

На правах рукописи



БЕЗБОРОДОВА Оксана Евгеньевна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА**

Специальности:

- 2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы
(технические науки);**
- 2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения
(технические науки)**

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

ПЕНЗА – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный университет» на кафедре «Информационно-измерительная техника и метрология».

Научные консультанты: доктор технических наук, профессор
Бодин Олег Николаевич;

доктор медицинских наук, профессор
Рахматуллов Фагим Касымович

Официальные оппоненты: **Филист Сергей Алексеевич,**
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (г. Курск), профессор кафедры «Биомедицинская инженерия»;

Ивахно Наталия Валериевна,
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (г. Тула), профессор кафедры «Газовая динамика»;

Орлов Сергей Павлович,
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» (г. Самара), профессор кафедры «Вычислительная техника»

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ») (г. Тамбов)

Защита состоится « ____ » _____ 20 ____ г. в ____ часов на заседании диссертационного совета 24.2.357.01 в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный университет» по адресу: 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет» и на сайте:

https://dissov.pnzgu.ru/ecspertiza/Tehnicheskie_nauki/bezborodova

Автореферат разослан _____ 20 ____ года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Светлов Анатолий Вильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена разработке и исследованию методологии создания информационно-измерительных систем для определения экологического благополучия человека; систем и способов определения экологического благополучия человека и получения прогностической информации о здоровье человека на основе усовершенствованной модели Лотки – Вольтерра и предметно-экономических групп (медицинских, экологических, производственных).

Актуальность темы. Проблемы экологии являются следствием стремления человека развивать промышленное производство. «Человек настоящего времени представляет из себя геологическую силу, и сила эта сильна именно тем, что она возрастает, и предела ее возрастания нам не видно...» – отмечал В. И. Вернадский. Но направление приложения этой силы в ряде случаев является деструктивным. От последствий развития промышленного производства страдает окружающая среда, и возникает проблема обеспечения экологического благополучия человека. Согласно оценкам ВОЗ ежегодно примерно 12 млн человек умирают вследствие проживания или работы в экологически неблагоприятных условиях – это почти четверть из общего числа умерших в мире. ВОЗ сделан акцент на необходимость разработки эффективных мер, повышающих экологическое благополучие человека. Для их разработки необходимо увеличить объективность, достоверность и оперативность оценки экологического благополучия человека с целью обоснованного формирования перечня лечебно-профилактических, природоохранных и технологических мероприятий.

Развитие информационных технологий и технологий искусственного интеллекта предоставляет широкие возможности для улучшения этих параметров путем внедрения интеллектуальных методов измерения и цифровой обработки измерительной информации, вычислительной математики и визуализации.

Проблемы воздействия объектов техносферы на человека и окружающую среду исследуются в нашей стране и за рубежом с 70-х годов XX века, но по отдельности, а не в совокупности. Так, решением задач экологического мониторинга занимались в нашей стране и за рубежом Н. И. Архипов, Ю. С. Беликов, А. Б. Дьякова, Н. Н. Калиткин, Р. И. Оникул, Л. Р. Сонькин, Г. А. Тульчинский и др. Разработкой и проектированием информационно-измерительных систем, в том числе и для решения задач экологического мониторинга, занимались М. А. Балавин, С. Н. Геращенко, Т. И. Мурашкина, С. В. Фролов, Н. К. Юрков, С. В. Емельянов, Г. Крамер, О. Н. Новоселов, С. Л. Подвальный, А. К. Эрланг. Техногенные воздействия на окружающую среду и человека исследовали С. В. Белов, Н. Н. Брушлинский, В. И. Измалков, Н. В. Ивахно, В. В. Маршалл и др. Модели и способы прогнозирования и оценки последствий аварий на объектах техносферы рассмотрены в работах В. И. Васильева, А. Н. Елохина, А. М. Козлитина, В. Г. Крымского, Б. Н. Порфирьева, Р. З. Хамитова,

И. Ю. Юсупова и др. Вопросы оценки функционального состояния организма человека в различных ситуациях рассмотрены в работах академика В. О. Самойлова, О. Н. Бодина, А. М. Герегея, В. М. Еськова, П. В. Трусова, Н. В. Зайцевой, Д. А. Кирьянова, С. П. Орлова, С. А. Филиста.

Известные информационно-измерительные системы (функционального состояния организма человека, экологические и технологические) не осуществляют комплексную оценку состояния элементов территориальной техносферы и не определяют необходимые ресурсы для повышения экологического благополучия человека. При этом каждая из известных систем мониторинга является узкоспециализированной ведомственной системой территориальной инфраструктуры, функциональные возможности которой ограничены выполнением мониторинга только одного из элементов территориальной техносферы: человека, окружающей среды, объектов техносферы по ограниченной совокупности параметров.

Таким образом, по мнению автора, разработанные и реализованные в настоящее время способы и системы для измерения параметров и оценки состояния здоровья человека, окружающей среды и объектов техносферы не решают проблему определения экологического благополучия человека комплексно.

Цель и задачи диссертации. Целью диссертации является создание методологии и информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека и получения прогностической информации о здоровье человека на основе усовершенствованной модели Лотки – Вольтерра и предметно-экономических групп (медицинских, экологических, производственных).

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи диссертации.

1. Анализ современных информационно-измерительных систем мониторинга функционального состояния организма человека, экологического, технологического.

2. Разработка на основе проведенного анализа и положений теории риска концепции и методологии определения экологического благополучия, включая оценку текущего состояния здоровья человека, позволяющих расширить функциональные возможности и повысить эффективность существующих информационно-измерительных систем.

3. Создание и исследование математического и алгоритмического обеспечений информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека, позволяющих определять состояние экологического благополучия человека и прогнозировать вероятность достижения желаемого состояния экологического благополучия человека.

4. Разработка подсистемы и алгоритма для оценки текущего состояния, мониторинга, прогнозирования и диагностирования состояния здоровья

человека, позволяющих повысить оперативность и техническую эффективность медицинского обследования и чувствительность диагностики.

5. Разработка телемедицинской подсистемы и алгоритма для оценки текущего состояния, мониторинга, прогнозирования и диагностирования состояния здоровья человека в чрезвычайных ситуациях в течение «золотого часа» медицины катастроф на основе гетерогенной группы беспилотных воздушных судов медицинского назначения, позволяющих снизить летальность пострадавших.

6. Разработка способа и подсистемы комплексного контроля состояния территориальной техносферы по разнородной измерительной информации, позволяющих расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры, повысить достоверность оценки экологического благополучия человека.

7. Разработка способа, подсистемы и технических средств для зонирования территориальной техносферы на основе критерия экологического благополучия человека, позволяющих расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры; разделить территориальную техносферу на зоны с различной вероятностью обеспечения экологического благополучия и здоровья человека для повышения достоверности оценки и обоснованности при принятии градостроительных и производственно-хозяйственных решений в условиях территориальной техносферы.

8. Разработка способа и информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека, позволяющих оценить экологическую эффективность объектов техносферы и снизить риски для здоровья человека, экологического, техногенного.

Объектом исследования является информационно-измерительная система определения экологического благополучия человека в территориальной техносфере, позволяющая повысить достоверность оценки и прогнозирования состояния экологического благополучия, включая здоровье человека.

Предметной областью исследования являются: концепция, принципы и методология построения информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека; трехэлементная модель экологического благополучия человека на основе усовершенствованной модели Лотки – Вольтерра; методы измерения контролируемых параметров объектов для зонирования территориальной техносферы по уровню экологического благополучия человека; технические средства оценки текущего состояния, мониторинга, прогнозирования и диагностики для определения экологического благополучия человека на основе предметно-экономических групп (медицинских, экологических, производственных).

Методы исследования. Для решения поставленных задач использованы теоретические основы информационно-измерительной техники, методы

теории измерений и цифровой обработки сигналов, теория риска, теория А. Пигу, предметно-экономические группы, модель Лотки – Вольтерра, математическое и имитационное моделирование и программирование в средах *Matlab/Simulink*, *SimInTach*, теория принятия решений, нейросетевой анализ.

Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к решению проблемы определения экологического благополучия человека в территориальной техносфере на основе оценки, моделирования, прогнозирования и зонирования риска (для здоровья человека, экологического, техногенного), объединяющем концепцию, систему, способы и модели, и состоит в следующем.

1. Впервые разработаны концепция и методология определения экологического благополучия человека, включая оценку текущего состояния здоровья человека, отличающиеся параллельным применением методов измерений контролируемых параметров элементов территориальной техносферы: человека, окружающей среды, объекта техносферы; совместным измерением контролируемых параметров элементов территориальной техносферы: человека, окружающей среды, объекта техносферы; комплексной оценкой на основе многопараметрического анализа и факторов риска текущего состояния, мониторингом и диагностикой состояния здоровья человека, окружающей среды и объекта техносферы (патент РФ № 2719467); зонированием территориальной техносферы по экологическому благополучию человека на основе вероятности достижения желаемого результата (патенты РФ № 2782525, № 2770115) и позволяющие расширить функциональные возможности и повысить эффективность существующих информационно-измерительных систем.

2. Созданы математическое и алгоритмическое обеспечения информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека на основе усовершенствованной системы дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерра, описывающей взаимодействие трех элементов территориальной техносферы: человека, окружающей среды, объекта техносферы, позволяющие определить состояние экологического благополучия человека как устойчивое или неустойчивое, оценить и прогнозировать изменение устойчивости, предложить корректирующие мероприятия, направленные на повышение экологического благополучия человека.

3. Разработаны подсистема и алгоритм для оценки текущего состояния, мониторинга, прогнозирования и диагностирования здоровья человека, отличающиеся использованием интеллектуальных агентов для формирования медико-экономических групп параметров, медицинского обследования и оценки здоровья пациента (патент РФ № 2750057); нейросетевым анализом электрокардиосигнала для формирования автоматического заключения о диагностике инфаркта миокарда (патент РФ № 2704913) и позволяющие повысить оперативность, техническую эффективность медицинского обследования и чувствительность диагностики инфаркта миокарда.

4. Разработаны телемедицинская подсистема и алгоритм для оценки текущего состояния, мониторинга, прогнозирования и диагностирования здоровья человека в чрезвычайных ситуациях в течение «золотого часа» медицины катастроф, отличающиеся совместным использованием оригинальных гетерогенных групп беспилотных воздушных судов, роботов и робототехнических комплексов медицинского назначения (патенты РФ № 2694528, № 2775688, № 2762052) и позволяющие повысить оперативность медицинской помощи и снизить летальность пострадавших.

5. Впервые разработаны способ и подсистема комплексного контроля состояния территориальной техносферы (патент РФ № 2782525) по разнородной измерительной информации (патент РФ № 2719467), отличающиеся многопараметричностью, мультиграничностью и иерархией параметров, комплексностью показателя состояния контролируемого объекта, визуализацией результата контроля и позволяющие расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры; повысить достоверность оценки состояния многопараметрического объекта.

6. Разработаны способ, подсистема и технические средства для зонирования территориальной техносферы на основе критерия экологического благополучия человека (патенты РФ № 2770115, № 2782525), отличающиеся комплексным многопараметрическим анализом сигналов и данных с учетом химического, физического и биологического воздействия объекта техносферы на человека, определением перечня приоритетных показателей экологического благополучия зоны проживания человека и позволяющие расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры; разделить территориальную техносферу на зоны с различной вероятностью обеспечения экологического благополучия и здоровья человека.

7. Впервые разработана информационно-измерительная система определения экологического благополучия человека, осуществляющая оценку, моделирование, прогнозирование и зонирование на основе рисков для здоровья человека, экологического, техногенного, и позволяющая повысить экологическую эффективность элементов территориальной техносферы и снизить риск негативного воздействия на функциональное состояние организма человека за счет обоснованного выбора корректирующих мероприятий.

На защиту выносятся:

1. Концепция и методология определения экологического благополучия человека, включая оценку текущего состояния здоровья человека, научно обосновывающие создание перспективных информационно-измерительных систем, повышающих эффективность существующих информационно-измерительных систем (соответствует п. 1 паспорта специальности 2.2.11, п. 2 паспорта специальности 2.2.12).

2. Математическое и алгоритмическое обеспечения информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека, определяющие состояние экологического благополучия человека (соответствует п. 3 паспорта специальности 2.2.11).

3. Подсистема и алгоритм для оценки текущего состояния, мониторинга, прогнозирования и диагностирования здоровья человека, позволяющие повысить оперативность, техническую эффективность медицинского обследования и чувствительность диагностирования инфаркта миокарда (соответствует п. 2, п. 21 паспорта специальности 2.2.12).

4. Телемедицинская подсистема и алгоритм для оценки текущего состояния, мониторинга, прогнозирования и диагностирования здоровья человека в чрезвычайных ситуациях в течение «золотого часа» медицины катастроф, позволяющие повысить оперативность медицинской помощи и снизить летальность пострадавших (соответствует п. 2, п. 9, п. 12 паспорта специальности 2.2.12).

5. Способ и подсистема комплексного контроля состояния территориальной техносферы по разнородной измерительной информации, позволяющие расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры; повысить достоверность оценки состояния многопараметрического объекта (соответствует п. 4 паспорта специальности 2.2.11).

6. Способ, подсистема и технические средства для зонирования территориальной техносферы на основе критерия экологического благополучия человека, позволяющие расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры; разделить территориальную техносферу на зоны с различной вероятностью обеспечения экологического благополучия и здоровья человека (соответствует п. 4 паспорта специальности 2.2.11).

7. Информационно-измерительная система определения экологического благополучия человека, осуществляющая оценку, моделирование, прогнозирование и зонирование рисков для здоровья человека, экологического, техногенного, и позволяющая повысить экологическую эффективность элементов территориальной техносферы и снизить риск негативного воздействия на функциональное состояние организма человека (соответствует п. 2 паспорта специальности 2.2.11).

Практическая значимость работы заключается в следующем.

1. Концепция и методология определения экологического благополучия человека, включая оценку текущего состояния здоровья человека, позволяющие расширить функциональные возможности и повысить эффективность существующих информационно-измерительных систем в 4 раза за счет совершенствования математического, алгоритмического и аппаратного обеспечений информационно-измерительной системы (соответствует п. 1 паспорта специальности 2.2.11, п. 2 паспорта специальности 2.2.12).

2. Математическое и алгоритмическое обеспечения информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека на основе усовершенствованной системы дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерра, обеспечивающую достоверность оценки и прогнозирования состояния экологического благополучия человека более 95% (соответствует п. 3 паспорта специальности 2.2.11).

3. Введение в состав системы интеллектуальных агентов для формирования медико-экономических групп параметров, медицинского обследования и оценки здоровья пациента повышает оперативность и техническую эффективность предлагаемой информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека на 30%; нейросетевой анализ электрокардиосигнала для формирования автоматического заключения о диагностировании инфаркта миокарда повышает чувствительность на 10 % (соответствует п. 2, п. 21 паспорта специальности 2.2.12).

4. Оригинальные гетерогенная группа беспилотных воздушных судов, роботы и робототехнические комплексы медицинского назначения обеспечивают оказание телемедицинской помощи в течение «золотого часа» медицины катастроф (соответствует п. 2, п. 9, п. 12 паспорта специальности 2.2.12).

5. Разработаны способ и подсистема комплексного контроля состояния территориальной техносферы по разнородной информации, позволяющие расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры; повысить достоверность оценки состояния многопараметрического объекта на 12 % (соответствует п. 4 паспорта специальности 2.2.11).

6. Разработаны способ, подсистема и технические средства для зонирования территориальной техносферы на основе критерия экологического благополучия человека, позволяющие расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры; разделить территориальную техносферу на зоны с различной вероятностью обеспечения экологического благополучия и здоровья человека (соответствует п. 4 паспорта специальности 2.2.11).

7. Разработана информационно-измерительная система определения экологического благополучия человека осуществляющая оценку, моделирование, прогнозирование и зонирование рисков для здоровья человека, экологического, техногенного, повышающая экологическую эффективность элементов территориальной техносферы в 2 раза, снижающая риск негативного воздействия объектов техносферы на функциональное состояние организма человека на 32 %, на окружающую среду на 14 %, за счет обоснованного выбора корректирующих мероприятий (соответствует п. 2 паспорта специальности 2.2.11).

Достоверность результатов подтверждается тем, что при разработке методологии определения экологического благополучия человека, при построении компьютерных и математических моделей, зонировании территориальной техносферы по уровню экологического благополучия человека

использованы положения, основанные на известном, хорошо зарекомендовавшем себя математическом аппарате, справедливость которого общепризнана. Вводимые допущения и ограничения соответствуют известным в медицине и экологии положениям. Обоснованность рекомендаций и подходов к построению алгоритмов, методов определения и оценки экологического благополучия человека, выбора параметров моделей и способов организации информационно-измерительной системы подтверждается положительными результатами экспериментальных исследований.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на следующих конференциях: на Международной научно-технической конференции «Шляндинские чтения» (Пенза, 2018, 2019); International Scientific Conference «ICCATS: Architecture and Technosphere Safety» (Челябинск, 2018, 2019, 2022); International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) (Владивосток, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022); Всероссийской научно-технической конференции «Метрологическое обеспечение измерительных систем» (Пенза, 2019); 8th Mediterranean conference on embedded computing (MECO), (Budva, Montenegro, 10–14 June 2019); International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM) (2019, 2020); Международной научно-технической конференции Российского общества холтеровского мониторирования и неинвазивной электрофизиологии (РОХМИНЭ) (Саранск, 20–21 апреля 2022); V Международном конгрессе, посвященном А. Ф. Самойлову «Фундаментальная и клиническая электрофизиология. Актуальные вопросы аритмологии» (Казань, 7–8 апреля 2022); I Международной научно-практической конференции «Природопользование: от истории к современности. Куражковские чтения» (Астрахань, 19–21 мая 2022) и др.

Внедрение результатов работы. Предложенная медицинская информационная подсистема контроля функционального состояния организма человека внедрена в ГБУЗ «Клиническая больница № 6» им. Г. А. Захарьина г. Пензы и используется в действующем макете медицинской информационной системы в тестовом режиме.

Предложенная подсистема комплексного контроля состояния многопараметрических объектов по разнородной измерительной информации внедрена в филиале «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Пензенской области» ФГБУ «Центра лабораторного анализа и технических измерений по ПФО» в тестовом режиме.

Предложенная подсистема зонирования территориальной техносферы на основе риска используется в ГБУ Пензенской области «Пензенский пожарно-спасательный центр» в тестовом режиме.

Предложенные в работе методы, алгоритмы и принципы построения мультиагентной информационной системы оценки экологического благополучия человека используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 70 печатных работ, в том числе 17 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, из них 2 отнесены к категории К-1, 3 к категории К-2, 29 публикаций в изданиях, индексируемых Scopus или Web of Science, 12 в изданиях РИНЦ, 10 патентов РФ и 2 Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, а также 2 монографии.

Личный вклад. Все математические результаты, методы решения задач и основные методические и алгоритмические подходы, описанные в диссертации, принадлежат соискателю. Соискателем единолично написаны 9 статей, опубликованных в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ, и 1 статья, индексируемая в наукометрической базе данных *Scopus*. Во всех работах, выполненных в соавторстве, личный вклад соискателя включает постановку задач, разработку основных методов и средств, анализ результатов и составляет не менее 80 %. Автор является непосредственным исполнителем всех теоретических и экспериментальных исследований.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (225 наименований) и приложений. Общий объем составляет 335 страниц основного машинописного текста. Работа содержит 80 рисунков, 29 таблиц, 3 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, даны общая характеристика и краткий обзор диссертационной работы, показана научная новизна результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту, приведены сведения о практической ценности работы.

В первой главе приведен обзор и дан критический анализ существующих систем мониторинга функционального состояния организма человека, экологического, технологического, эффективное функционирование которых должно быть основой для решения проблем определения экологического благополучия человека.

Общая теория экологического мониторинга изложена в работах отечественных ученых И. П. Герасимова, Ю. А. Израэля и их зарубежных коллег *L. Gibbs, W. R. Catton*.

Анализ функциональных возможностей существующих систем экологического мониторинга показывает, что они являются исключительно измерительными, не представляют достаточное количество данных о воздействии объектов техносферы на окружающую среду и здоровье человека и не осуществляют функцию обработки данных для оперативного принятия управляющих решений, направленных на определение экологического благополучия человека.

Основой системы мониторинга здоровья населения в РФ являются Государственная система социально-гигиенического мониторинга (Роспотребнадзор России) и Единая государственная информационная система в сфере здравоохранения (Минздрав России). Государственная система социально-гигиенического мониторинга выполняет функции наблюдения, анализа, оценки и прогноза изменения состояния окружающей среды и здоровья человека. Главным ее недостатком является то, что большинство этих функций выполняется специалистами вручную. Единая государственная информационная система в сфере здравоохранения предназначена в первую очередь для документального обеспечения работы медицинских организаций. Мониторинг объектов техносферы осуществляет автоматизированная информационная система Ростехнадзора (АИС РТН) (Ростехнадзор России) по ограниченной совокупности параметров.

При всей важности и необходимости функций этих систем их недостаточно для определения и оценки экологического благополучия человека, так как каждая из них является автономной, созданной для решения внутриведомственных задач и оперирующей свойственной только ей совокупностью показателей, обобщить и связать которые не представляется возможным.

Требуется комплексный подход к определению экологического благополучия человека на основе применения современных информационных технологий. При этом наиболее перспективными являются мультиагентные информационно-измерительные системы оценки и определения экологического благополучия человека, включающие интернет вещей для оценки функционального состояния организма человека, цифровые двойники функциональных систем организма, технологии дистанционного зондирования и беспилотные воздушные суда.

Во второй главе предложена концепция определения экологического благополучия человека в территориальной техносфере (рисунок 1). Концепция направлена на повышение экологической эффективности определения экологического благополучия человека в территориальной техносфере. Экологическая эффективность – это связь между достигнутым экологическим результатом и использованными для этого ресурсами (финансовыми, материальными, человеческими).

Автором вводится понятие экологического благополучия человека, под которым понимается функциональное состояние организма человека, определяемое на основе медицинских показателей и формируемое окружающей средой, в которой стремятся к нулю факторы риска, генерируемые объектами техносферы. При этом планируется снижение уровня риска для здоровья человека до безопасных значений за счет автоматического формирования информационно-измерительной системой (ИИС) оптимальных перечней лечебно-профилактических, природоохранных и технических мероприятий.

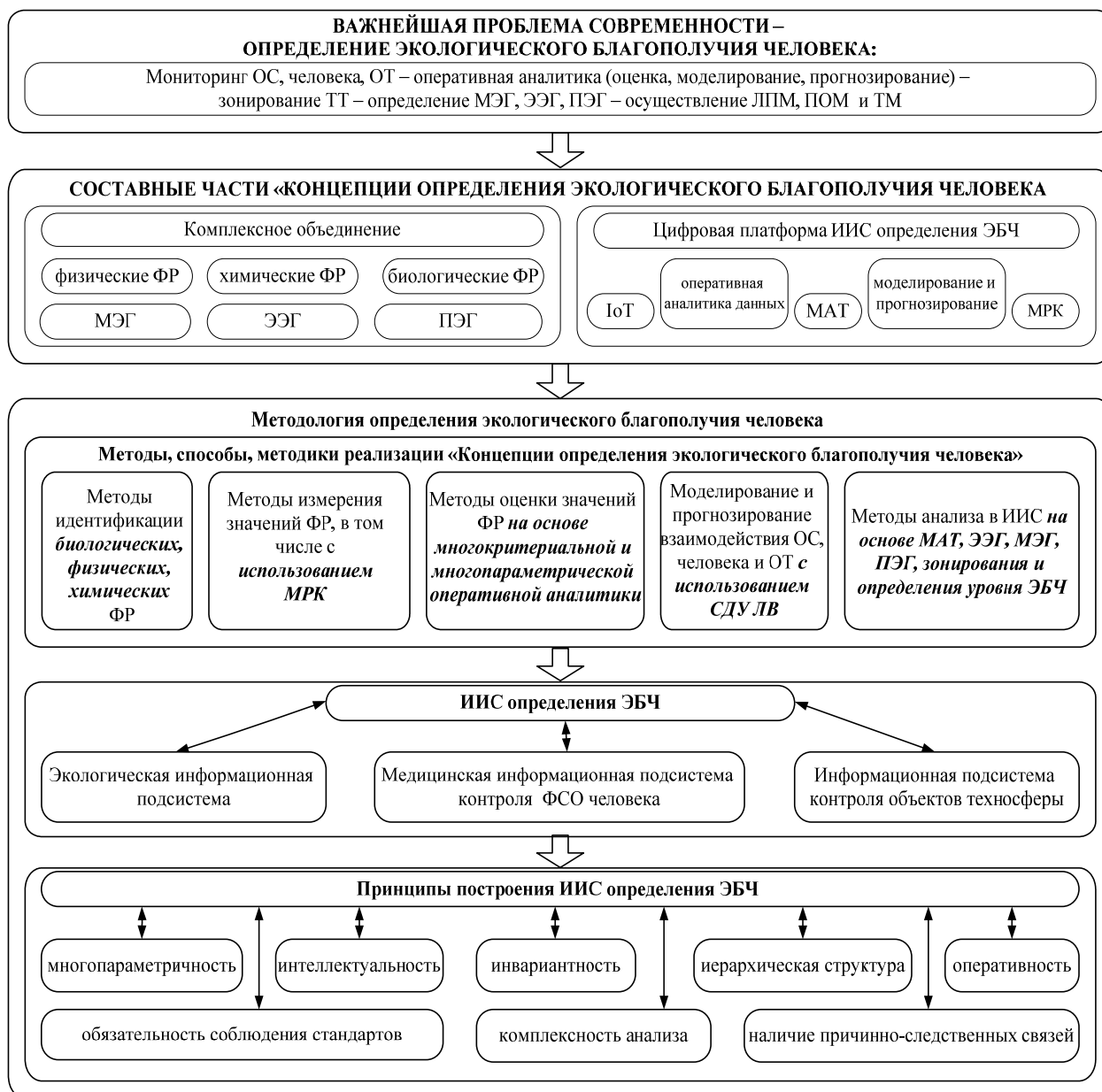


Рисунок 1 – Концепция определения экологического благополучия человека:

ОС – окружающая среда; ОТ – объект техносферы; ТТ – территориальная техносфера; МЭГ – медико-экономические группы параметров; ЭЭГ – эколого-экономические группы параметров; ПЭГ – производственно-экономические группы параметров; ЛПИМ – лечебно-профилактические мероприятия; ПОМ – природо-охранные мероприятия; ТМ – технические мероприятия; ФР – фактор риска; ИИС – информационно-измерительная система; ЭБЧ – экологическое благополучие человека; МАТ – мультиагентные технологии; МРК – мобильный робототехнический комплекс; СДУ ЛВ – система дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерра

В рамках концепции экологического благополучия человека в территориальной техносфере разработано представление обобщенной структуры территориальной техносферы, включающее окружающую среду, человека и объект техносферы и установлен характер взаимодействия между ними (рисунок 2).

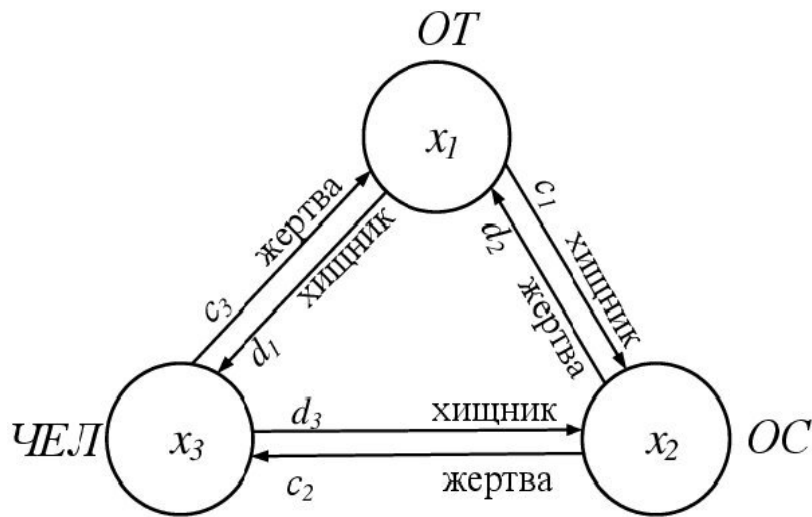


Рисунок 2 – Взаимодействие элементов в территориальной техносфере:
ОС – окружающая среда; ОТ – объект техносферы; ЧЕЛ – человек

Отличительными особенностями предлагаемой структуры территориальной техносферы являются представление её состояния в трехмерном пространстве и описание усовершенствованной системой дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерра, где человек выступает как «жертва» по отношению к объекту техносферы, как «хищник» по отношению к окружающей среде, окружающая среда всегда выступает как «жертва», объект техносферы всегда выступает как «хищник». При этом мерой экологического благополучия человека является риск, рассчитанный на основе результатов измерительного контроля: чем выше уровень риска, тем ниже уровень экологического благополучия человека.

Так как в территориальной техносфере взаимодействуют три элемента: окружающая среда, человек и объекты техносферы, то классическая система дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерра принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a_1x - b_1x^2 + c_1xy + d_1xz, \\ \frac{dy}{dt} = a_2y - b_2y^2 + c_2yx + d_2yz, \\ \frac{dz}{dt} = a_3z - b_3z^2 + c_3xz + d_3zy, \end{cases} \quad (1)$$

где x, y, z – качество i -го элемента территориальной техносферы, выраженное в единицах риска; a_i – коэффициент, учитывающий способность i -го элемента сохранять исходное качество (чем выше исходное качество i -го элемента, тем больше a_i); a_1x, a_2y, a_3z – изменение качества i -го элемента, зависящее от внутренних ресурсов; b_i – коэффициент, учитывающий возможность регулирования состояния i -го элемента; b_1x^2, b_2y^2, b_3z^2 – снижение качества i -го элемента, связанное с регулированием в интересах других элементов; c_i и d_i –

степень изменения качества i -го элемента под воздействием остальных элементов; d_1xz, d_2yz, d_3zy – снижение качества каждого элемента под воздействием остальных элементов.

По мнению автора, модель (1) позволяет оценить изменение рисков для экологического благополучия человека. Анализ усовершенствованной системы дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерра, проведенный с помощью методов теории динамических систем, позволяет определить устойчивые и неустойчивые состояния территориальной техносферы с точки зрения экологического благополучия человека, точки бифуркации и сделать выводы об устойчивости анализируемого состояния экологического благополучия человека и о возможности его коррекции.

Для определения экологической эффективности автором введены понятия эколого-экономических, медико-экономических и производственно-экономических групп параметров как совокупностей данных, характеризующих состояния элементов территориальной техносферы и позволяющих обоснованно сформировать перечень природоохранных, лечебно-профилактических и технических мероприятий, реализация которых гарантированно приведет к снижению уровня риска для здоровья человека до безопасных значений и повышению уровня экологического благополучия человека.

На рисунке 3 приведено представление эколого-экономических групп параметров объекта техносферы как наиболее опасного для экологического благополучия человека элемента территориальной техносферы. Как следует из анализа рисунка 3, отличительной особенностью функционирования информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека является комплексное объединение физических, химических и биологических факторов риска и учёт состояния всех элементов территориальной техносферы: человека, объекта техносферы, окружающей среды – на основе эколого-экономических, медико-экономических и производственно-экономических групп параметров для обоснованного формирования оптимального перечня природоохранных, лечебно-профилактических и технических мероприятий.

Определение необходимых затрат на природоохранные, лечебно-профилактические и технические мероприятия для уменьшения уровня риска

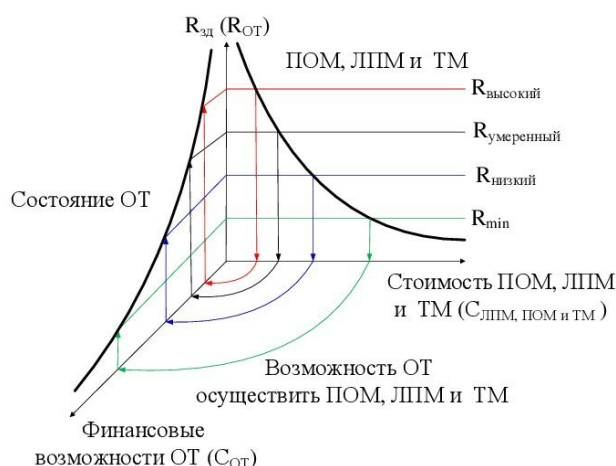


Рисунок 3 – Эколого-экономические группы объекта техносферы:
ОТ – объект техносферы; ПОМ – природоохранные мероприятия; ЛПМ – лечебно-профилактические мероприятия; ТМ – технические мероприятия

осуществляют на основе «подхода А. Пигу». Суть адаптации «подхода А. Пигу» к определению экологического благополучия человека состоит в том, что объект техносферы, являющийся источником риска, осуществляет природоохранные, лечебно-профилактические и технические мероприятия (затраты) с целью на уменьшения (исключения) этого риска, объем которых должен быть достаточным для уменьшения (исключения) этого риска.

Другой отличительной особенностью функционирования ИИС определения экологического благополучия человека является использование возможностей цифровой платформы. Ее формирование связано с разработкой и использованием цифровых технологий: искусственного интеллекта (мультиагентные технологии и нейросетевой анализ); интернета вещей, основанного на сетевом взаимодействии подсистем; оперативной аналитики данных; технологий цифровых двойников (моделирование для прогнозирования изменения состояния территориальной техносферы с точки зрения экологического благополучия человека) и гетерогенной группы беспилотных воздушных судов.

Во второй главе также сформулированы принципы построения ИИС определения экологического благополучия человека: многопараметричность объекта (сложная структура территориальной техносферы: человек, окружающая среда и объекты техносферы), инвариантность (возможность работы в нормальной и чрезвычайной ситуациях), комплексность анализа (использование эколого-экономических, медико-экономических и производственно-экономических групп параметров; физических, химических, биологических факторов риска), многоуровневое, иерархическое принятие решений, интеллектуальность (использование мультиагентных технологий и интернета вещей), наличие причинно-следственных связей (использование моделирования для прогнозирования изменения состояния территориальной техносферы с точки зрения экологического благополучия человека), оперативность (возможность оказания экстренной медицинской помощи в течение «золотого часа»).

В третьей главе рассмотрены особенности функционирования информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека.

Основой ИИС является иерархическая мультиагентная подсистема (MAS) как совокупность программных и аппаратных интеллектуальных агентов, являющихся инструментальными средствами определения экологического благополучия человека:

$$MAS = \{AG, S\}, \quad (2)$$

содержащая непустое конечное множество интеллектуальных агентов (AG) и непустое конечное множество состояний территориальной техносферы (S). При этом конечное множество интеллектуальных агентов содержит три непустых подмножества интеллектуальных агентов:

$$AG = \{AG^{str}, AG^{takt}, AG^{oper}\}, \quad (3)$$

сформированных с учетом функциональных особенностей по трем уровням иерархии – стратегический (AG^{str}), тактический (AG^{takt}) и оперативный (AG^{oper}):

$$AG^{str} = \{ag_1^{str}\}, \quad (4)$$

$$AG^{takt} = \{ag_1^{takt}, \dots, ag_n^{takt}\}, \quad (5)$$

$$AG^{oper} = \{ag_1^{oper}, \dots, ag_m^{oper}\}, \quad (6)$$

где AG^{str} – непустое конечное множество интеллектуальных агентов стратегического уровня (ag_1^{str}) (ИА-С); AG^{takt} – непустое конечное множество интеллектуальных агентов тактического уровня (ag_n^{takt}) (ИА-Т); AG^{oper} – непустое конечное множество интеллектуальных агентов оперативного уровня (ag_m^{oper}) (ИА-О), при этом каждый интеллектуальный агент характеризуется наличием цели ($Goal_k$), множеством возможных действий (A_{ag^l}) и вероятностью достижения цели (P_k):

$$ag^l = \{Goal_k, A_{ag^l}, P_k\}, \quad (7)$$

причем множество возможных действий интеллектуального агента (A_{ag^l}) определяется его расположением в иерархии мультиагентной подсистемы и функциональными особенностями.

Мультиагентная подсистема преобразует запрос лица, принимающего решения ($Query$), в непустое конечное множество целей:

$$Query = \{Goal_1, \dots, Goal_x\}, \quad (8)$$

разбивает каждую цель ($Goal_x$) на непустое конечное множество задач ($task_y$):

$$Goal_x = \{task_1, \dots, task_y\}. \quad (9)$$

Для решения каждой задачи необходим интеллектуальный агент определенного уровня (стратег, тактик или оперативник), обладающий функциональной возможностью выполнить все необходимые действия для решения поставленной перед ним задачи и решить ее:

$$task_y = \{ag^l, A_{ag^l}, P_k\}. \quad (10)$$

Предложена схема системы, включая мультиагентную подсистему. ИИС осуществляет определение и анализ рисков (для здоровья человека, экологического, техногенного) и формирование перечня мероприятий на основе проведенного анализа рисков. Мероприятия представляют собой совокупность взаимодействия различных ресурсов, направляемых на поддержание определенного сочетания уровней рисков (для здоровья человека, экологического, техногенного). Мультиагентная подсистема является частью ИИС определения экологического благополучия человека и необходима для интеллектуального сбора и анализа данных о состоянии всех элементов территориальной техносферы: окружающей среды, человека (социума) и объектов техносферы. Схема мультиагентной подсистемы приведена на рисунке 4.

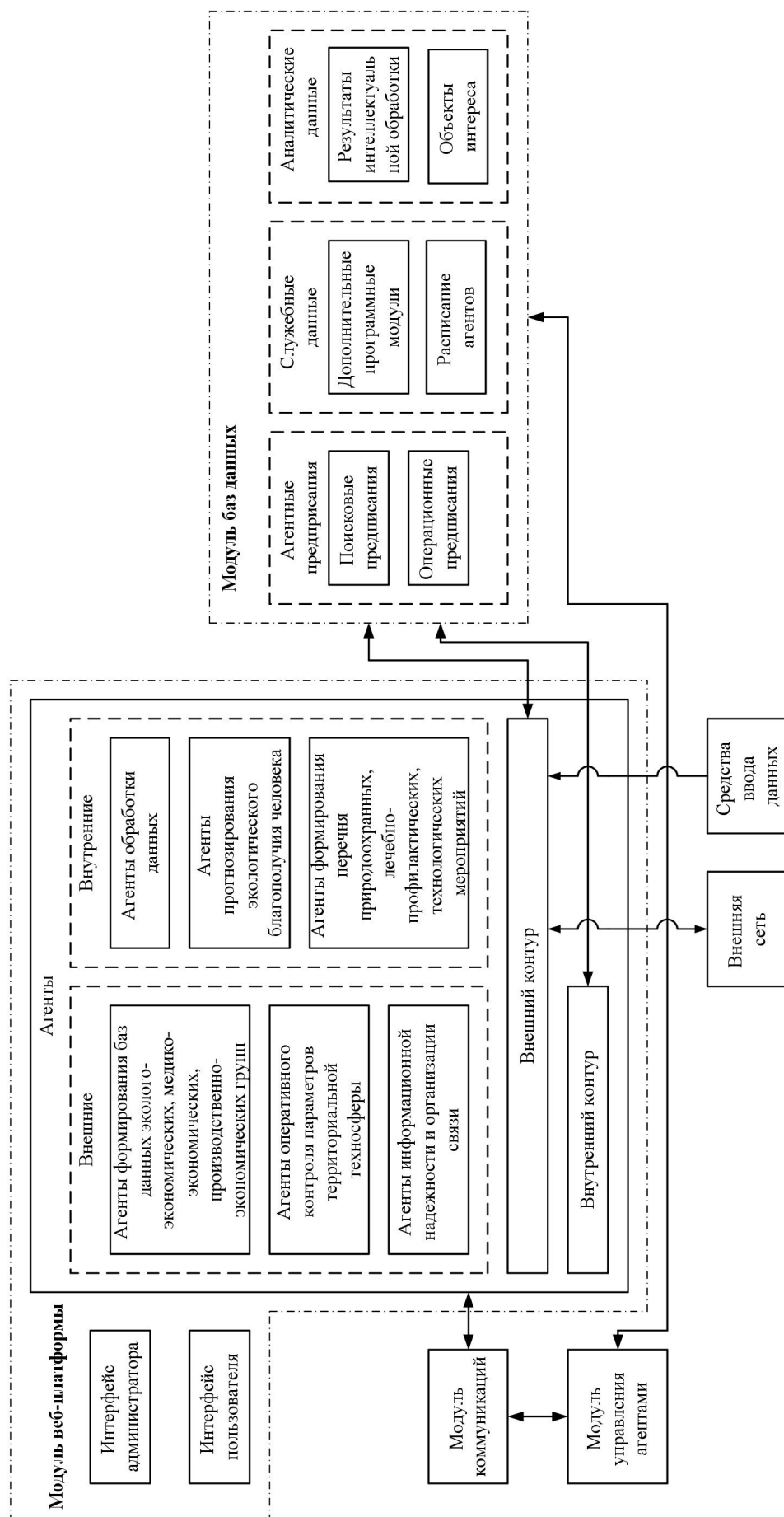


Рисунок 4 – Схема мультиагентной подсистемы информационно-измерительной системы определения ЭБЧ:
ЭБЧ – экологическое благополучие человека

Аппаратные агенты – это интеллектуальные датчики, содержащие в себе изменяемые по внешним сигналам алгоритмы работы и параметры, а также реализующие функцию метрологического самоконтроля. Программные (интеллектуальные) агенты реализуют алгоритмы поиска данных в достоверных базах данных значений параметров объектов техносферы, окружающей среды и проведения контроля, основанные на экологических нормативных правовых документах. Измерение параметров функционального состояния организма человека осуществляют при обращении человека в медицинскую организацию, при проведении плановой диспансеризации и медицинских осмотров по охране труда, в условиях чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, результат решения задачи интеллектуальным агентом зависит от действий, которые он может выполнить в пределах занимаемого им уровня в иерархии мультиагентной подсистемы.

Автором разработаны формально-логические модели интеллектуального агента и мультиагентной ИИС, характеризующиеся многопараметричностью, соблюдением метрологических стандартов при контроле многопараметрических объектов, инвариантностью, комплексностью анализа, иерархической структурой, интеллектуальностью, наличием причинно-следственных связей, оперативностью.

В составе ИИС определения экологического благополучия человека с учетом того, что и территориальная техносфера, и все составляющие ее элементы являются многопараметрическими объектами, автором предложены оригинальные, защищённые патентом (патент РФ № 2719467) способ и средства комплексного контроля и оценки состояния территориальной техносферы и ее элементов (человек, окружающая среда, объект техносферы) как многопараметрических объектов. Алгоритм комплексного контроля состояния многопараметрических объектов по разнородной информации приведён на рисунке 5.

Многопараметрический объект может находиться более чем в двух качественно различных состояниях, каждое из которых характеризуется определенными значениями контролируемых параметров, изменяющимися под воздействием факторов риска на многопараметрический объект.

Используя измеренные и зарегистрированные значения контролируемых параметров многопараметрического объекта, определяют значения параметров соответствия контролируемых параметров многопараметрического объекта установленным диапазонам допустимых (δ_{1j}) и предельных (δ_{2j}) значений по формуле

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } y_{nij} \leq \hat{y}_j \leq y_{bij}, \\ 1, & \text{если } \hat{y}_j < y_{nij} \text{ или } \hat{y}_j > y_{bij}, \\ \frac{\hat{y}_j - y_{bij}}{y_{bi+1j} - y_{bij}}, & \text{если } y_{bij} < \hat{y}_j \leq y_{bi+1j}, \\ \frac{\hat{y}_j - y_{nij}}{y_{ni+1j} - y_{nij}}, & \text{если } y_{ni+1j} \leq \hat{y}_j < y_{nij}, \end{cases} \quad (11)$$

диапазону запредельных значений по формуле

$$\delta_{3j} = \begin{cases} 0, \text{ если } y_{H3j} \leq \hat{y}_j \leq y_{B3j}, \\ 1, \text{ если } \hat{y}_j < y_{H3j} \text{ или } \hat{y}_j > y_{B3j}, \end{cases} \quad (12)$$

где y_{Hij} , y_{Bij} – значения нижних и верхних границ соответствующего диапазона.



Рисунок 5. Алгоритм способа комплексного контроля состояния ТТ как многопараметрического объекта по разнородной информации: КП – контролируемые параметры; ТТ – территориальная техносфера; МПО – многопараметрический объект

Для контролируемых параметров, значения которых вышли за пределы диапазона нормальных значений, определяем комплексный показатель состояния многопараметрического объекта для диапазонов допустимых (Δ_1), предельных (Δ_2) и запредельных (Δ_3) значений по формуле:

$$\Delta_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \delta_{ij}^2}. \quad (13)$$

Установив по результатам контроля диапазон для каждого комплексного показателя состояния, определяем состояние многопараметрического объекта. Полученные результаты отображаем путем построения графических образов – гистограмм и таблиц, а также в виде индикатора зеленого, желтого, красного

и черного цветов для нормального, допустимого, критического и аварийного состояний многопараметрического объекта соответственно (рисунок 6).

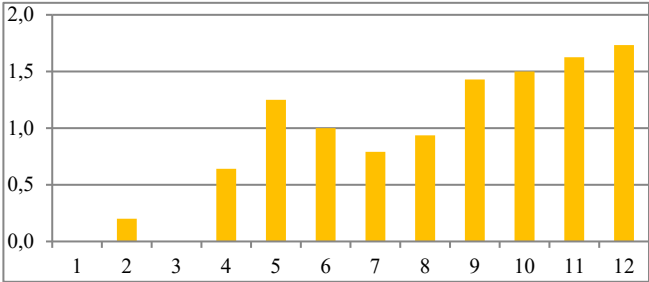
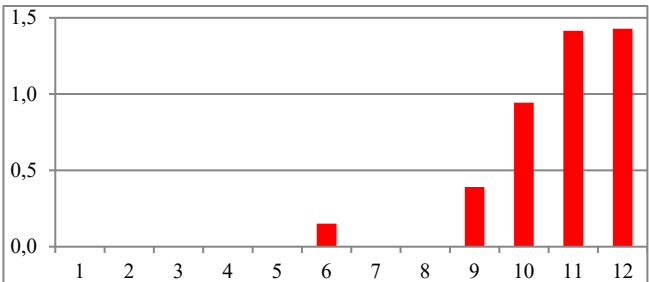
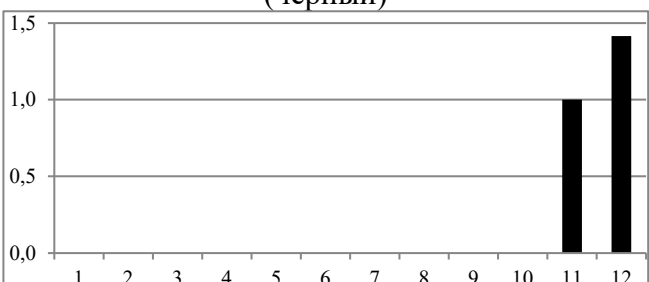
1	2	3
СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТА	АВАРИЙНОЕ  черный	текущее время: 18.30 интервал контроля: 30 минут
Диапазон допустимых значений	Номер контролируемого параметра, значение которого принадлежит диапазону допустимых значений: —	Комплексный показатель состояния объекта для диапазона допустимых значений (желтый) 
Диапазон предельных значений	Номер контролируемого параметра, значение которого принадлежит диапазону предельных значений: 4	Комплексный показатель состояния объекта для диапазона предельных значений (красный) 
Диапазон запредельных значений	Номер контролируемого параметра, значение которого принадлежит диапазону запредельных значений: 1, 3	Комплексный показатель состояния объекта для диапазона запредельных значений (черный) 

Рисунок 6 – Пример представления результатов контроля в виде изображений на мониторе персонального компьютера аварийного состояния многопараметрического объекта

Анализ значений контролируемых параметров состояния многопараметрического объекта позволяет сформировать результат контроля путем отне-

сения текущего состояния к одному из качественно различных возможных состояний: нормальное состояние, допустимое состояние, критическое состояние, аварийное состояние, что дает возможность более дифференцированно оценивать состояние многопараметрического объекта. Для человека это состав органических тканей и жидкостей и наличие в них нехарактерных компонентов, параметры работы систем, например сердечнососудистой. Для окружающей среды это значения концентраций веществ в средах, уровни излучений, для объектов техносферы это концентрации веществ на выходе источников выбросов или сбросов, объемы образования отходов и пр.

Расчеты показывают, что использование предложенного метода позволяет повысить оперативность принятия решения на основе комплексного параметра более чем в 15 раз, уменьшить вероятность принятия ошибочного решения более чем в 2 раза, повысить достоверность контроля состояния многопараметрического объекта до 0,7830, что почти в два раза больше, чем в известном способе.

В четвертой главе приведены оригинальные способы и средства оказания медицинской помощи в нормальных и в чрезвычайных ситуациях. Для оценки функционального состояния организма человека в составе ИИС определения экологического благополучия человека автором разработана оригинальная медицинская информационная подсистема контроля функционального состояния организма человека, которая позволяет определить для человека индивидуальные лечебно-профилактические мероприятия. Медицинская информационная подсистема двойного назначения выполнена по защищенной патентом (патент РФ № 2750057) структурной схеме, приведенной на рисунке 7.

Описание функционального состояния организма человека осуществляется с учетом наличия у него заболеваний, их тяжести и происхождения. Возможны следующие состояния человека: здоровое, морбидное и полиморбидное (мультиморбидное и коморбидное).

В обоих режимах функционирования медицинская информационная подсистема осуществляет автоматический сбор, обработку и анализ данных о функциональном состоянии организма человека и предлагает врачу для осуществления индивидуальные лечебно-профилактические мероприятия, т.е. мероприятия, основанные на учете особенностей функционального состояния организма каждого человека.

Это выполняет мультиагентная подсистема путем подбора, с использованием специализированных баз данных, информационных систем, справочных и нормативных источников, лечебно-профилактических мероприятий с учетом пола, возраста, веса, наличия противопоказаний, индивидуальной непереносимости препаратов, способа введения и дозы лекарств, кратности их применения, длительности схемы лечения и прочего, тем самым повышая вероятность выздоровления человека независимо от уровня квалификации врача и опыта его работы.

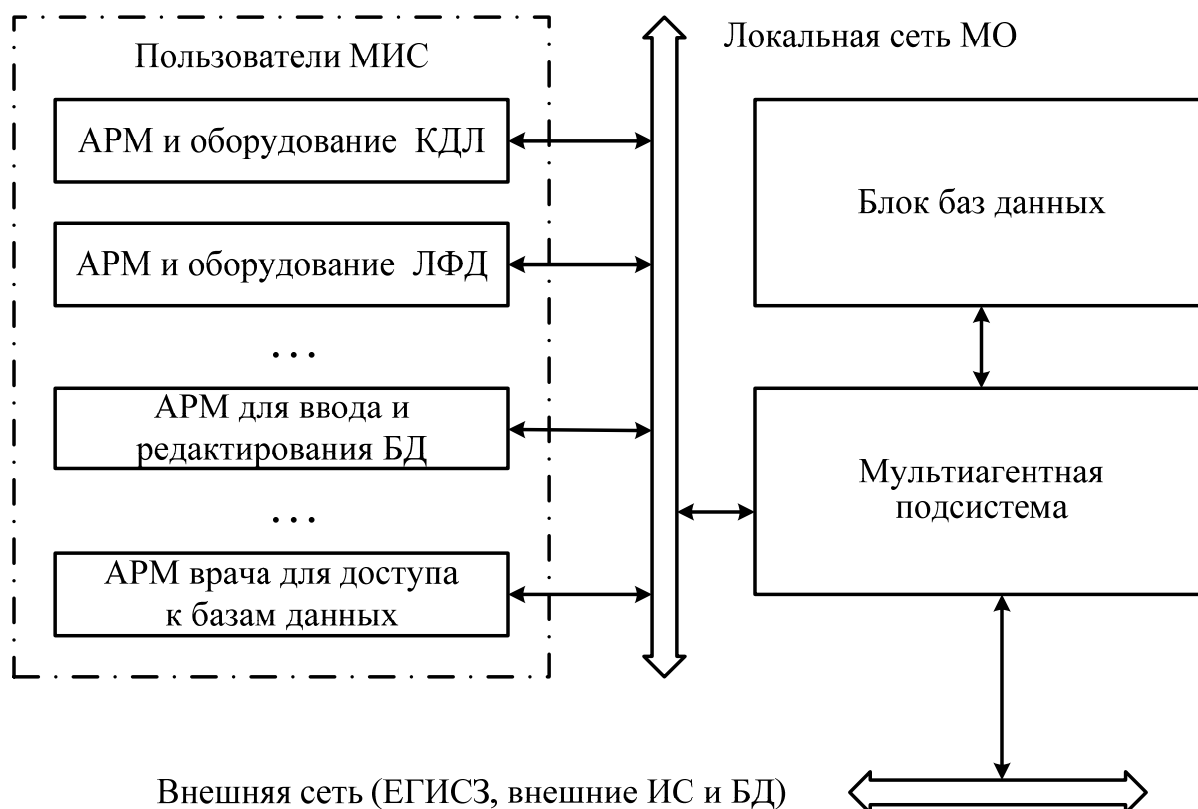


Рисунок 7 – Информационная подсистема, специализированная по функциональному назначению (экологическая, медицинская, объектов техносферы): ТТ – территориальная техносфера; ФР – факторы риска; БД – база данных; ИС – информационная система

В нормальных ситуациях медицинская информационная подсистема функционирует следующим образом (рисунок 8).

Измеренные значения параметров функционального состояния организма человека сравнивают со значениями, объединенными в медико-экономические группы.

Медико-экономические группы формируют с учетом нозологических групп заболеваний, возникающих в том числе и в зонах неблагоприятной экологической обстановки ($\overline{\text{ЭБЧ}}$). На основе результатов сравнения из баз данных медико-экономических групп выбирают перечень лечебно-профилактических мероприятий для этой нозологии и, учитывая особенности данного человека, индивидуализируют их.

По результатам осуществления выбранных лечебно-профилактических мероприятий проводят, при необходимости, корректировку перечня исследуемых параметров функционального состояния организма и их фактических значений.

Функционирование медицинской информационной подсистемы в нормальных условиях рассмотрим на примере способа нейросетевого анализа целевых значений состояния сердца (см. рисунок 7).



Рисунок 8 – Алгоритм нейросетевого анализа состояния сердца
ЭКС – электрокардиосигнал; ИМ – инфаркт миокарда

Сущность разработанного и защищенного патентом (патент РФ № 2704913) способа нейросетевого анализа состояния сердца заключается в автоматическом определении локализации, стадии и вида инфаркта миокарда по глубине поражения, что существенно повышает эффективность работы врача. По локализации и в зависимости от поражения ветвей коронарных артерий инфаркт миокарда бывает правожелудочковым и левожелудочковым. При ишемической болезни сердца, прежде всего, поражается миокард левого желудочка.

Для диагностики инфаркта миокарда осуществляют разделение поверхности левого желудочка сердца на области, для которых выявлены прямые и реципрокные признаки инфаркта миокарда, соответствующие конкретной стадии и конкретному виду инфаркта миокарда по глубине поражения; определяют стадию и вид инфаркта миокарда по глубине поражения по областям сердца; определяют локализацию инфаркта миокарда. Предложенный оригинальный способ при подозрении на инфаркт миокарда поможет врачу более полно и точнее оценить состояние сердца пациента, независимо от своего уровня квалификации и опыта работы. Результаты сравнения существующего и предлагаемого методов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты сравнения существующего и предлагаемого методов

Способ	Возможность диагностирования инфаркта миокарда при прямых признаках и непрявлении (нераспознавании) сопутствующих реципрокных признаков	Определение локализации инфаркта миокарда для конкретной стадии	Определение стадий инфаркта миокарда по областям сердца	Определение вида инфаркта миокарда по глубине поражения по областям сердца	Определение локализации инфаркта миокарда для нескольких установленных стадий	Вывод комплексных сведений об инфаркте миокарда, включающих информацию о его локализации, стадии и глубине поражения стенок областей сердца
Существующий способ	–	+	–	–	–	–
Предлагаемый способ	+	+	+	+	+	+

Предлагаемый способ нейросетевого анализа состояния сердца основан на усовершенствованных автором решающих правилах, поэтому позволяет автоматически представлять врачу на три признака больше информации для диагностики инфаркта миокарда, чем существующий (см. таблицу 1), за счет определения локализации инфаркта миокарда, стадии, глубины поражения тканей сердца, что невозможно существующим способом. Кроме того, способ реализован на оптимизированной схеме нейросетевого анализа, построенной на меньшем количестве нейронных сетей: в существующей системе – 975 нейронных сетей, в предлагаемой – 145 нейронных сетей, т.е. в 6 раз меньше. Расчеты показали, что он позволяет повысить чувствительность диагностики нейросетевого анализа электрокардиосигнала на 10 %.

Особенность функционирования предлагаемой медицинской информационной подсистемы в условиях чрезвычайных ситуаций заключается в возможности оказания экстренной медицинской помощи в течение «золотого часа». Для этого в зону чрезвычайной ситуации отправляют мобильные средства (гетерогенную группу беспилотных воздушных судов), задачами которых являются обнаружение пострадавшего, оценка функционального состояния его организма, доставка ему портативного кардиоанализатора или электрокардиографа и установление связи с врачом (патент РФ № 2694528).

Врач на автоматизированном рабочем месте, получая и обрабатывая данные о функциональном состоянии организма человека, имеет возможность, поставив предварительный диагноз, провести медицинскую сортировку, установить очередность, провести эвакуацию пострадавших из зоны чрезвычайной ситуации и/или оказать им экстренную медицинскую помощь до приезда бригады врачей (патент РФ № 2775688). Расчеты показали, что предложенный способ позволяет при внезапной остановке кровообращения повысить эффективность оказания экстренной кардиологической помощи и снизить летальность.

Автором предложен оригинальный, защищенный патентом (патент РФ № 2777115) способ оценки функционального состояния организма человека, позволяющий определить уровень его экологического благополучия. Суть способа заключается в определении и комбинированном анализе воздействия химических, физических и биологических факторов риска различной интенсивности на функциональное состояние организма человека.

В ходе оперативной аналитики результатов измерений составляют и обосновывают перечень приоритетных факторов риска, состоящий из K наименований для дальнейшего определения коэффициента экологического благополучия (K_i) по выражению

$$K_i = \begin{cases} \langle \frac{\hat{n}_i}{n_i^B} \rangle, & \text{если устанавливается верхнее граничное значение показателя,} \\ \langle \frac{n_i^H}{n_i} \rangle, & \text{если устанавливается нижнее граничное значение показателя,} \\ \langle 1 - \frac{\hat{n}_i - n_i^H}{n_i^B - \hat{n}_i} \rangle, & \text{если } n_i^H \leq \hat{n}_i < n_i^B, \end{cases} \quad (14)$$

где $\hat{n}_i$ – измеренное (определенное) значение анализируемого фактора риска; n_i^H – нижнее граничное значение анализируемого фактора риска; n_i^B – верхнее граничное значение анализируемого фактора риска.

При этом если $K_i < 1$, то фактор риска признается незначимым для определения уровня экологического благополучия человека, если $K_i \geq 1$, то фактор риска признается значимым для определения уровня экологического благополучия человека. Если хотя бы один фактор риска получил $K_i \geq 1$, то территорию определяют как экологически неблагополучную для человека.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что уровень экологического благополучия человека не постоянен и способен изменяться несколько раз в течение года. Но именно уровень экологического благополучия человека позволяет говорить о функциональном состоянии организма человека. Оценка уровня экологического благополучия человека предлагаемым способом позволяет вовремя рекомендовать природоохранные, лечебно-профилактические и технические мероприятия.

Пятая глава посвящена разработке способа формирования обоснованного перечня мероприятий, направленных на снижение уровня риска для здоровья человека и повышение уровня экологического благополучия человека. Для этого предложены способ и подсистема зонирования территории по уровню риска для здоровья человека.

Сущность разработанного автором способа заключается в делении территориальной техносферы на зоны в зависимости от рассчитанных значений риска для здоровья человека. Для каждой зоны формируется перечень природоохранных, лечебно-профилактических и технических мероприятий, направленных на поддержание и/или минимизацию выявленного уровня риска и необходимых затрат для реализации предлагаемых мероприятий.

Пример деления анализируемой территории (радиус R_0) на зоны приведен на рисунке 9 (патент РФ № 2782525).

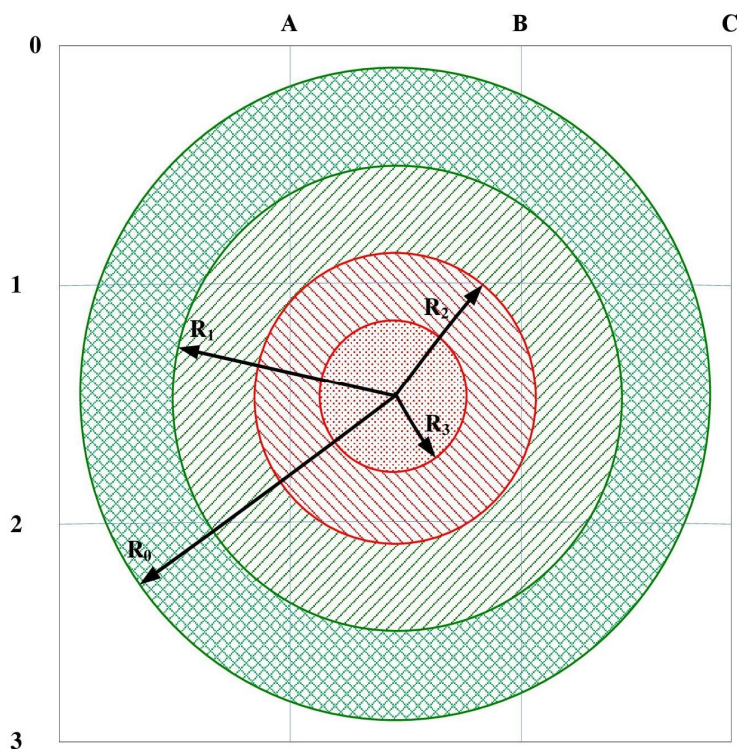


Рисунок 9 – Зонирование территориальной техносферы с учетом коэффициента экологического благополучия зоны проживания

В пределах анализируемой территории выделена зона радиусом $(R_0 - R_2)$ – это зона экологического благополучия человека, в которой нет ни одного фактора риска, признанного значимым для определения экологического благополучия и имеющего $KЭБЗП_i \geq 1$. В зоне радиусом R_2 есть как минимум один фактор риска, имеющий $KЭБЗП_i \geq 1$. Это зона экологического НЕблагополучия человека.

Внутри каждой из зон можно установить дополнительные границы для более «тонкого» деления анализируемой территории на зоны, например, по количеству факторов риска, признанных значимыми (когда более одного фактора риска признано значимым для определения экологического благополучия). Можно выделить зоны с различным количеством действующих факторов риска: зону с радиусом R_3 и зону с радиусом $(R_2 - R_3)$.

Или, если несколько факторов риска были признаны незначимыми для определения экологического благополучия, но они характеризуются различными значениями рисков, то можно выделить внутри зоны с радиусом $(R_0 - R_2)$ еще зону $(R_0 - R_2) - R_1$.

На основе базы данных факторов риска, результатов экологического мониторинга и расчетов рисков для здоровья человека формируют эколого-экономические, медико-экономические и производственно-экономические

группы параметров. Эти группы содержат данные, иллюстрирующие текущий уровень риска для здоровья населения, необходимые природоохранные, лечебно-профилактические и технические мероприятия для его снижения до допустимого уровня риска и стоимость всей совокупности мероприятий.

Для объектов техносферы с различными финансовыми возможностями формируют несколько таких групп в зависимости от необходимых затрат, и лицу, принимающему решения, предлагают несколько вариантов природоохранных, лечебно-профилактических и технических мероприятий для уменьшения уровня риска для здоровья человека.

Определение необходимых затрат для уменьшения уровня риска для здоровья человека осуществляют на основе модернизированного «подхода А. Пигу». Суть идеи А. Пигу состоит в том, что объект техносферы, формирующий факторы риска, осуществляет природоохранные, лечебно-профилактические и технические мероприятия (затраты).

При этом объем затрат должен быть достаточным для минимизации и/или исключения факторов риска.

На рисунке 10 приведен график формирования эколого-экономической группы параметров на основе «подхода А. Пигу» с использованием наилучших доступных технологий, отражающий зависимость затрат (З) на осуществление природоохранных, лечебно-профилактических и технических мероприятий от уровня риска для здоровья человека.

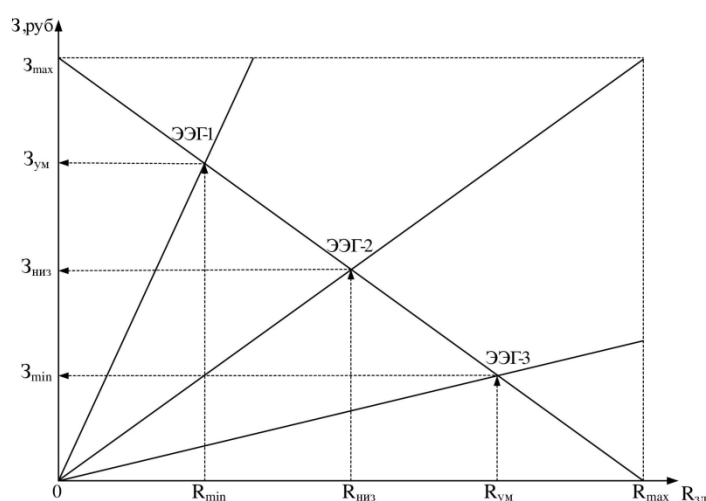


Рисунок 10 – График формирования эколого-экономической группы параметров на основе «подхода А. Пигу»;
ЭЭГ – эколого-экономическая группа

Прогнозирование последствий осуществления лечебно-профилактических, природоохранных и технических мероприятий, входящих в выбранную экономическую группу, осуществляется на основе предложенных автором способа и подсистемы оценки и определения экологического благополучия человека, использующих усовершенствованную систему дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерра для каждого i -го фактора риска:

$$\begin{cases} \frac{dr_i^{OT}}{dt} = a_1 r_i^{OT} - b_1 (r_i^{OT})^2 + c_1 r_i^{OT} r_i^{OC} + d_1 r_i^{OT} r_i^{ЧЕЛ}, \\ \frac{dr_i^{OC}}{dt} = a_2 r_i^{OC} - b_2 (r_i^{OC})^2 + c_2 r_i^{OC} r_i^{OT} + d_2 r_i^{OC} r_i^{ЧЕЛ}, \\ \frac{dr_i^{ЧЕЛ}}{dt} = a_3 r_i^{ЧЕЛ} - b_3 (r_i^{ЧЕЛ})^2 + c_3 r_i^{ЧЕЛ} r_i^{OT} + d_3 r_i^{ЧЕЛ} r_i^{OC}, \end{cases} \quad (15)$$

где r_i^{OT} – начальное значение техногенного риска; r_i^{OC} – начальное значение экологического риска; $r_i^{ЧЕЛ}$ – начальное значение риска для здоровья человека; a_1 – коэффициент загруженности объекта техносферы; a_2 – масштабы распространения экологического риска в территориальной техносфере; a_3 – коэффициент функционального состояния организма человека; b_1 – коэффициент эффективности работы средозащитного оборудования объекта техносферы; b_2 – коэффициент самовосстановления окружающей среды; b_3 – коэффициент самовосстановления функционального состояния организма человека; c_1 – коэффициент, учитывающий влияние объекта техносферы на окружающую среду; c_2 – коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды на функциональное состояние организма человека; c_3 – коэффициент, учитывающий влияние человека на объект техносферы; d_1 – коэффициент, учитывающий влияние объекта техносферы на функциональное состояние организма человека; d_2 – коэффициент, учитывающий влияние человека на окружающую среду; d_3 – коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды на объект техносферы.

Учитывая, что каждое состояние территориальной техносферы характеризуется тремя значениями рисков: для здоровья человека, экологического и техногенного – их фактические значения формируют состояния экологического благополучия человека ($S^{\text{ЭБЧ}}$) или экологического неблагополучия человека ($S^{\text{ЭБЧ}}$) в территориальной техносфере.

При этом непустое конечное множество состояний территориальной техносферы

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_q\} \quad (16)$$

является объединением двух непустых конечных подмножеств

$$S = S^{\text{ЭБЧ}} \cup S^{\text{ЭБЧ}}, \quad (17)$$

где $S^{\text{ЭБЧ}}$ – непустое конечное подмножество состояний экологического благополучия человека, $S^{\text{ЭБЧ}}$ – непустое конечное подмножество состояний экологического неблагополучия человека.

Каждое j -е состояние территориальной техносферы характеризуется непустыми конечными подмножествами параметров

$$S_j = \{R_j^{\text{ТТ}}, C_j^{\text{ТТ}}\}, \quad (18)$$

где $R_j^{\text{ТТ}}$ – набор параметров, характеризующих состояние территориальной техносферы в определенный момент времени t_j , а именно риск техногенный R_j^{OT} , риск экологический R_j^{OC} , риск для здоровья человека $R_j^{\text{ЧЕЛ}}$,

вектор-функция состояния территориальной техносферы

$$R_j^{TT} = \langle R_j^{OT}, R_j^{OC}, R_j^{ЧЕЛ} \rangle, \quad (19)$$

где вектор-функция состояния объекта техносферы

$$R_j^{OT} = \langle r_1^{OT}, r_2^{OT}, \dots, r_n^{OT} \rangle, \quad (20)$$

вектор-функция состояния окружающей среды

$$R_j^{OC} = \langle r_1^{OC}, r_2^{OC}, \dots, r_n^{OC} \rangle, \quad (21)$$

вектор-функция функционального состояния человека

$$R_j^{OC} = \langle r_1^{ЧЕЛ}, r_2^{ЧЕЛ}, \dots, r_n^{ЧЕЛ} \rangle; \quad (22)$$

C_j^{TT} – набор параметров, характеризующих совокупность затрат ресурсов, необходимых для определения экологического благополучия человека;

вектор-функция затрат ресурсов на определение состояния территориальной техносферы

$$C_j^{TT} = \langle C_j^{ПЭГ}, C_j^{ЭЭГ}, C_j^{МЭГ} \rangle, \quad (23)$$

где вектор-функция затрат ресурсов, необходимых для обеспечения качества функционирования объекта техносферы,

$$C_j^{ПЭГ} = \langle c_1^{ПЭГ}, c_2^{ПЭГ}, \dots, c_n^{ПЭГ} \rangle, \quad (24)$$

вектор-функция затрат ресурсов, необходимых для обеспечения качества окружающей среды,

$$C_j^{ЭЭГ} = \langle c_1^{ЭЭГ}, c_2^{ЭЭГ}, \dots, c_n^{ЭЭГ} \rangle, \quad (25)$$

вектор-функция затрат ресурсов, необходимых для обеспечения здоровья человека,

$$C_j^{МЭГ} = \langle c_1^{МЭГ}, c_2^{МЭГ}, \dots, c_n^{МЭГ} \rangle. \quad (26)$$

Определение экологического благополучия человека осуществляют на основе матрицы рисков территориальной техносферы

$$R_j^{TT} = \begin{bmatrix} r_1^{OT} & r_1^{OC} & r_1^{ЧЕЛ} \\ r_2^{OT} & r_2^{OC} & r_2^{ЧЕЛ} \\ \dots & \dots & \dots \\ r_n^{OT} & r_n^{OC} & r_n^{ЧЕЛ} \end{bmatrix}, \quad (27)$$

где сумма элементов 1-го столбца матрицы формирует значение техногенного риска:

$$R_j^{OT} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i^{OT}}{n}, \quad (28)$$

сумма элементов 2-го столбца матрицы формирует значение экологического риска:

$$R_j^{OC} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i^{OC}}{n}, \quad (29)$$

сумма элементов 3-го столбца матрицы формирует значение риска для здоровья человека:

$$R_j^{ЧЕЛ} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i^{ЧЕЛ}}{n}, \quad (30)$$

скалярная величина состояния территориальной техносферы

$$R^{TT} = \frac{1}{3}(R_j^{OT} + R_j^{OC} + R_j^{OC}). \quad (31)$$

Причем при значениях $0 \leq R^{TT} \leq 1$ определяют экологически благоприятное состояние территориальной техносферы, что соответствует состоянию экологического благополучия человека ($S^{\text{ЭБЧ}}$), при значениях $R^{TT} > 1$ определяют экологически неблагоприятное состояние территориальной техносферы, что не соответствует состоянию экологического благополучия человека ($S^{\text{ЭБЧ}}$).

Корректировка состояния экологического неблагополучия человека осуществляется на основе многомерного анализа всех рисков путем определения минимально возможных требуемых затрат для заданных значений рисков:

$$R_{(j+1)}^{OT} = \min \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^{OT} \left(1 - \frac{k_i^{OT} C_{\text{треб}}^{OT}}{C_{i\text{max}}^{OT} - C_{i\text{влож}}^{OT}} \right) \right] \quad (32)$$

для $k_i^{OT} = \text{var}$ при $\sum_{i=1}^n k_i^{OT} = 1$,

где $R_{(j+1)}^{OT}$ – заданное значение техногенного риска для $(j+1)$ -го состояния территориальной техносферы; r_i^{OT} – значение техногенного риска от i -го фактора риска для j -го состояния территориальной техносферы; $C_{i\text{max}}^{OT}$ – максимальные затраты на снижение техногенного риска от i -го фактора риска, при которых $r_i^{OT} \rightarrow 0$; $C_{i\text{влож}}^{OT}$ – вложенные затраты на снижение техногенного риска от i -го фактора риска, соответствующие значению данного риска от i -го фактора риска для j -го состояния территориальной техносферы; $C_{\text{треб}}^{OT}$ – требуемые затраты на снижение техногенного риска; k_i^{OT} – коэффициент распределения требуемых затрат на снижение техногенного риска от i -го фактора риска;

$$R_{(j+1)}^{OC} = \min \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^{OC} \left(1 - \frac{k_i^{OC} C_{\text{треб}}^{OC}}{C_{i\text{max}}^{OC} - C_{i\text{влож}}^{OC}} \right) \right] \quad (33)$$

для $k_i^{OC} = \text{var}$ при $\sum_{i=1}^n k_i^{OC} = 1$,

где $R_{(j+1)}^{OC}$ – заданное значение экологического риска для $(j+1)$ -го состояния территориальной техносферы; r_i^{OC} – значение экологического риска от i -го фактора риска для j -го состояния территориальной техносферы; $C_{i\text{max}}^{OC}$ – максимальные затраты на снижение экологического риска от i -го фактора риска, при которых $r_i^{OC} \rightarrow 0$; $C_{i\text{влож}}^{OC}$ – вложенные затраты на снижение экологического риска от i -го фактора риска, соответствующие значению данного риска от i -го фактора риска для j -го состояния территориальной техносферы; $C_{\text{треб}}^{OC}$ – требуемые затраты на снижение экологического риска; k_i^{OC} – коэффициент распределения требуемых затрат на снижение экологического риска от i -го фактора риска;

$$R_{(j+1)}^{\text{ЧЕЛ}} = \min \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i^{\text{ЧЕЛ}} \left(1 - \frac{k_i^{\text{ЧЕЛ}} C_{\text{треб}}^{\text{ЧЕЛ}}}{C_{i\text{max}}^{\text{ЧЕЛ}} - C_{i\text{влож}}^{\text{ЧЕЛ}}} \right) \right] \quad (34)$$

для $k_i^{\text{ЧЕЛ}} = \text{var}$ при $\sum_{i=1}^n k_i^{\text{ЧЕЛ}} = 1$,

где $R_{(j+1)}^{\text{ЧЕЛ}}$ – заданное значение риска для здоровья человека для $(j + 1)$ -го состояния территориальной техносферы; $r_i^{\text{ЧЕЛ}}$ – значение риска для здоровья человека от i -го фактора риска для j -го состояния территориальной техносферы; $C_{i\text{max}}^{\text{ЧЕЛ}}$ – максимальные затраты на снижение риска для здоровья человека от i -го фактора риска, при которых $r_i^{\text{ЧЕЛ}} \rightarrow 0$; $C_{i\text{влож}}^{\text{ЧЕЛ}}$ – вложенные затраты на снижение риска для здоровья человека от i -го фактора риска, соответствующие значению данного риска от i -го фактора риска для j -го состояния территориальной техносферы; $C_{\text{треб}}^{\text{ЧЕЛ}}$ – требуемые затраты на снижение риска для здоровья человека; $k_i^{\text{ЧЕЛ}}$ – коэффициент распределения требуемых затрат на снижение риска для здоровья человека от i -го фактора риска.

При этом формируется матрица затрат на обеспечение медико-экономических, эколого-экономических и производственно-экономических групп параметров для нового $(j + 1)$ -го состояния территориальной техносферы:

$$C_{j+1}^{\text{ТТ}} = \begin{bmatrix} c_1^{\text{ОТ}} & c_1^{\text{ОС}} & c_1^{\text{ЧЕЛ}} \\ c_2^{\text{ОТ}} & c_2^{\text{ОС}} & c_2^{\text{ЧЕЛ}} \\ \dots & \dots & \dots \\ c_n^{\text{ОТ}} & c_n^{\text{ОС}} & c_n^{\text{ЧЕЛ}} \end{bmatrix}, \quad (35)$$

где сумма элементов 1-го столбца матрицы формирует затраты ресурсов на обеспечение техногенного риска в рамках производственно-экономической группы:

$$C^{\text{ПЭГ}} = \sum_{i=1}^n k_i^{\text{ОТ}} C_{\text{треб}}^{\text{ОТ}} = \sum_{i=1}^n c_i^{\text{ОТ}}, \quad (36)$$

сумма элементов 2-го столбца матрицы формирует затраты ресурсов на обеспечение экологического риска в рамках эколого-экономической группы:

$$C^{\text{ЭЭГ}} = \sum_{i=1}^n k_i^{\text{ОС}} C_{\text{треб}}^{\text{ОС}} = \sum_{i=1}^n c_i^{\text{ОС}}, \quad (37)$$

сумма элементов 3-го столбца матрицы формирует затраты ресурсов на обеспечение риска для здоровья человека в рамках медико-экономической группы:

$$C^{\text{МЭГ}} = \sum_{i=1}^n k_i^{\text{ЧЕЛ}} C_{\text{треб}}^{\text{ЧЕЛ}} = \sum_{i=1}^n c_i^{\text{ЧЕЛ}}, \quad (38)$$

вектор-функция затрат ресурсов на обеспечение состояния территориальной техносферы

$$C^{\text{ЭБЧ}} = \langle C^{\text{ПЭГ}}, C^{\text{ЭЭГ}}, C^{\text{МЭГ}} \rangle, \quad (39)$$

скалярная величина состояния территориальной техносферы

$$C^{\text{ЗАТР}} = C^{\text{ПЭГ}} + C^{\text{ЭЭГ}} + C^{\text{МЭГ}}, \quad (40)$$

а именно

$$S^{\text{ЭБЧ}} = \begin{bmatrix} S_1^{\text{ОТ}} & S_1^{\text{ОС}} & S_1^{\text{ЧЕЛ}} \\ S_2^{\text{ОТ}} & S_2^{\text{ОС}} & S_2^{\text{ЧЕЛ}} \\ \dots & \dots & \dots \\ S_n^{\text{ОТ}} & S_n^{\text{ОС}} & S_n^{\text{ЧЕЛ}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1^{\text{ОТ}} & r_1^{\text{ОС}} & r_1^{\text{ЧЕЛ}} \\ r_2^{\text{ОТ}} & r_2^{\text{ОС}} & r_2^{\text{ЧЕЛ}} \\ \dots & \dots & \dots \\ r_n^{\text{ОТ}} & r_n^{\text{ОС}} & r_n^{\text{ЧЕЛ}} \end{bmatrix} \cup \begin{bmatrix} c_1^{\text{ОТ}} & c_1^{\text{ОС}} & c_1^{\text{ЧЕЛ}} \\ c_2^{\text{ОТ}} & c_2^{\text{ОС}} & c_2^{\text{ЧЕЛ}} \\ \dots & \dots & \dots \\ c_n^{\text{ОТ}} & c_n^{\text{ОС}} & c_n^{\text{ЧЕЛ}} \end{bmatrix}. \quad (41)$$

Полученная матрица затрат (41) определяет такое экологически благополучное состояние территориальной техносферы, при котором ни одно значение фактора риска не может быть изменено без изменения значения другого фактора риска.

Результаты прогнозирования изменения уровня экологического благополучия человека в результате осуществления мероприятий приведены на рисунке 11. Моделирование проведено в *Matlab/Simulink*. В этой среде реализована система из трех дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерра и получена зависимость, на которой точка А (1,7; 0,6; 0,73) соответствует анализируемой ситуации. Для снижения уровня техногенного риска хотя бы до 1, необходимо уменьшить также экологический риск до уровня 0,32 и риск здоровью человека до уровня 0,56, что соответствует точке В на рисунке 11. Если не обращать внимание на сложившуюся ситуацию, то риски будут увеличиваться, повышая уровень экологического неблагополучия человека.

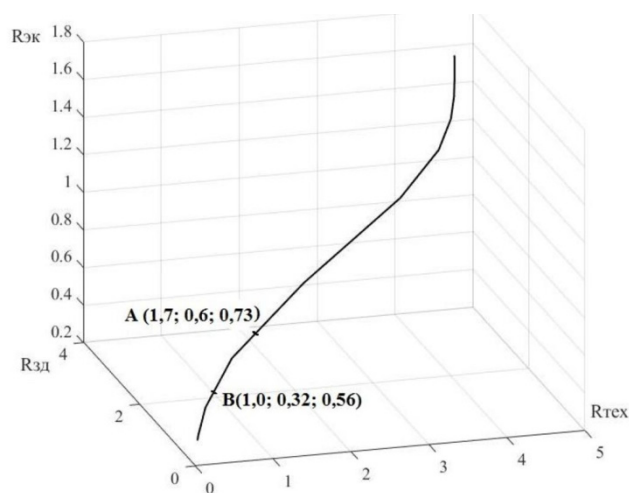


Рисунок 11 – Результаты прогнозирования изменения уровня экологического благополучия человека

Анализ системы (15) с использованием фазовой плоскости является важным методом при исследовании взаимодействия элементов в территориальной техносфере. Решение этой системы дает две устойчивые точки. Особая точка в начале координат плоскости является неустойчивой седловой точкой, так как вблизи точки (0,0) при x , y и z , стремящихся к единице, получается линия, близкая к гиперболе (рисунок 12,а).

Ненулевая точка – это центр, что подтверждает эллиптическая замкнутая траектория. Следовательно, решение системы (15) имеет колебательный характер, так как с течением времени решение в плоскости (x , y , z) еще раз пройдет через любую точку, которая будет принята как исходная в начальный момент времени. Колебательные решения, полученные путем численного интегрирования системы (15), приведены на рисунках 12,б и 12,в. Отсюда следует, что значения риска для здоровья человека и техногенного риска находятся не в фазе, при этом изменение риска для здоровья человека «запаздывает» по отношению к техногенному риску.

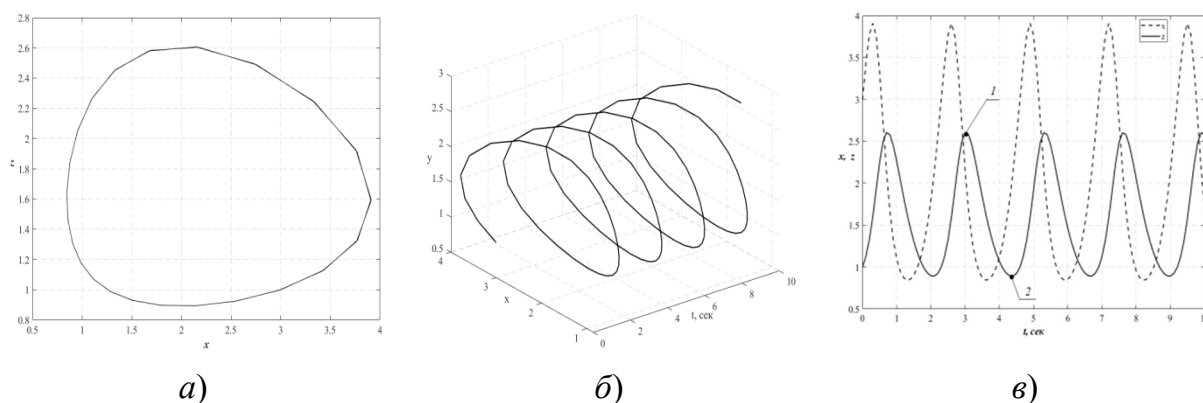


Рисунок 12 – Результаты моделирования взаимодействия элементов в территориальной техносфере: *а* – фазовый портрет; *б* – фазовая траектория; *в* – зависимость экологического и техногенного риска от риска для здоровья человека

Как видно из рисунка 12, числовым решением системы (15) может быть как замкнутая фазовая траектория (*а*), так и спираль в виде аттрактора (*б*).

Представленная на рисунке 12, *б* спираль показывает, что при определенном перераспределении ресурсов (финансовых, материальных и пр.), влияющем на состояние элементов территориальной техносферы, возможно поддерживать состояние экологического благополучия человека в любой точке фазовой плоскости, даже если она не является устойчивой.

Разработанная ИИС реализует алгоритм определения экологического благополучия человека, приведенный на рисунке 13.



Рисунок 13 – Алгоритм определения экологического благополучия человека

В шестой главе рассмотрены вопросы построения ИИС определения экологического благополучия человека на основе мультиагентных технологий. Упрощенная схема ИИС определения ЭБЧ приведена на рисунке 14.

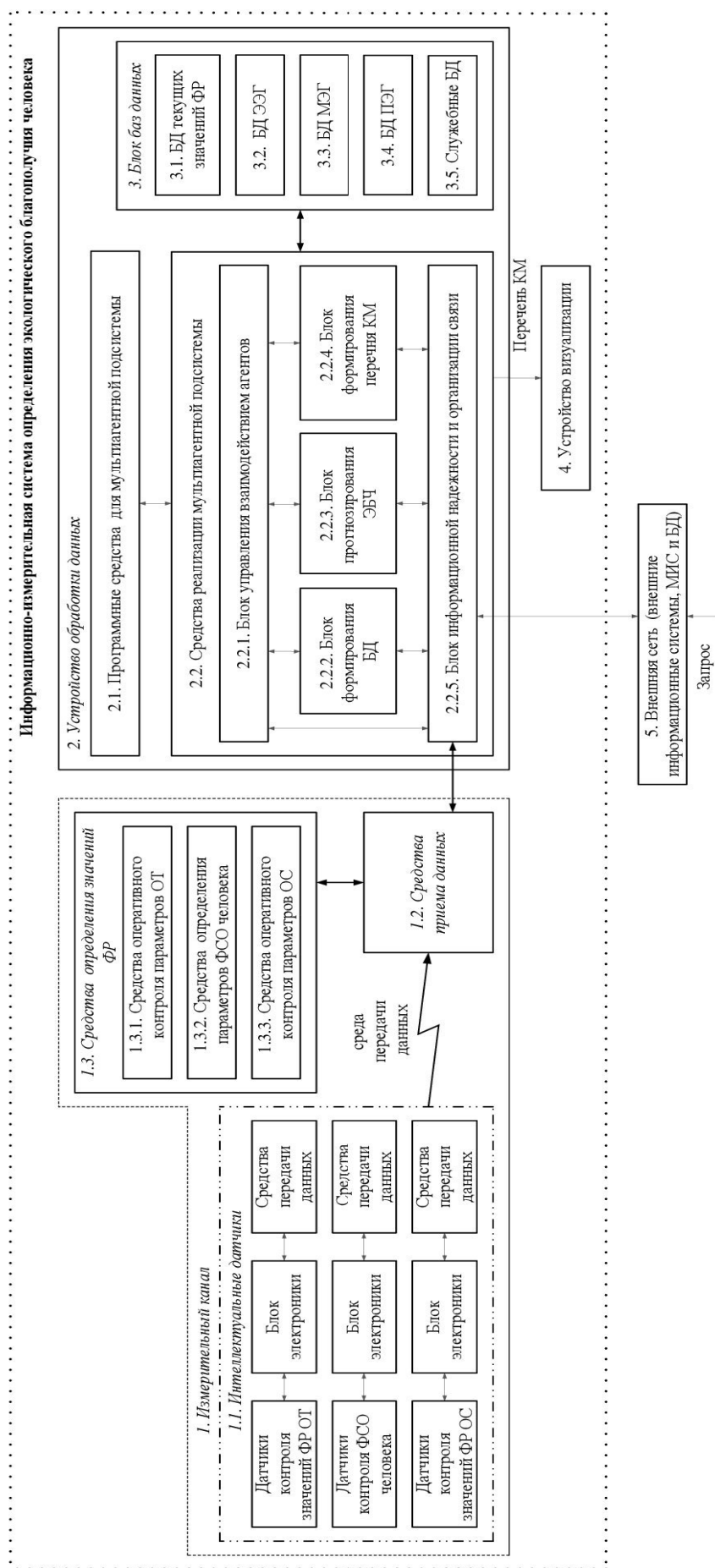


Рисунок 14 – Упрощенная схема информационно-измерительной системы определения ЭБЧ:
 ЭБЧ – экологическое благополучие человека; ФР – фактор риска; МИС – медицинская информационная система;
 БД – база данных; ЭЭГ – эколого-экономические группы; МЭГ – медико-экономические группы;
 ПЭГ – производственно-экономические группы

При проведении метрологического анализа измерительного канала ИИС определения ЭБЧ необходимо учесть следующие особенности.

При измерении значений ФР погрешность измерительного канала складывается из погрешности датчиков контроля элементов ТТ и погрешности остальных элементов.

Измерение значений ФР в ОС и на ОТ проводят аналогичными датчиками, так как условия измерения сопоставимые.

Измерение значений ФР систем, органов и тканей организма человека проводят специальными приборами с различными чувствительными элементами. Во всех этих случаях проводят забор образцов биологических жидкостей и тканей человека и исследование их по существующим методикам с целью определения проявления ФР.

Автором проведен метрологический анализ измерительного канала (ИК) ИИС определения ЭБЧ. В ИК погрешности вызываются несколькими независимыми друг от друга случайными причинами, поэтому складываются не сами погрешности, а их квадраты. Тогда суммарная относительная погрешность ИК выражается формулой

$$\delta_{\Pi} = k \sqrt{\delta_{\text{сенсор}}^2 + \delta_{\text{ВУ}}^2 + \delta_{\text{АЦП}}^2 + \delta_{\text{КС}}^2 + \delta_{\text{ОУ}}^2}, \quad (42)$$

где k – коэффициент, определяемый доверительной вероятностью P . Для $P = 0,95$ коэффициент $k = 1,1$; $\delta_{\text{сенсор}}^2$ – относительная погрешность сенсора; $\delta_{\text{ВУ}}^2$ – относительная погрешность представления числа в вычислительном устройстве с плавающей запятой; $\delta_{\text{АЦП}}^2$ – суммарная относительная погрешность аналого-цифрового преобразователя; $\delta_{\text{КС}}^2$ – относительная погрешность, вносимая каналом связи; $\delta_{\text{ОУ}}^2$ – относительная погрешность операционного усилителя.

Относительная погрешность представления числа в вычислительном устройстве с плавающей запятой типа *float* составляет $\delta_{\text{ВУ}} \approx 1 \cdot 10^{-8} \%$. Эта погрешность в несколько раз меньше остальных погрешностей, поэтому ее вклад в суммарную погрешность оказывается незначительным и ею можно пренебречь.

Расчет относительной погрешности АЦП осуществляется по формуле

$$\delta_{\text{АЦП}} = \sqrt{(0,011)^2 + (0,08)^2 + (0,04)^2 + (0,019)^2 + (0,011)^2} = 0,31 \%$$

Погрешность операционного усилителя составляет

$$\delta_{\text{УС}} = \pm 0,01 \%$$

Погрешность низкочастотного фильтра, учитывающая напряжение смещения, определяется по формуле

$$\delta_{\text{ФНЧ}} = \pm 0,1 \%$$

Погрешность, вызванная напряжением смещения,

$$\delta_{\text{см}} = 0,1 \%$$

Тогда суммарная относительная погрешность измерений составит:

– для датчика аммиака *EnergoM-3001-NH3*

$$\delta_{\Pi} = 1,1\sqrt{(0,00005)^2 + (0,31)^2 + (0,01)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2} = 0,374 \%;$$

– для многоэлектродной подсистемы регистрации электрокардиосигнала

$$\delta_{\Pi} = 1,1\sqrt{(5)^2 + (0,31)^2 + (0,01)^2 + (0,1)^2 + (0,1)^2} \approx 2,5 \%.$$

В результате проведенного метрологического анализа измерительных каналов контроля значений факторов риска объекта техносферы, окружающей среды и функционального состояния организма человека информационно-измерительной системы для определения экологического благополучия человека установлено, что суммарная относительная погрешность составляет:

– для датчиков контроля значений факторов риска в окружающей среде и на объектах техносферы не более 0,4 %;

– для многоэлектродной подсистемы регистрации электрокардиосигнала порядка 2,5 %.

Это является приемлемым значением для измерительного контроля.

Также данные о функциональном состоянии организма человека могут быть получены от портативных приборов контроля состояния организма человека, например в ходе холтеровского мониторирования или от портативного кардиоанализатора. Полученные результаты заносят в электронную медицинскую карту пациента, откуда интеллектуальный агент может получить их для определения экологического благополучия человека.

По специальным справочникам определяют предельно допустимые и специальные данные о воздействии анализируемых факторов риска на окружающую среду и функциональное состояние организма человека. Все полученные данные аккумулируют в базе данных значений факторов риска.

Формирование баз данных предметно-экономических групп осуществляют соответствующие интеллектуальные агенты. При поступлении запроса от лица, принимающего решения по оценке уровня экологического благополучия человека в заданной территориальной техносфере, мультиагентная подсистема формирует предметно-экономические группы параметров для сложившейся ситуации.

Определение экологического благополучия человека проводят на основе значений рисков (техногенного, экологического, для здоровья человека), которые получают расчетным путем для каждого фактора риска. Экранные формы ИИС определения экологического благополучия человека приведены на рисунке 15.

Средствами определения факторов риска являются аппаратные и программные интеллектуальные агенты, которые позволяют измерить или определить по достоверным базам данных значения параметров объектов техносферы, функционального состояния организма человека, окружающей среды и подготовить данные в формате, удобном для передачи по сети (см. рисунок 15,а и 15,б).

Для снижения уровней всех рисков, полученных ранее, необходимо правильно составить перечень природоохранных, лечебно-профилактических и технических мероприятий.

1 Результаты измерений и их оценка

Среда	Точка №	Координаты точки
Гидросфера	1	53.195042, 45.018316
Дата	Время	Фактор опасности
09.12.2022	0:00	ионы меди Cu2+

Измеренное значение
0,0015 мг/л

ПДЗ-1
1 мг/л

Наличие превышения-1
0

ПДЗ-N
0,001 мг/л

Наличие превышения-N
0,0005 мг/л

Карта

а)

3 Результаты расчета рисков и зонирования территории

Риск для здоровья человека	Риск экологический
2,4	1,6
Риск техногенный	Риск территориальной техносферы
1,1	1,8
Фазовый портрет	Фазовая траектория

Зависимость рисков от времени

Карта

в)

2 Параметры ФСО человека и их оценка

Электрокардиосигнал

Признаки инфаркта миокарда
Прямые признаки: Зубец Q – отсутствует; Зубец R – уменьшен; Интервал ST – элевация (меньше, чем при трансмуральном повреждении); Зубец T – отсутствует

Вид инфаркта миокарда по глубине поражения
субэпикардиальный

Стадия инфаркта миокарда
остройшая

Микроэлемент
медь

Его содержание в крови факт	Его содержание в крови ПДЗ
15,16 мкмоль/л	12,56-25,12 мкмоль/л
Его содержание в слюне факт	Его содержание в слюне ПДЗ
-	-
Его содержание в моче факт	Его содержание в моче ПДЗ
6,8 кг/л	3 - 35 м кг/л
Его содержание в волосах факт	Его содержание в волосах ПДЗ
11,15 мг/кг	≥ 10,36±0,95 мг/кг
Его содержание в слезистой факт	Его содержание в слезистой ПДЗ
-	-

б)

4 Перечень мероприятий

Требуемое снижение риска для здоровья человека	Затраты на обеспечение риска для здоровья человека
1,4	16 000,00 руб
Требуемое снижение риска экологического	Затраты на обеспечение риска экологического
0,6	-
Требуемое снижение риска техногенного	Затраты на обеспечение риска техногенного
0,1	3 000 000,00 руб
Требуемое снижение риска территориальной техносферы	Затраты на обеспечение риска территориальной техносферы
1,8	3 016 000,00 руб
Зависимость А Пигу	Трехмерная модель риска территориальной техносферы

Код мероприятия
1

Наименование мероприятия
1. лечебно-профилактические; 2. технические.

Описание мероприятия
1. применение антидотов, сорбентов; 2. совершенствование оборудования очистки сточных вод

Технические характеристики
1. препарат Унитиол, Полифепан, гемодиализ; 2. ионообменная очистка с рекуперацией Cu2+ при эффективности очистки более 0,95.

Стоимость мероприятия
3 000 000,00 руб

г)

Рисунок 15 – Экранные формы информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека

Формирование этого перечня осуществляют на основе многомерного анализа риска для здоровья человека, экологического и техногенного рисков

путем определения минимально возможных затрат, которые требуются для заданных значений рисков (см. рисунок 15,2).

Агент информационной надежности и организации связи используется для обеспечения целостности хранящихся в ИИС данных (для этого применяются корректирующие коды, которые обнаруживают и исправляют ошибки в системе без прерывания ее работы), а также для защиты данных и разграничения доступа к внешним информационным системам и базам данных.

Наличие средств защиты данных и доступа к внешним информационным системам и базам данных обусловлено требованиями защиты данных.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В ходе проведенных исследований и решения поставленных задач были получены следующие результаты:

1. В результате анализа современных систем экологического мониторинга, мониторинга здоровья человека, технологического мониторинга выявлено, что результаты их работы не коррелируются и не дают полного представления об экологическом благополучии человека в территориальной техносфере, так как они характеризуются ведомственной разобщенностью и отсутствием комплексной, совместной оценки и учета взаимного влияния окружающей среды, человека и объектов техносферы.

2. Впервые разработаны концепция и методология определения экологического благополучия человека, включая оценку текущего состояния здоровья человека, научно обосновывается создание перспективных информационно-измерительных систем, повышающих эффективность существующих информационно-измерительных систем в 4 раза и отличающихся параллельным применением методов измерений контролируемых параметров элементов территориальной техносферы: человека, окружающей среды, объекта техносферы; совместным измерением контролируемых параметров элементов территориальной техносферы: человека, окружающей среды, объекта техносферы; комплексной оценкой на основе многопараметрического анализа и факторов риска текущего состояния, мониторингом и диагностикой состояния здоровья человека, окружающей среды и объекта техносферы (патент РФ № 2719467); зонированием территориальной техносферы по экологическому благополучию человека на основе вероятности достижения желаемого результата (патенты РФ № 2782525, 2770115).

3. Созданные математическое и алгоритмическое обеспечения информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека на основе усовершенствованной системы дифференциальных уравнений Лотки – Вольтерра, описывающей взаимодействие трех элементов территориальной техносферы: человека, окружающей среды, объекта техносферы, определяют и прогнозируют с достоверностью более 95 % состояние экологического благополучия человека как устойчивое или неустойчивое, предлагают корректирующие мероприятия, направленные на повышение экологического благополучия человека.

4. Разработаны подсистема и алгоритм для оценки текущего состояния, мониторинга, прогнозирования и диагностирования здоровья человека, отличающиеся использованием интеллектуальных агентов для формирования медико-экономических групп параметров, медицинского обследования и оценки здоровья пациента (патент РФ № 2750057); нейросетевым анализом электрокардиосигнала для формирования автоматического заключения о диагностировании инфаркта миокарда (патент РФ № 2704913) и позволяющие за счет мультиагентных технологий повысить оперативность, техническую эффективность медицинского обследования и техническую эффективность предлагаемой информационно-измерительной системы определения экологического благополучия человека на 30 %, а за счет нейросетевого анализа повысить чувствительность диагностики инфаркта миокарда на 10 %.

5. Разработаны телемедицинская подсистема и алгоритм для оценки текущего состояния, мониторинга, прогнозирования и диагностирования здоровья человека в чрезвычайных ситуациях в течение «золотого часа» медицины катастроф, позволяющие повысить оперативность медицинской помощи и снизить летальность пострадавших за счет совместного использования оригинальных гетерогенных групп беспилотных воздушных судов, роботов и робототехнических комплексов медицинского назначения (патенты РФ № 2694528, № 2775688, № 2762052).

6. Впервые разработаны способ и подсистема комплексного контроля состояния территориальной техносферы (патент РФ № 2782525) по разнородной информации (патент РФ № 2719467), отличающиеся многопараметричностью, мультиграничностью и иерархией параметров; комплексностью показателя состояния контролируемого объекта; визуализацией результата контроля и позволяющие расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры; повысить достоверность оценки состояния многопараметрического объекта на 12 %.

7. Разработаны способ, подсистема и технические средства для зонирования территориальной техносферы на основе критерия экологического благополучия человека (патенты РФ № 2770115, № 2782525), отличающиеся комплексным многопараметрическим анализом сигналов и данных с учетом химического, физического и биологического воздействия объекта техносферы на человека; определением перечня приоритетных показателей экологического благополучия зоны проживания человека и позволяющие расширить функциональные возможности ведомственных информационно-измерительных систем городской инфраструктуры; разделить территориальную техносферу на зоны с различной вероятностью обеспечения экологического благополучия и здоровья человека.

8. Разработана информационно-измерительная система определения экологического благополучия человека, осуществляющая оценку, моделирование, прогнозирование и зонирование рисков для здоровья человека, экологического, техногенного; повышающая экологическую эффективность элементов территориальной техносферы в 2 раза; снижающая риск негативного воздействия объектов техносферы на функциональное состояние организма человека

на 32 %, на окружающую среду на 14 % за счет обоснованного выбора корректирующих мероприятий.

Совокупность предлагаемых в диссертационной работе методов, моделей, методик, структурных решений и технических средств создает предпосылки для развития и определяет перспективы совершенствования ИИС определения экологического благополучия человека, способствует снижению риска для здоровья человека.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Безбородова, О. Е.** Информационно-измерительная система для оценки экологического благополучия человека / О. Е. Безбородова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – № 4. – С. 124–137. – doi: 10.21685/2227-8486-2022-4-8 (К-1)

2. **Безбородова, О. Е.** Имитационное моделирование взаимодействия человека и объекта техносферы в информационно-измерительных и управляющих системах обеспечения экологического благополучия человека / О. Е. Безбородова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2023. – № 1. – С. 164–177. – doi: 10.21685/2227-8486-2023-1-11 (К-1)

3. **Безбородова, О. Е.** Критерии и методика оценки эффективности информационно-измерительных систем / О. Е. Безбородова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2022. – № 4. – С. 77–96. – doi: 10.21685/2072-30592022-4-7 (К-2).

4. **Безбородова, О. Е.** Оценка состояния территориальной техносферы по результатам комплексного мониторинга / О. Е. Безбородова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 115–125. – doi: 10.21685/2072-3059-2023-1-9 (К-2).

5. **Безбородова, О. Е.** Использование оценки коморбидности в системе обеспечения экологического благополучия человека / О. Е. Безбородова, А. И. Герасимов, О. Н. Бодин, Ф. К. Рахматуллов, А. А. Трофимов // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2023. – № 2. – С. 52–68. – doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-4 (К-2).

6. Бодин, О. Н. Имитационное моделирование многоагентной технологии в компьютерной диагностической системе «Кардиовид» / О. Н. Бодин, З. И. Баусова, **О. Е. Безбородова**, А. Г. Убиенных // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 1. – С. 78–86. – doi: 10.21685/2307-5538-2019-1-11

7. **Безбородова, О. Е.** Построение математической модели контролируемого объекта на основе анализа энтропии распределения информационно-измерительного кванта / О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, В. Г. Полосин, А. Г. Убиенных // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 2. – С. 76–84. – doi: 10.21685/2307-5538-2019-2-9

8. Шерстнев, В. В. Совершенствование мониторинга территориальной техносферы и проведения поисково-спасательных работ / В. В. Шерстнев, Д. С. Белик, **О. Е. Безбородова**, О. Н. Бодин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 3. – С. 5–15. – doi: 10.21685/2307-5538-2020-3-1

9. **Безбородова, О. Е.** Оценка эффективности совершенствования информационно-измерительных и управляющих систем / О. Е. Безбородова, А. Г. Убиенных, В. В. Шерстнев, О. Н. Бодин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 3 – С. 33–41. – doi: 10.21685/2307-5538-2020-3-4

10. Крамм, М. Н. Цифровой двойник сердца // М. Н. Крамм, **О. Е. Безбородова**, О. Н. Бодин, А. В. Светлов // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2021. – № 1. – С. 73–84. – doi: 10.21685/2307-5538-2021-1-9
11. Баянбай, Н. Подсистема связи системы управления беспилотных воздушных судов в условиях чрезвычайных ситуаций // Н. Баянбай, К. А. Ожикенов, В. В. Шерстнев, **О. Е. Безбородова**, О. Н. Бодин // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2022. – № 1. – С. 92–99. – doi: 10.21685/2307-5538-2022-1-11
12. **Безбородова, О. Е.** Интеллектуальная информационно-измерительная и управляющая система контроля состояния территориальной техносферы / О. Е. Безбородова // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2022. – № 2. – С. 21–28. – doi: 10.21685/2307-5538-2022-2-3
13. **Безбородова, О. Е.** Иерархическая структура мультиагентной системы / О. Е. Безбородова // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2022. – № 2. – С. 29–38. – doi: 10.21685/2307-5538-2022-2-4
14. **Безбородова, О. Е.** Мультиагентная обработка данных мониторинга территориальной техносферы / О. Е. Безбородова // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2022. – № 3. – С. 20–28. – doi: 10.21685/2307-5538-2022-3-2
15. **Безбородова, О. Е.** Оценка точности прогнозирования состояния территориальной техносферы в информационно-измерительной и управляющей системе обеспечения экологического благополучия человека / О. Е. Безбородова // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2022. – № 4. – С. 43–50. – doi: 10.21685/2307-5538-2022-4-6
16. Шерстнев, В. В. К вопросу о надежности системы навигации беспилотных воздушных судов, используемых в чрезвычайных ситуациях / В. В. Шерстнев, **О. Е. Безбородова**, О. Н. Бодин // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2020. – Т. 1. – С. 81–83.
17. **Безбородова О. Е.**, Бодин О. Н., Коваль Н. С., Трофимов А. А., Григорьев А. В. Метрологический анализ измерительного канала информационно-измерительной системы для определения экологического благополучия человека // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2023. – № 2. – С. 70–76. – doi: 10.21685/23075538-2023-2-8

Публикации в изданиях, индексируемых SCOPUS, WoS

18. **Bezborodova, O. E.** Territorial Technosphere as Managed Dynamic System / O. Bezborodova, O. Bodin, V. Polosin // IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. – 2018. – Vol. 451. – P. 012189. – doi: 10.1088/1757-899X/451/1/012189
19. Sayfetdinova, M. K. Current Problems of Radiation-Ecological Monitoring in Penza Region / M. K. Sayfetdinova, S. V. Tertychnaya, N. A. Vinogradova, **O. E. Bezborodova**, A. Yu. Kazakov, V. S. Kurakin // International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018). – 2018. – doi: 10.2991/isees-18.2018.13
20. **Bezborodova, O. E.** Monitoring of Environmental Safety of the Territorial Technosphere on the Basis of Multi-Agent Technology / **O. E. Bezborodova**, O. N. Bodin, V. G. Polosin // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). – 2018. – doi:10.1109/fareastcon.2018.8602540
21. **Bezborodova, O. E.** Ecological and economic groups of the environmental monitoring system / O. E. Bezborodova, O. N. Bodin, N. A. Vinogradova // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2019. – Vol. 274. – P. 012141. – doi: 10.1088/1755-1315/274/1/012141
22. Palatkin, I. V. Comprehensive monitoring of the territorial technosphere for environmental and economic accounting / I. V. Palatkin, **O. E. Bezborodova**, O. N. Bodin // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2019. – Vol. 274. – P. 012140. – doi: 10.1088/1755-1315/274/1/012140
23. Polosin, V. G. Improving the efficiency of information processing based on the entropy-parametric approach / V. G. Polosin, **O. E. Bezborodova**, O. N. Bodin, A. A. Trofimov, A. G. Ubien-

nykh // IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. – 2019. – Vol. 537. – P. 022015. – doi: 10.1088/1757-899X/537/2/022015

24. Trofimov, A. Magneto diode-Based Speed-of-Rotation Transducers / A. A. Trofimov, **O. E. Bezborodova**, N. V. Gromkov, V. G. Polosin, A. N. Spirkin // 2019 International Seminar on Electron Devices Design and Production (SED). – 2019. – P. 1–4.

25. **Bezborodova, O.** Multi-agent Technologies for Comprehensive Monitoring of the State of Territorial Technosphere / O. Bezborodova, N. Gromkov, O. Bodin, A. Bodin, V. Baranov, V. Trilissky // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva, Montenegro. – 2019. – P. 1–4. – doi: 10.1109/MECO.2019.8760064

26. Bekbay, A. Heart State Monitoring Using Multi-Agent Technology / A. Bekbay, K. Ozhikenov, A. Ozhikenova, O. Bodin, **O. Bezborodova**, F. Rakhmatullov // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva, Montenegro. – 2019. – P. 1–4. – doi: 10.1109/MECO.2019.8760007

27. Markulyova, M. V. Statistical Approach of the Isoline Drift Compensating in the Systems of Bifunctional Biomedical Signals Monitoring / M. V. Markulyova, **O. E. Bezborodova**, M. S. Gerashchenko, S. I. Gerashchenko, V. G. Polosin // 20th International conference on Micro/Nanotechnologies and Electron devices EDM. – 2019. – doi: 10.1109/EDM.2019.8823566

28. Bayanbay, N. A. The Use Of Unmanned Aerial Vehicle For Emergency Medical Assistance / N. A. Bayanbay, I. K. Beisembetov, K. A. Ozhikenov, **O. E. Bezborodova**, O. N. Bodin, V. G. Polosin // 20th International conference on micro/nanotechnologies and electron devices EDM. – 2019.

29. Baranov, V. A. Smart measurement and control system of condition of a local technosphere / V. A. Baranov, **O. E. Bezborodova**, A. Ju. Bodin, O. N. Bodin, A. I. Gerasimov, J. Phys // Conf. Ser. 2019. – Vol. 1399. – P. 055015. – doi: 10.1088/1742-6596/1399/5/055015

30. **Bezborodova, O.** Concept of integrated monitoring of territorial technosphere state // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 687 (6). – P. 066032. – doi: 10.1088/1757-899X/687/6/066032

31. Baranov V. A. Hyper-Numerical Representation of the Pollution Propagation Process in the Territorial Technosphere / V. A. Baranov, **O. E. Bezborodova**, O. N. Bodin // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2020. – Vol. 459. – P. 062068.

32. **Bezborodova, O. E.** Environmental monitoring using an unmanned aerial vehicle / O. E. Bezborodova, N. A. Vinogradova, S. V. Tertychnaya, O. S. Vinogradov, O. B. Kachan // IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. – 2020. – Vol. 828. – P. 012002.

33. Bodin, O. N. Improving the Information Reliability in Medical Information System Based on Multi-agent Technology / O. N. Bodin, A. G. Ubiennykh, **O. E. Bezborodova**, S. A. Kharitonov, S. V. Vorob'eva and A. Y. Bodin // 21st International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), Chemal, Russia. – 2020. – P. 427–431. – doi: 10.1109/EDM49804.2020.9153503

34. **Bezborodova, O. E.** Features of processing of measuring information for an assessment of human ecological wellbeing / **O. E. Bezborodova**, O. N. Bodin, A. I. Gerasimov, A. V. Svetlov, B. V. Chuvykin // J. Phys. : Conf. Ser. – 2020. – Vol. 1515. – P. 032006.

35. **Bezborodova, O. E.** «Digital Twin» technology in medical information systems / O. E. Bezborodova, O. N. Bodin, A. I. Gerasimov, M. N. Kramm, R. F. Rahmatullov, A. G. Ubiennykh // J. Phys. : Conf. Ser. – 2020. – Vol. 1515. – P. 052022.

36. Berdibaeva, G. K. A Bionic Approach to the Construction of a Voice Control System in Emergency Conditions / G. K. Berdibaeva, O. N. Bodin, **O. E. Bezborodova**, A. N. Spirkin, B. Nurlan, K. A. Ozhikenov // 21st International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM), Chemal, Russia. – 2020. – P. 440–444. – doi: 10.1109/EDM49804.2020.9153542.

37. **Bezborodova, O. E.** Improving data collection and processing efficiency by using hierarchies of intelligent agents in multi-agent systems / **O. E. Bezborodova**, O. N. Bodin, D. V. Paschenko // IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. – 2021. – Vol. 1061. – P. 012009.
38. **Bezborodova, O. E.** Hierarchical structure of synergistic multi-agent system / O. E. Bezborodova, O. N. Bodin, M. N. Kramm, S. V. Vorobieva and S. A. Kharitonov // IOP Conf. Ser. : Mater. Sci. Eng. – 2021. – Vol. 1061. – P. 012008.
39. **Bezborodova, O. E.** Concept of Ensuring Environmental Human Well-Being / O. E. Bezborodova, O. N. Bodin, B. V. Chuvykin // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2021. – Vol. 666. – P. 022004.
40. Bayanbay, N. Peculiarities of Equipping an Unmanned Medical Aerial Vehicles During Search and Rescue Operations / N. Bayanbay, K. Ozhikenov, Y. Tuleshov, **O. Bezborodova**, O. Bodin, A. Spirkin. – 2020. – P. 464–469. – doi: 10.1109/EDM49804.2020.9153525
41. **Bezborodova, O.** Assessment of Industry-Related Risks for Human Environmental Well-Being / O. Bezborodova, O. Bodin, A. Svetlov. – 2022. – doi: 10.1007/978-3-030-91145-4_38
42. **Bezborodova, O. E.** Information System to Analyze Human Environmental Wellbeing for Assessing and Reducing Technogenic Risk / O. E. Bezborodova, O. N. Bodin, B. V. Chuvykin // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2022. – Vol. 988. – P. 042005.
43. Motorin, A. SMART-system based on a heterogeneous group of unmanned aerial vehicles to ensure the environmental human well-being / A. Motorin, V. Sherstnev, **O. Bezborodova**, O. Bodin, A. Trofimov // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2022. – Vol. 1061. – P. 012017.
44. Sherstnev, V. Solving the Direct Kinematics Problem of the Mechanical Manipulator of an Unmanned Aircraft / V. Sherstnev, **O. Bezborodova**, A. Spirkin, O. Bodin, A. Kholudeneva. – 2022. – P. 560–563. – doi: 10.1109/EDM55285.2022.9855080
45. Rakhmatullov, R. F. Technologies for Optimization and Digitalization of Cardiological Care / R. F. Rakhmatullov, M. N. Kramm, O. N. Bodin, A. Y. Bodin, F. K. Rakhmatullov, **O. E. Bezborodova** // 23rd International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), Altai, Russian Federation. – 2022. – P. 514–518 – doi: 10.1109/EDM55285.2022.9855121
46. **Bezborodova, O. E.** Forecasting the state of the environment based on the assessment of technogenic risk / O. E. Bezborodova, O. Bodin, D. Martynov // AIP Conference Proceedings 9 March. – 2023. – № 2700 (1). – P. 050002. – doi: 10.1063/5.0127012

Публикации в других изданиях

47. **Безбородова, О. Е.** Система сбора экологической информации о состоянии территориальной техносферы / О. Е. Безбородова, В. Г. Полосин, В. В. Шерстнев, К. А. Ожигенов // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации : материалы Международной научно-технической конференции «Шляндинские чтения – 2018», посвященной 100-летию со дня рождения В. М. Шляндина (г. Пенза, 19–21 ноября 2018 г.). – Пенза : Изд-во ПГУ, 2018. – С. 103–105.
48. **Безбородова, О. Е.** Система сбора экологической информации о состоянии территориальной техносферы / О. Е. Безбородова, О. С. Виноградов, Н. А. Виноградова, В. В. Шерстнев // Наука Красноярья. – 2018. – Том 7, № 4. – С. 7–24. – doi: 10.12731/2070-7568-2018-4-7-26
49. **Безбородова, О. Е.** Экономические и правовые вопросы использования беспилотных воздушных судов для обеспечения техносферной безопасности / О. Е. Безбородова, В. В. Шерстнев, О. С. Виноградов, Н. А. Виноградова // Фортус: Экономических и политических исследований. – 2018. – № 2. – URL: <http://fortus-science.ru/index.php/fs/article/view/98>

50. **Безбородова, О. Е.** Критерии и принципы эффективного применения беспилотных воздушных судов в чрезвычайных ситуациях / О. Е. Безбородова, В. В. Шерстнев, О. Н. Бодин // Актуальные проблемы науки : сборник научных статей XV Международной научно-практической конференции. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2019. – С. 218–223.

51. **Безбородова, О. Е.** Защита от ионизирующих излучений на производственно-коммерческом предприятии «Нефтегазовое оборудование» г. Пензы / О. Е. Безбородова, Я. П. Щеголихин, Д. А. Панюхин // Актуальные проблемы науки : сборник научных статей XV Международной научно-практической конференции. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2019. – С. 224–230.

52. **Безбородова, О. Е.** Метрологические особенности контроля состояния территориальной техносферы / О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, В. В. Шерстнев // Метрологическое обеспечение измерительных систем : сборник докладов XI Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза, 2019. – С. 20–29.

53. **Безбородова, О. Е.** Планирование проведения поисково-спасательных работ с применением беспилотных воздушных судов / О. Е. Безбородова, В. В. Шерстнев, О. Н. Бодин // Science and technology innovations : сборник статей Международной научно-практической конференции (8 октября 2019 г.) – Петрозаводск : МЦНП «Новая наука», 2019. – С. 45–53.

54. **Безбородова, О. Е.** Выбор траектории полета беспилотных воздушных судов при мониторинге окружающей среды / О. Е. Безбородова, В. В. Шерстнев, В. И. Петухов // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации : материалы Международной научно-технической конференции «Шляндинские чтения – 2019» (г. Пенза, 28–30 октября 2019 г.). – Пенза : Изд-во ПГУ, 2019. – С. 143–146.

55. **Безбородова, О. Е.** Построение математической модели на основе анализа энтропии распределения информационно-измерительного кванта / О. Е. Безбородова, В. Г. Полосин, О. Н. Бодин, Д. А. Аржаев, А. Г. Убиенных, М. В. Маркулева // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации : материалы Международной научно-технической конференции «Шляндинские чтения – 2019» (г. Пенза, 28–30 октября 2019 г.). – Пенза : Изд-во ПГУ, 2019. – С. 41–43.

56. **Безбородова, О. Е.** Метрологические особенности контроля состояния территориальной техносферы // Метрологическое обеспечение измерительных систем / О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, В. В. Шерстнев : сборник докладов XI Всероссийской научно-технической конференции. – Пенза, 2019. – С. 20–29.

57. **Безбородова, О. Е.** Анализ современных программно-аппаратных средств для проведения поисково-спасательных работ / Д. С. Белик, В. В. Шерстнев, О. Е. Безбородова // Актуальные проблемы науки : сборник научных статей XVI Международной научно-практической конференции. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2020. – 246 с.

58. **Безбородова, О. Е.** Особенности обеспечения экологического благополучия человека / О. Е. Безбородова, О. Н. Бодин, Д. В. Мартынов, А. А. Моторин // Природопользование: от истории к современности. Куражковские чтения : сборник материалов I Международной научно-практической конференции (г. Астрахань, 19–21 мая 2022 года) / составитель А. Н. Бармин. – Астрахань : Астраханский государственный университет, 2022. – 232 с. – 1 CD-ROM. – Загл. с титул.экрана. – Текст : электронный.

Патенты

59. Патент 2694528 Российская Федерация. Способ проведения поисково-спасательных работ / Шерстнев В. В., Бодин О. Н., **Безбородова О. Е.**, Рахматуллов Ф. К., Герасимов А. И., Ожикенов К. А., Баянбай Н. Н., Бердибаева Г. К. ; опубл. 16.07.2019, Бюл. № 20. – 31 с.

60. Патент 2704913 Российская Федерация. Способ нейросетевого анализа состояния сердца / **Безбородова О. Е.**, Бодин О. Н., Герасимов А. И., Полосин В. Г., Рахматуллов

Ф. К., Рахматуллов Р. Ф., Шерстнев В. В., Ожикенов К. А., Алимбаева Ж. Н. ; опубл. 31.10.2019, Бюл. № 31. – 45 с.

61. Патент 2719467 Российская Федерация. Способ и система комплексного контроля состояния многопараметрического объекта по разнородной информации / Баранов В. А., **Безбородова О. Е.**, Бодин О. Н., Герасимов А. И., Печерская Е. А., Шерстнев В. В. ; опубл. 17.04.2020. Бюл. № 11. – 44 с.

62. Патент 2750057 Российская Федерация. Способ и система оптимизации лечебно-диагностической медицинской помощи / **Безбородова О. Е.**, Бодин О. Н., Герасимов А. И., Крамм М. Н., Убиенных А. Г., Шерстнев В. В. ; опубл. 21.06.2021, Бюл. № 18. – 41 с.

63. Патент 2762052 Российская Федерация. Способ и система навигации объектов в зоне чрезвычайной ситуации / Шерстнев В. В., Безбородова О. Е., Бодин О. Н., Светлов А. В. ; опубл. 15.12.2021, Бюл. № 35. – 23 с.

64. Патент 2756032 Российская Федерация. Способ проведения спасательных работ и беспилотное воздушное судно для осуществления способа / Шерстнев В. В., **Безбородова О. Е.**, Белик Д. С., Бодин О. Н., Спиркин А. Н., Бердибаева Г. К. ; опубл. 24.09.2021, Бюл. № 27. – 36 с.

65. Патент 2759310 Российская Федерация. Способ и система бионического управления роботизированными устройствами / Спиркин А. Н., **Безбородова О. Е.**, Бодин О. Н., Бердибаева Г. К., Ожикенов К. А., Шерстнев В. В. ; опубл. 11.11.2021, Бюл. № 36. – 45 с.

66. Патент 2770115 Российская Федерация. Способ и система определения уровня экологического благополучия зоны проживания детей / **Безбородова О. Е.**, Бодин О. Н., Шерстнев В. В., Рахматуллов Ф. К., Рахматуллов Р. Ф. ; опубл. 14.04.2022, Бюл. № 11. – 24 с.

67. Патент 2775688 Российская Федерация. Способ оказания экстренной кардиологической помощи и система для осуществления способа / Шерстнев В. В., Баранов В. А., **Безбородова О. Е.**, Бодин О. Н., Бодин А. Ю., Рахматуллов Ф. К., Рахматуллов Р. Ф. ; опубл. 30.06.2022, Бюл. № 19. – 24 с.

68. Патент 2782525 Российская Федерация. Способ и система зонирования территории по уровню риска для здоровья населения в условиях воздействия химически опасных веществ / **Безбородова О. Е.**, Бодин О. Н., Шерстнев В. В., Холуденева А. О., Мартынов Д. В. ; опубл. 28.10.2022, Бюл. № 31. – 22 с.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

69. Автоматизированная система первичной сортировки и учета жертв чрезвычайных ситуаций : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / В. В. Шерстнев, О. Н. Бодин, **О. Е. Безбородова**. – № 2019665492. – Заявка № 2019661735 от 23.09.2019 ; опубл. 25.11.2019.

70. Программа визуализации загрязнения территориальной техносферы : свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / В. В. Шерстнев, О. Н. Бодин, **О. Е. Безбородова**. – № 2022617005. – Заявка № 2022615628 от 04.04.2022 ; опубл. 18.04.2022.

Монографии

71. **Безбородова, О. Е.** Мультиагентные технологии в медицинских информационных системах / О. Е. Безбородова, М. Н. Крамм, К. А. Ожикенов, А. К. Ожикенова / под редакцией О. Н. Бодина. – Алматы : Лантар Трейд, 2021. – 314 с.

72. **Безбородова, О. Е.** Бионические системы управления мобильными робототехническими комплексами / О. Н. Бодин, О. Е. Безбородова, А. Н. Спиркин, В. В. Шерстнев. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2022. – 236 с.

Научное издание

БЕЗБОРОДОВА Оксана Евгеньевна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ ЧЕЛОВЕКА**

Специальности:

**2.2.11. Информационно-измерительные и управляющие системы
(технические науки)**

**2.2.12. Приборы, системы и изделия медицинского назначения
(технические науки)**

Редактор *А. А. Есавкина*
Технический редактор *Р. Б. Бердникова*
Компьютерная верстка *Р. Б. Бердниковой*

Подписано в печать 07.09.2023. Формат 60×84¹/₁₆.
Усл. печ. л. 2,46. Заказ № 326. Тираж 100.

Издательство ПГУ.
440026, г. Пенза, ул. Красная, 40.
Тел.: (8412) 66-60-49, 66-67-77; e-mail: iic@pnzgu.ru