системы» и «Инженерная экология» ИжГТУ.

**Внедрение в практику.** Результаты исследований внедрены в практику работы медицинских подразделений ИжГТУ (акт внедрения № 01/1411). Методические рекомендации «Информационно-аналитическая система «Электронная поликлиника», содержащие ряд выводов из настоящей работы, рекомендованы к внедрению в практику лечебно-профилактических учреждений Министерства здравоохранения Удмуртской Республики. Основные положения диссертации используются в учебном процессе и в научно-исследовательской деятельности на кафедрах «Информационные системы» и «Инженерная экология» ИжГТУ (акт внедрения № 01/1415 и акт внедрения № 01/1412).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 18 работ (в том числе 1 монография, 7 работ в реферируемых ВАК изданиях), получен патент на изобретение.

**Объем и структура работы.** Объем диссертации – 130 страниц. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы, приложения, содержит 24 таблицы, 20 рисунков. Список литературы содержит 263 наименования (183 отечественных и 80 зарубежных изданий).

### **Содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность исследования, определены цель и задачи, изложены новизна и практическая значимость работы, даны сведения о внедрении результатов в практику и в учебный процесс, сформулированы положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен обзор литературы, посвященный анализу подходов к оценке здоровья, адаптационного потенциала организма и риска развития ар-

териальной гипертензии у студентов вуза. Сделан вывод о существовании ряда объективных трудностей, связанных с практической реализацией задачи сохранения и укрепления здоровья подрастающего поколения.

**Вторая глава** посвящена материалам и методам исследования. Было обследовано 483 человека (студенты различных курсов ИжГТУ и школьники старших классов ряда школ г. Ижевска). Работы проводились на основе информированного согласия испытуемых, в соответствии с международными этическими требованиями ВОЗ (Женева, 1993).

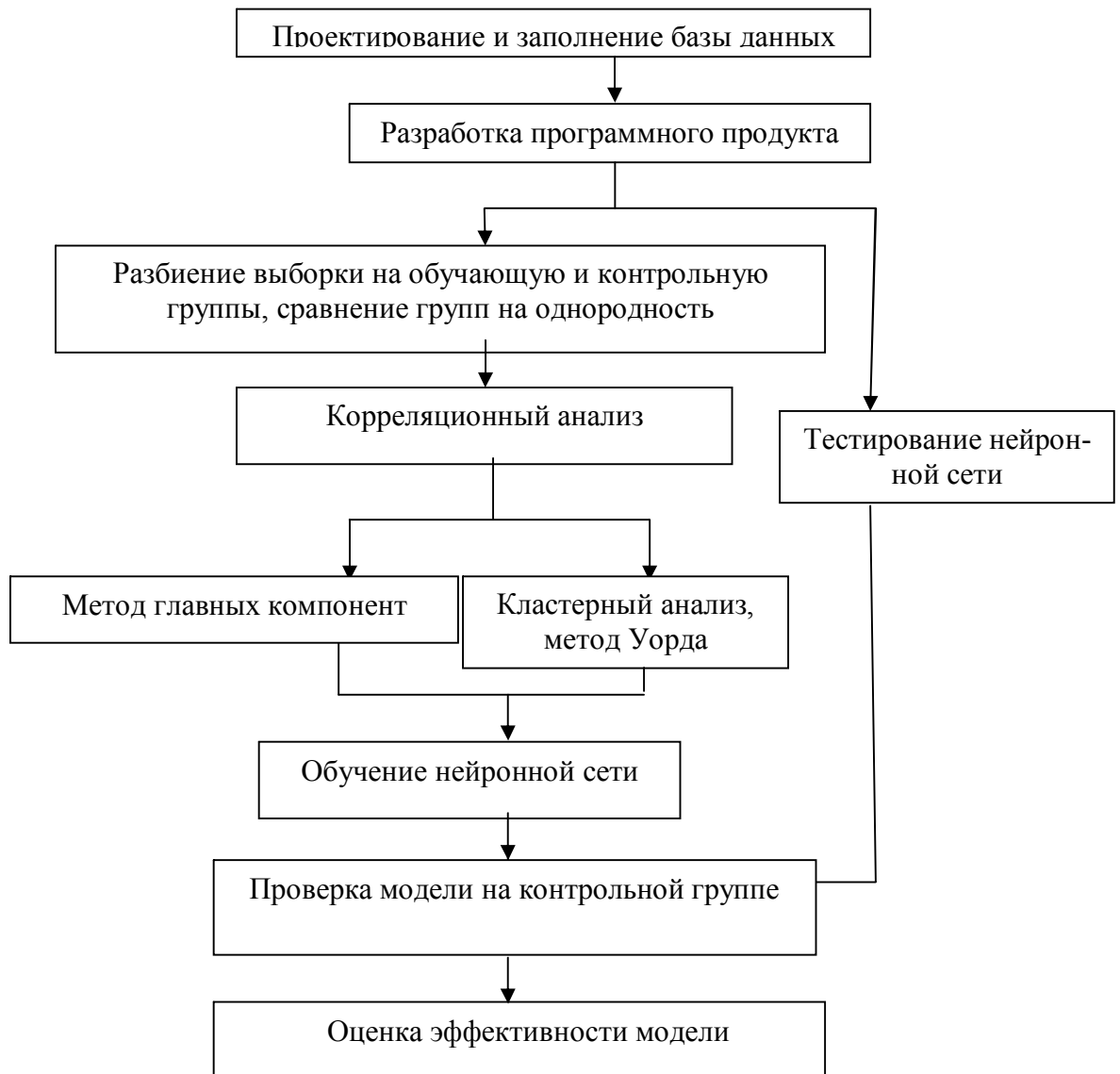
С применением средств Borland Delphi 7.0 и реляционной системы управления базами данных СУБД MS SQL Server 2000 была разработана информационно-аналитическая система, которая позволяет: 1) вести единую базу данных о проведенных обследованиях; 2) при необходимости корректировать информацию; 3) обеспечивать ведение необходимой статистики; 4) обеспечивать мониторинг, управление и обратную связь в ходе контроля здоровья студентов. В исследовании был применен оригинальный алгоритм, использующий аппарат математического компьютерного моделирования, обучение искусственной нейронной сети, а также приемы многомерной статистической обработки данных: методы корреляционного, дисперсионного, регрессионного, кластерного и факторного анализа (рисунок 1).

В ходе опытной эксплуатации информационно-аналитической системы (ИАС) было обследовано 226 человек (средний возраст –  $18,5 \pm 0,8$  лет, 110 юношей, 116 девушек, все обследованные – студенты ИжГТУ). Молодые люди прошли осмотр окулиста, невропатолога, терапевта, психолога, гастроэнтеролога, ряд лабораторных и функциональных исследований.

При разработке системы оценки риска развития артериальной гипертензии было обследовано 230 человек. Возраст обследуемых – от 13 до 23 лет (средний возраст –  $18,7 \pm 2,1$  лет). Группа состояла из 190 студентов различных курсов ИжГТУ, а также 40 школьников старших классов ряда школ г. Ижевска. Выбор испытуемых проводился методом случайной выборки среди учащихся, ранее не имевших диагноза «артериальная гипертензия». Был разработан алгоритм, включающий психологическое тестирование с определением уровня тревожности по



шкале Спилбергера, наличия пограничных психических расстройств и вегетативных нарушений, минимум трехкратное измерение АД, оценку ВСР, велоэргометрии (ВЭМ), в ходе которой определялся предложенный в работе и зарегистрированный государственно-патентным путем индекс оценки эффективности гемодинамики (ИОЭГ). Лицам со склонностью к повышению АД назначались консультации «узких» специалистов: офтальмолога, невропатолога, терапевта. Группа, участвующая в данном исследовании была разбита на 2 выборки: «обучающую» (196 человек) и «контрольную» (34 человека) случайным образом.



**Рисунок 1 – Алгоритм описываемого исследования**

Для оценки адаптационного потенциала организма была обследована группа молодых людей из 27 человек – здоровых студентов ИжГТУ (средний возраст –

20,96 ± 0,25 лет). Группа состояла из 23 девушек и 4 юношей. В группе последовательно проведены исследование ВСП и ВЭМ.

Анализ variability сердечного ритма осуществлялся с помощью диагностической системы «Валента» (Санкт-Петербург) в соответствии со стандартами совместного заседания Европейского общества кардиологов и Северо-американского общества электростимуляции и электрофизиологии (1996). ВЭМ осуществлялась по стандартной ступенеобразной нарастающей методике на аппаратах фирмы Monarch (Швеция) в положении сидя со снятием ЭКГ в отведениях по Небу.

При проведении нагрузочного теста дополнительно рассчитывались экономичность работы сердца [А.Н. Малышева, Г.Б. Масленников, 1977], коэффициент расходования резервов миокарда [В.Д. Чурин, 1977], индекс энергетических затрат на величину выполненной работы [Б.М. Липовецкий, 1985], показатель пульсового предела толерантности [А.Н. Преварский, 1985], индекс Ватт-пульс [А.Г. Дембо, Э.В. Земцовская, 1989], пульсовая стоимость работы [А.Г. Дембо, Э.В. Земцовская, 1989], индекс давление-пульс [А.Г. Герсалия, 1991], хронотропный резерв сердца (ХРС), инотропный резерв сердца (ИРС), двойное произведение, произведение резервов [С.Б. Пономарев, 1997]. Также был проанализирован зарегистрированный государственно-патентным методом новый показатель функционального состояния организма (патент на изобретение № 2248747 от 27.03.2005 г.) – индекс оценки эффективности гемодинамики (ИОЭГ).

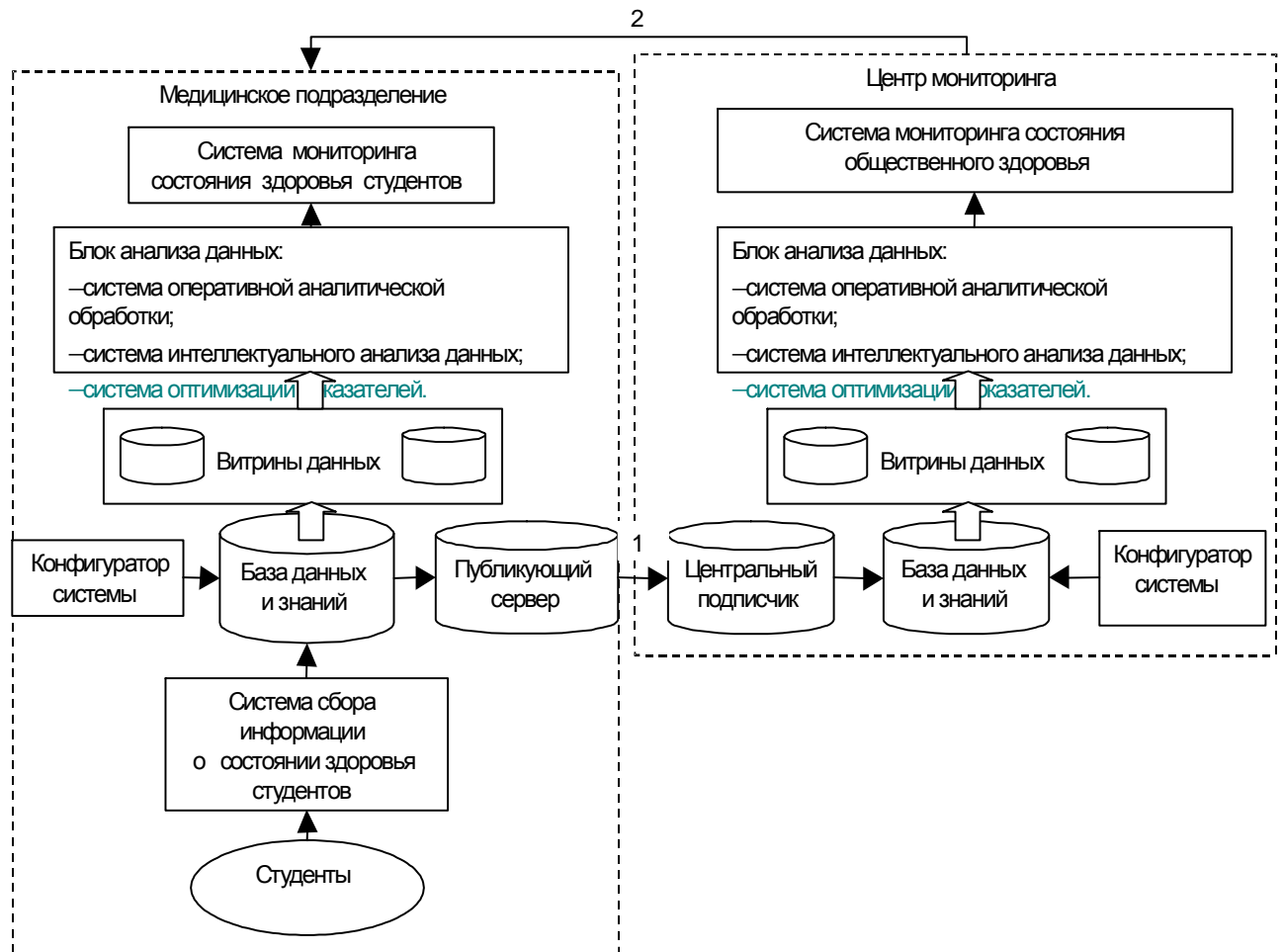
**Третья глава** посвящена анализу работы созданной ИАС, касающейся оценки здоровья студентов, обследовавшихся в поликлинике и студенческом санатории-профилактории ИжГТУ. ИАС создавалась с участием кафедр «Высшая математика», «Информационные системы» и «Инженерная экология». При работе над ИАС впервые был использован современный подход, применяемый в ERP-системах (системы управления ресурсами предприятия) [М.М. Горохов и др., 2007]. Преимуществом указанных систем являются высокая эффективность и гибкость управления, возможность быстрого получения информации, обеспечение обратной связи. В ходе опытной эксплуатации ИАС было показано, что она позволяет обеспечить: 1) многопользовательское обращение к данным; 2) корректное хранение данных и выпол-

нение правил, регламентирующих связи между ними; 3) восстановление данных после сбоя системы. Структура данных ИАС предполагает, что каждое медицинское подразделение имеет собственную базу данных, которая посредством репликации собирается на центральном сервере «Центр мониторинга», обеспечивающем качественный контроль состояния общественного здоровья.

Для анализа информации использовались методы оптимизации с применением генетических алгоритмов на основе положений теории нечеткой логики. Использование данной системы позволило обеспечить создание и функционирование единой базы данных, ведение необходимой статистики, мониторинг, управление, обратную связь и принятие решений при медицинском контроле здоровья студентов.

Применение системы позволило автоматизировать труд врачей, упорядочить работу с информацией, ежемесячно формировать статистические отчеты, отражающие валеологическую ситуацию в динамике, как на отдельных факультетах, так и в университете в целом. ИАС позволяет оперативно получать информацию, составлять план диспансеризации и профилактических мероприятий (рисунок 2).

Анализ заболеваемости студентов, оздоравливаемых в санатории-профилактории ИжГТУ, проведенный в ходе опытной эксплуатации ИАС, показал, что среди обследованного контингента отмечается высокая распространенность ряда заболеваний и функциональных расстройств: нарушений осанки и болезней позвоночника (55,3 %), вегетососудистой дистонии (47,7 %), в том числе протекающей по гипертоническому типу (21,2 %), заболеваний глаз (миопия различной степени, ангиопатия сетчатки – 49,9 %), заболеваний желудочно-кишечного тракта (31,4 %), неврологической патологии (9,7 %). Обращает на себя внимание достаточно высокая распространенность неврозов (9,2 %), а также частые факты наличия у одного и того же студента нескольких заболеваний. В целом полученные данные свидетельствуют о неблагоприятной ситуации со здоровьем студентов, что говорит об актуальности разработки электронного сопровождения системы профилактических и лечебных мероприятий в вузе.



**Рисунок 2 – Структура информационно-аналитической системы**

Примечание: 1 – репликация базы данных; 2 – рекомендации, связанные с комплексной оценкой состояния здоровья в конкретном лечебном учреждении

**Четвертая глава** посвящена результатам работы системы, оценивающей риск АГ. Известно, что уровень АД является интегральной переменной, зависящей от множества параметров, характеризующих жизнедеятельность организма. В связи с имеющимися признаками биокибернетической системы (наличие интегральной функции отклика (цифры АД) и многоконтурной, иерархической системы аргументов) для решения поставленной задачи был выбран адекватный математический аппарат – искусственная нейронная сеть (ИНС) [М.Л. Минский, С. Пейперт, 1971; Ф. Уоссермен, 1992; С.Л. Оссовский, 2002; В.В. Круглов, В.В. Борисов, 2002]. Был создан специализированный программный комплекс, который предусматривал применение метода главных компонент, кластеризацию входных данных и возможность применения ИНС. Для определения точности обучения сети оценивались погрешно-

сти, коэффициенты корреляции между фактическими и моделируемыми значениями цифр АД для групп «обучения» и «контроля», а также проверялась значимость коэффициента корреляции при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . При кластерном анализе с использованием метода Уорда было получено 2 кластера (91 и 139 наблюдений). В первом кластере отмечалось существенное снижение таких показателей, как стандартное отклонение величин нормальных интервалов NN (SDNN), минимального и максимального расстояний между сердечными циклами, триангулярного индекса и некоторых других, что свидетельствовало в пользу симпатизации вегетативной регуляции. Во втором кластере прослеживалась склонность к повышению ряда показателей ВСП, говорившая об усилении вагусного влияния. Необходимо особо отметить, что уровень значимости при оценке достоверности различий для большинства анализируемых параметров ВСП в этих двух кластерах находился на отметке  $p < 0,001$ .

В отношении обоих кластеров был применен способ моделирования с использованием ИНС и метода главных компонент. Для наблюдений первого кластера с целью моделирования цифр систолического АД сеть была обучена по данным 60 наблюдений («обучающая» подгруппа первого кластера) с использованием искусственной нейронной сети со структурой, имеющей 20, 14, 3 и 1 нейрон в соответствующих слоях, и проверена на данных массива, состоящего из 31 наблюдения («проверочная» подгруппа первого кластера). При этом были получены значимый коэффициент корреляции ( $r = 0,71$ ) между фактическими и моделируемыми цифрами систолического АД в «проверочной» группе ( $p < 0,001$ ).

Для второго кластера обучение было проведено с использованием ИНС со структурой, имеющей 20, 14, 3 и 1 нейрон в соответствующих слоях. Сеть была обучена по данным 104 наблюдений (подгруппа «обучения» второго кластера) и проверена на «проверочной» подгруппе второго кластера (35 наблюдений). При этом также был получен значимый коэффициент корреляции ( $r = 0,68$ ) между фактическими и моделируемыми значениями цифр систолического АД в «проверочной» подгруппе второго кластера ( $p < 0,001$ ). Аналогичные вычисления были проведены для моделирования цифр диастолического АД (таблица 1).

Было отмечено, что при совместном применении кластерного анализа, метода главных компонент и искусственной нейронной сети наблюдалось существенное повышение информативности модели как для систолического, так и для диастолического АД (таблица 1).

**Таблица 1**

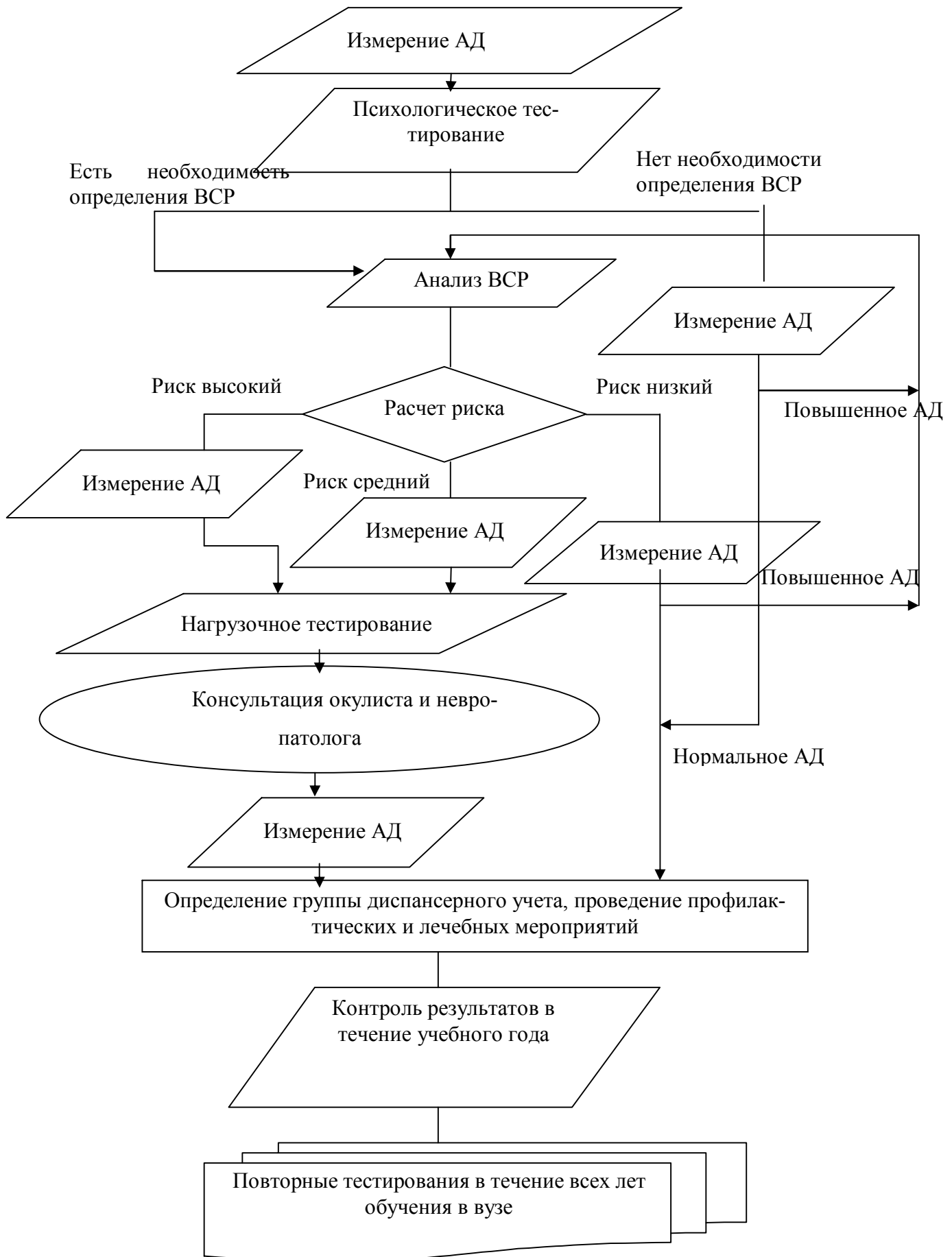
**Сравнительная эффективность различных математических подходов при решении поставленных в работе задач**

Математический подход	Корреляционный анализ	Метод нейронной сети	Метод нейронной сети + метод главных компонент	Метод нейронной сети + метод главных компонент + кластерный анализ
Систолическое АД	0,18–0,23	0,52	0,53	0,71 – первый кластер 0,68 – второй кластер
Диастолическое АД	0,14–0,22	0,51	0,56	0,74 – первый кластер 0,57 – второй кластер

Таким образом, использование описанного подхода позволяет повысить информативность анализа ВСР для прогноза динамики АД и определения склонности к АГ (рисунок 3).

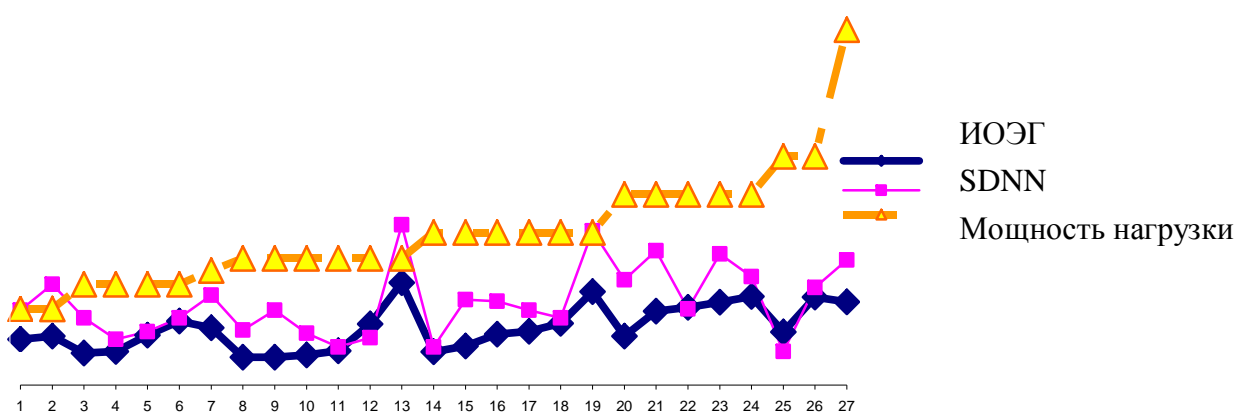
В группе ( $n = 226$ ), на которой была проведена апробация работы ИАС, на этапе рутинного медосмотра диагноз АГ был определен у 0,9 %. После проведения психологического тестирования отклонения, которые потенциально могут быть связаны с развитием АГ, были выявлены у 23,5 %, а при проведении анализа ВСР большинство студентов было отнесено к первому кластеру (54,8 %), что свидетельствовало о повышении риска развития АГ среди этих молодых людей. Применение ИНС позволило уточнить риск АГ и в соответствии с алгоритмом (рисунок 3) определить 11 % субъектов, наиболее склонных к повышению АД.

**Пятая глава** посвящена автоматизированной оценке адаптации организма молодого человека. На первом этапе было предложено высчитывать удельный прирост произведения ХРС и ИРС на единицу выполненной работы – индекс оценки эффективности гемодинамики (ИОЭГ) (патент на изобретение № 2248747 от 27.03.2005 г.), который интегрально отражает адаптационные возможности организма человека, свидетельствуя об эффективности расходования гемодинамических ресурсов на единицу выполняемой работы.



**Рисунок 3 – Алгоритм обследования студентов**

Исходя из концепции адаптации, разработанной Р.М. Баевским (1982), представляло интерес выяснить взаимосвязь между ВСР и предложенным индексом оценки гемодинамики при проведении ВЭМ. При проведении корреляционного анализа высокая значимая корреляция ИОЭГ была обнаружена с большинством параметров ВСР. С помощью факторного анализа удалось установить, что анализируемые параметры ВСР и ВЭМ не только взаимосвязаны, но и группируются в отдельные факторы, определяемые методом главных компонент. Показатели, сгруппировавшиеся в результате факторного анализа в два основных фактора, характеризуют различные по физиологической интерпретации явления: функциональные резервы и уровень функционирования систем. При этом первый фактор представлен параметрами ВСР, а второй – ВЭМ. Единственным параметром ВЭМ, который с достаточной факторной нагрузкой присутствовал в первом факторе, являлся ИОЭГ, что свидетельствует о его «особом» положении в ряду показателей ВЭМ. Как свидетельствуют полученные данные, согласующиеся с теоретическим обоснованием ИОЭГ, в клиническое значение этого параметра, в отличие от других, использующихся при анализе результатов велоэргометрии, величин, вложен не просто абсолютный «вес» функционального резерва адаптации, а относительный его расход, приходящийся на единицу мощности произведенной работы (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Сравнение показателей мощности нагрузки, ИОЭГ и SDNN**



Результатом проведенных исследований стала разработка регрессионной модели, в которой индекс адаптации представлял собой модельное значение ИОЭГ (ИОЭГ<sub>мод</sub>) в виде функции от ряда показателей ВСР, коррелирующих с ИОЭГ.

Формула имела следующий вид:

$$\text{индекс адаптации} = 25,892 - 0,17204 \cdot \text{SDNN} + 1,408 \cdot \text{CV} + 0,001 \cdot \text{TP} + 0,002 \cdot \text{HF} + 0,4 \cdot \text{pNN50},$$

где SDNN – стандартное отклонение величин нормальных интервалов NN;

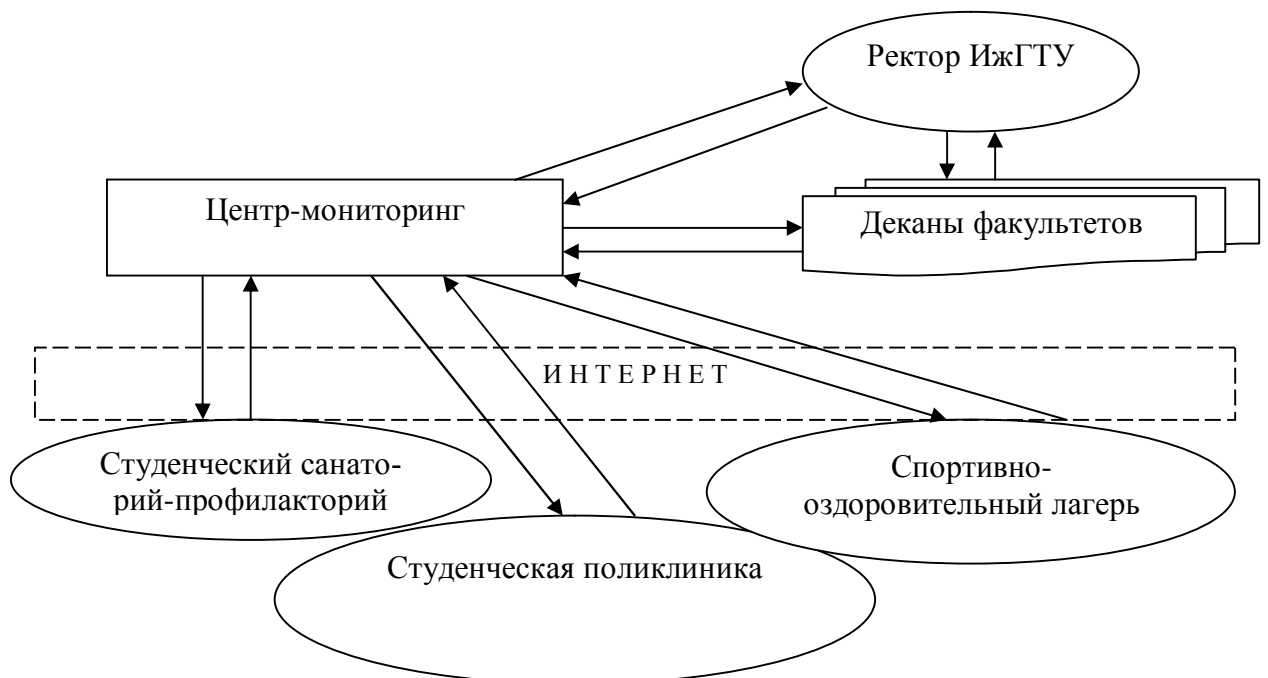
CV – коэффициент вариации;

TP – общая мощность спектра;

HF – быстрые (высокочастотные) волны;

pNN50 – процент (доля) последовательных интервалов NN, различие между которыми превышает 50 мс.

При этом был рассчитан коэффициент множественной корреляции  $R = 0,823$  и коэффициент детерминации  $R^2 = 0,67$ . Расчет параметра ИОЭГ также включен нами в модуль, использующийся в разработанной ИАС.



**Рисунок 5 – Система мониторинга здоровья студентов ИжГТУ**

В исследовании проведено шкалирование индекса. Низкие адаптационные возможности выявлены у 11,2 %, средние – у 88,8 % обследуемых, высокий уровень адаптации не выявлен. В группе с низкими адаптационными возможностями отме-

чалась более высокая распространенность заболеваний системы кровообращения, пищеварения, костно-мышечной системы и соединительной ткани. Таким образом, предложенная методика оценки адаптационного потенциала позволяет судить о расходовании адаптационных резервов организма. В дальнейшем в группе лиц с низкой адаптацией проведены дополнительные специальные обследования, коррекционные и лечебно-профилактические мероприятия, как в амбулаторных условиях, так и в условиях профилактория ИжГТУ.

Таким образом, предложенный компьютеризированный алгоритм обследования студентов (рисунок 5), подразумевающий комплексность и системность в подходе, этапность обследования, соблюдение принципов экономичности и целесообразности, может значительным образом повысить эффективность профилактических мероприятий среди студенчества.

## ВЫВОДЫ

1. Созданная и внедренная в практическую деятельность новая информационно-аналитическая система мониторинга здоровья студентов на основе оригинального концептуального подхода к функционированию систем управления ресурсами предприятия (ERP-систем) позволяет обеспечить работу единой базы данных, ведение необходимой статистики, динамическую оценку валеологической ситуации в среде студенчества, управление, обратную связь и принятие решений при анализе здоровья студентов.

2. Созданный модуль информационно-аналитической системы, использующий технологию «искусственного интеллекта» - построение искусственной нейронной сети - позволяет определять риск развития артериальной гипертензии у обследуемых молодых людей.

3. Анализ здоровья студентов, оздоравливаемых в специализированном студенческом санатории-профилактории Ижевского государственного технического университета, свидетельствует о высокой распространенности вегетососудистой дистонии, заболеваний глаз, опорно-двигательного аппарата, желудочно-кишечного тракта и неврологической патологии.

4. Предложенный новый индекс оценки эффективности гемодинамики (патент на изобретение № 2248747 от 27.03.2005) позволяет оценить степень адаптации организма молодого человека, он свидетельствует не только об экономичности гемодинамического ответа на нагрузку, но и об общем состоянии адаптационного резерва.

5. Регрессионная модель индекса оценки адаптационных возможностей организма, используемая в разработанной информационно-аналитической системе и берущая в качестве аргументов данные о параметрах variability сердечного ритма, отличается высокой информативностью и позволяет в ряде случаев не прибегать к проведению велоэргометрии.

6. Предложенный компьютеризированный алгоритм обследования студентов, подразумевающий комплексность и системность в подходе, этапность обследования, соблюдение принципов экономичности и целесообразности, позволяет значительным образом повысить эффективность профилактических мероприятий среди студенчества.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработанную в ходе исследований ИАС мониторинга здоровья студентов целесообразно использовать для динамической оценки валеологической ситуации в среде студенчества, обеспечения управления, обратной связи и принятия решений при анализе здоровья студентов. Ведение единой электронной базы помогает в обеспечении профилактических и лечебных мероприятий в медицинских подразделениях вуза.

2. Модуль данной системы, использующий аппарат искусственной нейронной сети, может быть применен для определения адаптационного ресурса организма и риска развития АГ в условиях студенческой поликлиники. Использование предложенной системы мониторинга позволяет идентифицировать лиц, склонных к повышению АД, проводить своевременные лечебные и профилактические мероприятия.

3. Новый индекс оценки эффективности гемодинамики при велоэргометрической пробе (патент на изобретение № 2248747 от 27.03.2005) рекомендуется использовать для анализа адаптации организма молодого человека.

4. Разработанную систему принятия решений и алгоритм оздоровления студентов следует применять в практической деятельности специализированной студенческой поликлиники и санатория-профилактория.

## **СПИСОК ПЕЧАТНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Александров А.Б. Информационно-аналитическая система динамического мониторинга артериального давления у студентов технического вуза / А.Б. Александров, С.Б. Пономарев, И.Г. Русяк // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2003. – Т. 2, № 3: От исследований к стандартам лечения: материалы Российского национального конгресса кардиологов (Москва, 7-9 окт. 2003). – С. 10.
2. Пономарев С.Б. Разработка и внедрение в практику информационно-аналитической системы, стратифицирующей риск развития артериальной гипертонии у студентов вуза / С.Б. Пономарев, А.Б. Александров // Вестник аритмологии. – 2004. – Т. 35, прил. А: Электроника в медицине. Мониторинг, диагностика, терапия: материалы IV междунар. симпозиума (Санкт-Петербург, 9–11 февр. 2004). – С. 638.
3. Пономарев С.Б. Опыт разработки системы динамического мониторинга артериального давления у студентов технического вуза / С.Б. Пономарев, А.Б. Александров, В.А. Тенев, И.Г. Русяк, О.В. Чехломина // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2004. – Т.3, № 4: Российская кардиология: от центра к регионам: материалы Российского нац. конгресса кардиологов (Томск, 12–14 окт. 2004). – С. 394.
4. Пономарев С.Б. Опыт построения математических моделей управления в медицинских системах / С.Б. Пономарев, В.К. Гасников, Э.Я. Исхакова, И.В. Мальцева, В.А. Тенев, А.Б. Александров, А.А. Половникова // Бюллетень Научного центра сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева РАМН: сердечно-сосудистые заболевания. – 2004. – Т. 5, № 11: Десятый всероссийский съезд сердечно-сосудистых хирургов: материалы докладов (Москва, 10–13 нояб. 2004). – С. 263.
5. Пономарев С.Б. Возможности нового показателя оценки эффективности гемодинамики при нагрузочном тестировании в изучении адаптационного потенциала организма человека / С.Б. Пономарев, А.Б. Александров, А.А. Половникова // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2007. – № 2 (34). – С. 48–53.
6. Чубаров А.Л. К вопросу поиска путей профилактики болезней и адаптации в молодом возрасте / А.Л. Чубаров, А.А. Половникова, С.Б. Пономарев, С.И. Тоцкий,

А.Б. Александров, Н.П. Соболева // Профилактика заболеваний и укрепление здоровья. – 2007. – № 4. – С. 3–8.

7. Пономарев С.Б. К вопросу мониторинга здоровья в молодом возрасте / С.Б. Пономарев, М.М. Горохов, А.А. Половникова, А.Б. Александров, С.И. Тоцкий, А.В. Серебренников // Вестник уральской медицинской академической науки. – 2008. – № 1. – С. 60–61.

### Монография

8. Пономарев С.Б. Моделирование риска болезней адаптации в молодом возрасте / С.Б. Пономарев, А.Б. Александров, А.А. Половникова, А.Л. Чубаров, В.А. Тененев. – Ижевск : Издательство ИжГТУ, 2007. – 230 с.

### Публикации в сборниках статей

9. Александров А.Б. Определение variability сердечного ритма в комплексной оценке степени риска возникновения артериальной гипертензии у студентов технического вуза крупного промышленного центра Уральского региона / А.Б. Александров, С.Б. Пономарев // Variability сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение: материалы III Международного симпозиума (Ижевск, 20–21 нояб. 2003). – Ижевск, 2003. – С. 166–167.
10. Александров А.Б. Информационные технологии в диагностике и лечении артериальной гипертензии у студентов технического вуза крупного промышленного центра Уральского региона / А.Б. Александров, С.Б. Пономарев, И.Г. Русяк, Б.Л. Мультиановский, Л.А. Лещинский // Кардиология СНГ. – 2003. – Т. 1, № 1: Материалы I конгресса кардиологов стран СНГ (Москва, 15–17 сент. 2003). – С. 11.
11. Александров А.Б. Опыт разработки информационно-аналитической системы динамического мониторинга артериального давления у студентов технического вуза / А.Б. Александров, Е.И. Александрова, Б.Л. Мультиановский, И.Г. Русяк, С.Б. Пономарев // Пути снижения заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых заболеваний: материалы научно-практической конференции (Москва, 3–4 июня 2003). – М., 2003. – С. 55–56.
12. Пономарев С.Б. Анализ variability сердечного ритма в прогнозе динамики артериального давления у учащихся старших классов и студентов высшей школы / С.Б. Пономарев, А.А. Половникова, А.Б. Александров, Н.И. Шлык, В.А. Тененев, Т.В. Красноперова, Ю.Л. Кузелин // Функциональная диагностика. – 2005. – № 4. – С. 18–26.
13. Мультиановский Б.Л. Способ оценки эффективности гемодинамики при велоэргометрической пробе / Б.Л. Мультиановский, С.Б. Пономарев, А.Б. Александров, Л.А. Лещинский // Изобретения, полезные модели. – 2005. – № 9. – С. 915.
14. Александров А.Б. Опыт разработки системы выявления предрасположенности к артериальной гипертензии / А.Б. Александров, С.Б. Пономарев, А.А. Половникова, В.А. Тененев // Развитие информационных технологий и проблемы управления здоровьем и здравоохранением: материалы российской науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Ижевск, 2006. – С. 260–262.
15. Александров А.Б. Разработка метода рискометрии артериальной гипертензии / А.Б. Александров // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – № 2:

- Медицинские информационные технологии: материалы круглого стола (Ижевск, 26 нояб. 2007). – С. 126–129.
16. Пономарев С.Б. Новый способ оценки адаптационного потенциала организма / С.Б. Пономарев, А.А. Половникова, А.Б. Александров, С.И. Тоцкий // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – № 2: Медицинские информационные технологии: материалы круглого стола (Ижевск, 26 нояб. 2007). – С. 130–132.
17. Горохов М.М. О некоторых методологических подходах к решению проблемы мониторинга общественного здоровья / М.М. Горохов, С.Б. Пономарев, В.А. Тененев, А.Б. Александров, А.А. Половникова, А.В. Серебренников // Интеллектуальные системы в производстве. – 2007. – № 2: Медицинские информационные технологии: материалы круглого стола (Ижевск, 26 нояб. 2007). – С. 142–144.
18. Александров А.Б. Решение задачи мониторинга здоровья студентов вуза системными средствами / А.Б. Александров // Проблемы энерго- и ресурсосбережения и охраны окружающей среды: материалы научно-технической конференции (Ижевск, 20 апр. 2007). – Ижевск, 2008. – С. 208–211.

### Изобретение

Способ оценки эффективности гемодинамики при велоэргометрической пробе. Патент на изобретение RU (11) 2248747(13) С1 № 2248747 от 27 марта 2005 г. / Мультиановский Б.Л., Пономарев С.Б., Александров А.Б., Лещинский Л.А.; Мультиановский Б.Л. - заявитель и патентообладатель.

### Список сокращений

АГ – артериальная гипертензия  
 АД – артериальное давление  
 ВСР – вариабельность сердечного ритма  
 ВУЗ – высшее учебное заведение  
 ВЭМ – велоэргометрия  
 ИАС – информационно-аналитическая система  
 ИжГТУ – Ижевский государственный технический университет  
 ИНС – искусственная нейронная сеть  
 ИОЭГ – индекс оценки эффективности гемодинамики  
 ИОЭГ<sub>мод</sub> – модельное значение индекса оценки эффективности гемодинамики  
 ИРС – инотропный резерв сердца  
 СУБД – система управления базами данных  
 ХРС – хронотропный резерв сердца  
 ЧСС – частота сердечных сокращений  
 ЭКГ – электрокардиограмма  
 CV – коэффициент вариации  
 ERP-система – система управления ресурсами предприятия  
 HF – быстрые (высокочастотные) волны  
 pNN 50 – процент интервалов NN, различие между которыми превышает 50 мс  
 NN – расстояние между сердечными циклами  
 SDNN – стандартное отклонение величин нормальных интервалов NN  
 TP – общая мощность спектра

Подписано в печать 16.05.2008. Усл. печ. л. 1.0. Тираж 120 экз. Заказ № 203  
Отпечатано в типографии Издательства ИжГТУ. 426069, Ижевск, Студенческая, 7