Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

УДК 004.7.056 на правах рукописи

ИСИМОВ НУРДАУЛЕТ ТОКТАРОВИЧ

Моделирование и разработка автоматизированной системы для мониторинга и управления социально-эпидемиологической ситуацией по регионам Казахстана

6D070400 – Вычислительная техника и программное обеспечение

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты:
д.ф.-м.н., профессор Мазаков Т.Ж.
доктор PhD, доцент Мацак Э.

Республика Казахстан
Алматы, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ 3
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ 4
ВВЕДЕНИЕ 5
1 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ 15
1.1 Научные исследования в области прогнозирования 15
1.2 Обзор датчиков контроля 16
1.3 Автономная микропроцессорная система передачи данных 27
1.4 Прогнозирование абиотических факторов 37
1.5 Выводы по первому разделу 43
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ 44
2.1 Общая характеристика проблемы 44
2.2 Управляемость эпидемиологической модели 44
2.3 Оптимальное управление эпидемиологической модели 49
2.4 Выводы по второму разделу 59
3 КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭПИДПОТЕНЦИАЛА 60
3.1 Формулировка задач исследования 60
3.2 Применение многокритериальной оптимизации для построения математической модели экспертной системы 62
3.3 Выводы по третьему разделу 64
4 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭПИДОБСТАНОВКИ 65
4.1 Инструментарий разработки и анализ источников данных 65
4.2 Программная реализация системы 65
4.3 Выводы по четвертому разделу 73
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 74
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 75
ПРИЛОЖЕНИЕ А. (Сертификат научной стажировки) 82
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. (Свидетельства о государственной регистрации прав на объект авторского права) 83
ПРИЛОЖЕНИЕ В. (Справка о публикации входящей в БД Scopus) 85
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. (Фрагмент текста программы прогнозирования) 86
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. (Фрагмент текста программы управляемости) 89
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. (Фрагмент текста программы оптимального управления) 96

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

«Инструкции по оформлению диссертации и автореферата», ВАК Министерства образования и науки РК от 28 сентября 2004 г. №377-3 ж.

ГОСТ 7.32-2001 – Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 7.1-2003 – Библиографическая запись. Библиографическое описание.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ЛПР – лицо принимающее решение

ЭВМ – электронно-вычислительная машина

БД – база данных

СУБД – система управления базами данных

Экспертная система — система искусственного интеллекта, включающая знания об определенной слабо структурированной и трудно формализуемой узкой предметной области и способная предлагать и объяснять пользователю разумные решения.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность диссертационной работы. Начала XX века привело к активному развитию методов прогнозирования тех или иных эпидемиологических ситуации. В зависимости от сроков выполнения выдвигаемых эпидемиологических прогнозов они разным по формулировке целям. Основными видами прогнозирования являются: долгосрочные, которые длятся от нескольких месяцев вплоть до нескольких лет; среднесрочные, им соответствует период выполнения от двух и более месяцев до полугода; краткосрочные выполняемые прогнозы выдвигаются на несколько недель вперед, данный вид прогнозирования применяется для оперативного управления и выявления вспышек заболеваемости эпидемического характера. В течении последних лет, благодаря развитию информационно-наблюдательных систем надзора и появлению колоссально большого объема статистических данных, доступной для проведения полноценного анализа количество работ на эту актуальную тему стремительно увеличивается. Наиболее полезным видом прогнозирования можно считать среднесрочный, который используется в тактическом управлении ситуации. Учитывая характер различных факторов, данный вид менее точен, по сравнению с краткосрочным, но он оставляет достаточный период времени для организации превентивных мероприятий и подготовки к предполагаемым ситуациям чрезвычайного характера. Для принятия стратегических решений необходимо использовать долгосрочные прогнозы, которые выдвигаются на год и более вперед. Во многом такие прогнозы не дают возможность достижения высокого качества, но несмотря на это они нужны для оценивания объема производства необходимых лекарственных препаратов и соответствующих вакцин, оснащения медицинских учреждении и подготовки (обучения) квалифицированного персонала. В нынешнее время по всему миру фиксируются «новые» заболевания инфекционного характера, которые наряду со «старыми» инфекционными заболеваниями имеют нарастающий потенциал бесконтрольного распространения с очень высокой скоростью. Урбанизация, потенциально нарастающее ухудшение социально-экологических и санитарно-гигиенических условий человеческой жизни сотен миллионов населения в развитых и развивающихся странах мира, потенциально возрастающие миграционные потоки и процессы направленные на глобализацию экономики способствуют нарастающему распространению инфекционных заболеваний с высокой скоростью. Как бы это ни было парадоксально, в нынешнее время угроза реального характера в основном исходит от процессов высоких биотехнологий – генной инженерии, а также молекулярной биологии. Микроорганизмы, получаемые модифицированными методами, могут стать

основными причинами самых тяжелых эпидемий. Необходимость введения жесткого контроля «выхода» модифицированных микроорганизмов из научно-исследовательских лабораторий, а также из промышленных предприятий в результате аварий, техногенного характера или же катастроф, природного характера. Математическое моделирование возникших различных ситуации применяется как один из инструментов прогнозирования.

Активно используя математическое моделирование динамики риска инфекционного заболевания, специалисты решают ряд важных прикладных вопросов, связанные с планированием защитных мероприятий различного характера, лечением разного рода инфекционных больных [1-3]. Применяемые подходы ориентируются на достижения конечного результатов, в этой связи отличаются друг от друга реализацией и приводят к разным результатам.

Середина XVII соответствует периоду, когда ученые всесторонне начали изучать возможности применения определенных математических методов при исследованиях того или иного вида эпидемий. Основоположником данных исследований был Даниил Бернулли. Изучая распространенные виды эпидемий, он хотел проанализировать эффективность проводимых профилактических прививок. Именно с этой целью, он в своих исследованиях впервые применил простейший математический аппарат для осуществления оценки эффективности профилактических прививок, проводимых против натуральной оспы. Его приемником был английский ученый Уильям Фарр, который продолжил исследования Д. Бернулли и свои работы развивал, изучая и моделируя статистические показательные данные смертности населения Великобритании (Уэльса) в результате эпидемии натуральной оспы, которая напала на страну в 1837-1839 гг. Тем самым, он добился некоторого успеха при применении математических моделей при изучении вышеописанной эпидемии в виде статистических закономерностей. Ему удалось составить прогнозируемую модель натуральной оспы. Переосмыслив статистический подход изучения эпидемий ученого У.Фарра, Джон Браунли развил свои исследования в данной проблематике, что соответствует началу XX века. Джона Браунли применяя малоизвестные методы математической статистики проанализировал статистические закономерности «движения» эпидемиологических показателей. Вышеназванные ученые, в начале XX века сформулировали основы современной теории математического моделирования эпидемиологических процессов. Ими изучены основные свойства таких эпидемий как корь, ветрянка, малярия и др., получены формулы в аналитическом виде, которые были применены для прогнозирования эпидемий, далее они впервые разработали прогностические модели эпидемий. В 20-е годы XX века данный аналитический подход был развит среди ученых - исследователей Англии. В нынешнее время ученые Запада широко цитируют и

используют теоретические работы ученых Англии для анализа и прогноза эпидемий (вспышек) актуальных инфекций. С появлением первых электронно-вычислительных машин (ЭЕМ) в середине 50-х годов XX века стал формироваться следующий этап развития математического моделирования эпидемий, с чем было связано быстрое увеличение количества научно-исследовательских работ, а также публикаций в области математического и компьютерного моделирования эпидемий. Новая волна исследований привело к тому, что начали появляться все более сложные математические модели, которые обладали вероятностным характером, где основным рабочим инструментом была теория вероятностей случайных процессов. В данной теории существенную роль играли случайные факторы эпидемиологического процесса. В данном этапе развития математического моделирования эпидемиологического процесса математики оставили свои опечатки в виде множества созданных абстрактных математических моделей, которые имели весьма ограниченные эпидемиологическое содержание. Следующий этап развития математического исследования эпидемий, который начался во второй половине XX века, был связан с прогрессирующим периодом компьютерных технологий. В 60-70 годы этого века исследователи стран Запада разработали такие новые типы моделей эпидемий как детерминированные и стохастические (вероятностные). Эти типы моделей были ориентированы на изучение и анализ закономерностей развития социально-значимых вирусных и бактериальных инфекций. В те времена, ведущие научно-исследовательские центры США и стран Запада, которые изучали эпидемию, были расположены на базе университетов (ВУЗов) или же медицинских школ, которые функционировали при тех или иных университетах, которые были далеки от существующих реальных эпидемиологических проблем и ее реальной практики. Эпидемиологи достаточно плохо воспринимали, предлагаемые математиками абстрактные модели эпидемиологических процессов и вспышек. В результате чего эпидемиологи не могли сочетать математические модели с практическими применениями (потребностями). Такая не стыковка ученых двух областей привело к тому, что существующие в то время сложные математические модели имели абстрактный характер и были слабо связаны с постановкой и решением практических задач эпидемиологии.

Первые исследования в СССР были выполнены в 60-х годах XX века академиком О. В. Барояном и профессором Л.А. Рвачевым [4-5]. Ими была разработана новая методология математического моделирования эпидемий – Эпиддинамика. Проблеме мониторинга, прогнозирования распространения различного вида эпидемий посвящены исследования российских ученых [6-7].

В научной литературе чума получила название туляремия [8]. Природные очаги туляремии распространены на всех континентах Северного полушария в

Европе, Азии и Северной Америке. Заболевания людей регистрируются в виде спорадических случаев и эпидемических вспышек в Австрии, Франции, Германии, Швеции, Японии, США и других странах. Нередко вспышки охватывают несколько сотен человек. Рост заболеваемости наблюдается в годы повышения численности грызунов. В Российской Федерации туляремия обнаружена на территории практически всех краев, областей, республик [9-13]. Республика Беларусь ранее также относилась к природно-очаговым зонам туляремии [14].

В Казахстане проблемами мониторинга и профилактики эпидемий чумы занимаются Казахский научный центр карантинных и зоонозных инфекций им. М.Айкимбаева и территориальные противочумные станции [15]. Общее представление о распространенности и очагах туляремии в Казахстане можно получить из работ [16-20]. В частности, наиболшую опасность представляют следующие природные очаги чумы в Казахстане: Урало-Эмбенский автономный очаг, Приаральско-Каракумский автономный очаг, Прибалхашский автономный очаг, Волго-Уральский автономный очаг, Мангышлакский автономный очаг, Зауральский автономный очаг.

В настоящее время широкое распространение получило использование компартментных моделей. Существуют стохастическая компартментные модели распространения эпидемии в условиях реализации мероприятий по активному выявлению заболевших, позволяющие прогнозировать развитие эпидемического процесса в популяции с учетом пространственного переноса заболевания. При этом сообщество, в котором протекает эпидемия делится на несколько групп (компартментов) на основе значений характеристик, важных с эпидемической точки зрения [21-22].

Вопросам применения искусственного интеллекта к прогнозированию эпидсостояния посвящены работы Соколовой С.П. и ее учеников [23-24].

В работе [25] разработана математическая модель, учитывающая динамику и взаимосвязь абиотических и биотических факторов, характеризующих эпидобстановку в исследуемом очаге.

В предложенной математической модели используются следущие абиотические факторы [25]:

w_1 – солнечная активность (числа Вольфа),

w_2 – температура (среднемесячная температура в исследуемом районе),

w_3 – суммарное количество осадков за месяц,

w_4 – максимальное суточное количество осадков за месяц,

w_5 – уровень подземных грунтовых вод,

w_6 – просачиваемость почвы;

биотические факторы:

x_1– общее количество носителей эпидемии (блох),

x_2 – количество заразных носителей эпидемии,

x_3 – общее количество переносчиков эпидемии (песчанок),

x_4 – количество заразных переносчиков эпидемии.

социально-экономические факторы:

z_1 – численность населения,

z_2 – численность домашних животных,

z_3 – наличие медицинских пунктов,

z_4 – наличие транспортной сети,

z_5 – возможность контакта населения с переносчиками.

В работе [26] для математической модели [25] решены следующие задачи:

– прогнозирование динамики абиотических факторов на основе регрессионных моделей;

– доказана существование и единственность решения математической модели динамики биотических факторов при заданных управлениях;

– предложена математическая модель решения согласования абиотических, биотических и социально-экономических факторов при отсутствии ограничений на коэффициенты.

В связи с этим возникает необходимость разработать и исследовать математическую модель [25] в режиме реального времени, управляемость и оптимальное управление эпидобстановкой, а также решения задачи многокритериальной оптимизации для согласования знаний экспертов. Применение интервальной математики, а также методов многокритериальной оптимизации позволяет получить новые результаты. В объеме данной диссертации решены вышеуказанные проблемы.

Целью диссертационной работы является разработка и исследование математических моделей, средств получения информации в режиме реального времени, алгоритмов и технологий для мониторинга эпидемиологической обстановки.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются нижеследующие **задачи.**

1) разработка автономной микрокомпьютерной системы передачи данных в режиме реального времени и исследование математической модели прогнозирования динамики абиотических факторов эпидемиологической ситуации;

2) исследование и разработка математической модели управления биотическими факторами на основе эпидемиологических моделей;

3) проектирование экспертной системы на основе математической модели управления эпидпотенциалом региона в зависимости от социально-экономических факторов;

4) проведение вычислительных и экспериментальных исследований для анализа адекватности предложенных математических моделей, методов и алгоритмов.

Научная новизна диссертационной работы:

– впервые получен критерий управляемости математической модели динамики биотических факторов на основе интервальной математики;

– разработана математическая модель, учитывающая социально-экономический потенциал региона;

– разработаны экспертная система, математические модели, методы и алгоритмы мониторинга эпидемиологической ситуации в регионах.

Методы исследований. При решении поставленных задач в диссертационной работе использовались методы численного анализа, математического моделирования, теория баз данных, методы обработки данных на микропроцессорах, современные системы проектирования и разработки информационных систем.

Объектом исследования диссертационной работы являются процессы появления и распространения эпидемиологических заболеваний.

Предметом исследования являются

– технические средства и алгоритмы передачи и обработки климатических данных;

– математические модели прогнозирования и управления динамикой биотических факторов (источников и переносчиков чумы);

– автоматизированная система мониторинга и управления социально-эпидемиологической ситуацией.

Практическая значимость работы заключается в разработке автономной микрокомпьютерной системы передачи данных, а также программной реализации экспертной системы, учитывающей абиотические, биотические и социально-экономические факторы региона.

Прикладная ценность результатов работы заключается в возможности государственным органам и органам здравоохранения владеть ситуацией для принятия решения о профилактике.

Положения, выносимые на защиту. По результатам исследования были решены нижеследующие задачи:

– автономная микрокомпьютерная система передачи данных и программа прогнозирования динамики абиотических факторов в реальном масштабе времени;

– критерий управляемости математической модели динамики биотических факторов на основе интервальной математики;

– экспертная система прогнозирования и управления эпидостановкой в регионе основанная на решении задачи многокритериальной оптимизации.

Связь темы с планами научно-исследовательских программ

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с календарным планом научно-исследовательских грантовых работ по приоритету: 4. Науки о жизни и здоровье, по подприоритету: 4.2 Научно-инновационная биомедицина. Биотехнологии в медицине и наномедицине по теме проекта: 1.34 «Разработка аппаратно-медицинского комплекса оценки психофизиологических параметров человека» Института информационных и вычислительных технологий Комитета науки и МОН РК.

Структура диссертации включает введение, 4 раздела, заключение, список использованных источников и приложений.

Во введении дано обоснование актуальности выбранной темы диссертационной работы. Сформулированы цель, объект, предмет и задачи научно-исследовательской работы. Описаны результаты проведенных исследований, показаны их научная новизна и практическая значимость. Приведены данные об апробации основных результатов диссертационной работы.

Первом раздел диссертационной работы посвящен проведению анализа существующих моделей прогнозирования абиотических факторов. В этом же разделе приведена общая характеристика проблемы и постановка задач исследования. На основе микопроцессорной техники и сенсорных датчиков разработана автономная микрокомпьютерная система передачи климатических данных. Разработана программа прогнозирования абиотических факторов в реальном масштабе времени.

Второй раздел посвящен анализу существующих моделей прогнозирования биотических факторов. Приведена общая характеристика проблемы и постановка задач исследования. Проанализирована задача и выявлены основные проблемы, которые могут возникнуть в ходе ее решения. Получен критерий управляемости на основе интервальной математики

Третий раздел посвящен анализу существующих моделей прогнозирования социально-экономических факторов. Приведена общая характеристика проблемы и постановка задач исследования. Проанализирована задача и выявлены основные проблемы, которые могут возникнуть в ходе ее решения. Предложен метод мониторинга эпидобстановки на основе нечеткой математики.

Четвертый раздел посвящен описанию автоматизированной системы прогнозирования и управления эпидобстановкой.

На базе СУБД VisualFoxPro9 реализована интерфейсная часть, которая включает следующие режимы: 1) абиотические факторы, 2) биотические факторы, 3) социально-экономические факторы, 4) прогнозирование, 5) классификация, 6) управляемость.

На модельной задаче показана эффективность разработанной экспертной системы.

В заключении изложены основные результаты и выводы диссертации.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы доложены на международных научных конференциях, ежегодных научных конференциях Института вычислительных и информационных технологий, научных конференциях молодых ученых и специалистов Казахского национального университета, а также на научных семинарах кафедры «Информатика» КазНУ имени аль-Фараби. Проведена зарубежная стажировка (Приложение А). Получены 3 свидетельства о государственной регистрации прав на объект авторского права (Приложение Б).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 16 печатных работ, в том числе 10 в изданиях рекомендуемых ККСОН МОН РК, одна работа в журнале, входящем в международную базу цитирования «SCOPUS» (потвеждается справкой АО НЦГНТЭ о наличии публикации в журнале, входящем в базу данных Scopus – Приложение В).

Научные публикации:

1 Жаугашева С.А., Нурбакова Г.С., Мукушев Б.А., Исимов Н.Т. Исследование колебаний нелинейного маятника посредством пакета прикладных программ MathCAD // Вестник КазНТУ. – 2016. – № 4. – С.1-8.

2 Мукушев Б.А., Исимов Н.Т. Ограниченная задача о трех телах // Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. – 2016. – № 2. – С.504-509.

3 Мукушев Б.А., Исимов Н.Т. Исследование закономерностей движения небесных тел с помощью пакета прикладных программ MathCAD //Вестник КазНТУ им. К.И. Сатпаева. – 2016. – № 2. – С.496-504.

4 Нурбакова Г.С., Сарсембаев М.С., Мукушев Б.А., Исимов Н.Т. Гармонический анализ периодических несинусоидальных токов на основе численного метода // Материалы X Международной научно-практической конференции «Молодой ученый: Вызовы и перспективы», Интернаука. – 2016. – Том 10, №8. – С.1-8.

5 Мукушев Б.А., Г.С., Исимов Н.Т. Электрлік тербелістерді зерттеуге арналған компьютерлік эксперименттер // «Хабаршы» КазНПУ им Абая. – 2016. – № 3(55). - С. 96-102.

6 Мукушев Б.А., Нурбакова Г.С., Исимов Н.Т., Мусатаева И.С., Желдыбаева Б.С. Ван дер Поль теңдеуімен сипатталатын электрлік автотербелістерді MathCad пакеті көмегімен талдау // Вестник КазНИТУ им. К.И. Сатпаева. – 2017. – № 1. – С.401-405.

7 Джомартова Ш.А., Мазакова А.Т., Майлыбаева А.Ж., Исимов Н.Т., Абдразак Ж. Математическое моделирование в управлении ВУЗом // Сборник материалов V международной научно-теоретической конференции «Роль физико-математических наук в современном образовательном пространстве». – Атырау, 2017. – С.130-136.

8 Джомартова Ш.А., Мазаков Т.Ж., Исимов Н.Т. Мазакова А.Т. Программа прогнозирования в реальном времени. // Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2017. – №4(66). – С.27-32.

9 Джомартова Ш.А., Исимов Н.Т., Байрбекова Г.С., Зиятбекова Г.З., Абдразак Ж. Идентификация личности на основе 2D и 3D изображений // Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2018. – № 2(68). - С.16-20.

10 Мазаков Т. Ж., Исимов Н.Т., Зиятбекова Г.З., Жолмагаметова Б.Р., Джомартова Д.Т., Ыдырышбаева М.Б. Обработка сигналов ЭКГ на микропроцессорах // Труды научной конференции Института информационных и вычислительных технологий МОН РК «Современные проблемы информатики и вычислительных технологий». – Алматы, 2018. – С.152-158.

11 Исимов Н.Т., Мазаков Т.Ж., Карымсакова Н.Т. Исследование модели прогнозирования и управления эпидобстановкой с применением нечеткого и интервального анализа //Научно-технический журнал «Вестник Алматинского университета энергетики и связи», спец.выпуск. – 2018. – С.147-155.

12 Исимов Н.Т., Мазаков Т.Ж, Карымсакова Н.Т., Жолмагамбетова Б.Р., Зиятбекова Г.З. Оптимальное управление эпидобстановкой //Труды 14-й международ. азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем», Киргизская Республика. – Иссык-Куль, 2018. – С.250-258.

13 Issimov N., Mazakov T., Mamyrbayev O., Ziyatbekova G. Application of fuzzy and interval analysis to the study of the prediction and control model of the epidemiologic situation // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2018. – Vol. 96, – № 14. – P. 4358-4368.

14 Джомартова Ш.А., Карымсакова Н.Т., Исимов Н.Т., Зиятбекова Г.З., Мазакова А.Т. Программа перевода объемных изображений из формата в регулярную матрицу высот //Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2018. – №3(69). – С.34-37.

15 Мазаков Т.Ж., Исимов Н.Т., Жолмагаметова Б.Р., Карымсакова Н.Т., Ыдырышбаева М.Б. Об одном методе обработки экспертной информации // Материалы Ш межд. науч. конф. «Информатика и прикладная математика». – Алматы, 2018. – Ч.2. – С.221-224.

16 Алиаскар М.С., Джомартова Ш.А., Зиятбекова Г.С., Исимов Н.Т., Амирханов Б.С., Мазакова А.Т. Автономная микропроцессорная система передачи климатических данных // Вестник КазНИТУ им. К.И.Сатпаева, 2019. – № 1 (131). – С.371-377.

Свидетельства о государственной регистрации прав на объект авторского права:

1 Свидетельство о внесений в государственной реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом №7643 от 21 января 2020 «Автоматизированная система мониторинга и управления социально-эпидемиологической ситуацией» (программа для ЭВМ), авторы: Зиятбекова Г.С., Исимов Н.Т., Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А.

2 Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права №345 от 27 февраля 2017 «Вычисление центра масс материальных точек» (программа для ЭВМ), авторы: Нурбакова Г.С., Исимов Н.Т., Белисарова Ф.Б., Желдыбаева Б.С., Мусатаева И.С.

3 Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права №2342 от 13 октября 2017 «Прогноз-РВ» (программа для ЭВМ), авторы: Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А., Исимов Н.Т., Мазакова А.Т.

Обоснованность выносимых на защиту научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректностью использования математического аппарата, корректной постановкой экспериментов и их обработкой; качественным и количественным соответствием результатов теоретических исследований и экспериментальных данных; практическим применением результатов исследований.

1 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АБИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

1.1 Научные исследования в области прогнозирования

В математической модели [25] факторы $w_i, i = \overline{1,6}$ независимы и не могут быть управляемы человеком. В этой связи значения факторов $w_i, i = \overline{1,3}$ в момент времени t определяются с помощью временных рядов. Значения факторов $w_i, i = \overline{4,6}$ определяются из геофизических данных по исследуемому району [27].

Вопросам математического моделирования биохимических процессов и влияния различных абиотических факторов на динамику популяции посвящены работы [28- 33]. В основном для прогнозирования абиотических факторов используется регрессионный анализ [34- 35].

Основная цель *регрессионного анализа* состоит в определении связи между некоторой характеристикой *Y* наблюдаемого явления или объекта и величинами $x_1, x_2, \ldots, x_n$, которые обусловливают, объясняют изменения *Y*. Переменная *Y* называется *зависимой переменной* (*откликом*), влияющие переменные $x_1, x_2, \ldots, x_n$ называются *факторами* (регрессорами). Установление формы зависимости, подбор модели (уравнения) регрессии и оценка ее параметров являются задачами регрессионного анализа [36].

В регрессионном анализе изучаются модели вида $Y = \varphi(X) + \varepsilon$, где *Y* - результирующий признак (отклик, случайная зависимая переменная); *X* – фактор (независимая переменная); ε – случайная переменная, характеризующая отклонение фактора X от линии регрессии (остаточная переменная). *Уравнение регрессии* записывается в виде: $y_x = \varphi(x, b_0, b_1, \ldots, b_p)$, где *x* – значения величины $X; b_0, b_1, \ldots, b_p$ – параметры функции регрессии φ. Таким образом, задача регрессионного анализа состоит в определении функции и ее параметров и последующего статистического исследования уравнения [36].

В зависимости от типа выбранного уравнения различают *линейную* и *нелинейную* регрессию (в последнем случае возможно дальнейшее уточнение: квадратичная, экспоненциальная, логарифмическая и т. д.). В зависимости от числа взаимосвязанных признаков различают *парную* и *множественную* регрессию. Если исследуется связь между двумя признаками (результативным и факторным), то регрессия называется парной, если между тремя и более признаками – множественной (многофакторной) регрессией.

Одним из эффективных методов прогнозирования является метод группового учета аргументов (МГУА). В основу МГУА положен принцип многорядной селекции моделей самоорганизации, и алгоритмы МГУА воспроизводят схему массовой селекции. В алгоритмах МГУА особым образом синтезируются и отбираются члены обобщенного полинома Колмогорова-Габора. Этот синтез и отбор производится с нарастающим усложнением, и заранее нельзя предугадать, какой окончательный вид будет иметь обобщенный полином. Сначала обычно рассматривают простые попарные комбинации исходных признаков, из которых

составляются уравнения решающих функций, как правило, не выше второго порядка. Каждое уравнение анализируется как самостоятельная решающая функция, и по обучающей выработке тем или иным способом находятся значения параметров составленных уравнений. Затем из полученного набора решающих функций отбирается часть в некотором смысле лучших. Проверка качества отдельных решающих функций осуществляется на контрольной выборке. Отобранные частные решающие функции рассматриваются далее как промежуточные переменные, служащие исходными аргументами для аналогичного синтеза новых решающих функций и т. д. Процесс такого иерархического синтеза продолжается до тех пор, пока не будет достигнут экстремум критерия качества решающей функции, что на практике проявляется в ухудшении этого качества при попытках дальнейшего увеличения порядка членов полинома относительно исходных признаков [37].

Принципиальное отличие МГУА от регрессионного анализа состоит в том, что целью его является достижения минимума целесообразно выбранного критерия селекции, а целью регрессионного анализа - достижение минимума среднеквадратической ошибки на всех экстремальных точках при заданном виде уравнения регрессии. Отсюда следуют различные результаты. Точность МГУА, в отличие от регрессионного анализа, более высокая за счет оптимизации сложности модели.

Алгоритмы МГУА основанные на принципах самоорганизации, позволяют синтезировать различные фильтры: сглаживающие или прогнозирующие, алгебраические или дифференциальные, линейные или по полному степенному полиному, Точность последнего – самая высокая, обычно ошибка на проверочной последовательности порядка $\Delta(1)$ 1% [38].

В связи в развитием нейронных сетей и расширением сферы их приложений, они нашли широкое применение для прогнозирования различных динамических процессов [39-41].

Рассмотренные выше подходы включены в программное обеспечение многих пакетов статистической обработки данных получили развитие в виде пакета прикладных программ или библиотеки процедур [42-47].

В работе [26] для математической модели [25] рассмотрены регрессионные методы, требующие после каждого поступления очередной информации пересчитывать исходные данные и заново обращать формируемую матрицу, что неприменимо для систем реального времени [48].

1.2 Обзор датчиков контроля

Эпидемиологические процессы зависят от температуры и влажности. Для автоматизации контроля указанных параметров могут быть использованы датчики температуры и влажности. Ниже приводится обзор разновидностей датчиков [48].

Любой тип температурных датчиков, которые применяются для осуществления автоматического управления, работают на основе принципа преобразования измеряемого значения температуры в электрическую физическую величину. Данный принцип связан с некоторыми достоинствами проводимых электрических измерений: 1) прием и передача электрических величин на расстояния легко осуществимы с высокой скоростью; 2) универсальность электрических величин (любые физические величины могут быть преобразованы в электрические и наоборот); 3) их точное преобразование в цифровой код, что позволяют достигнуть высокой точности, чувствительности и быстродействия средств измерений [49-51].

Датчики температуры можно использовать повсюду, где параметры, характеризующие исследуемую систему каким-то образом зависят от температурных факторов. В связи с развитием микроэлектроники и наноэлектроники существуют следующие виды датчиков температуры: термопары и термисторы, а также терморезистивные датчики, которые имеют линейную зависимость выходного сигнала, наряду с этими и полупроводниковые датчики, которые имеют цифровой выход.

Термопара. Термопара является простым и более распространенным датчиком измерения температуры. Их называют термометром сопротивления. Известно, что удельное сопротивление металлов линейно зависит от температуры. На эту зависимость основан принцип действия термопары. Коэффициент, который описывает зависимость, а именно рост сопротивления металлического куска (провода) от роста температуры называют температурным коэффициентом сопротивления (ТКС). Для любого металла данная величина является положительной.

Терrмопара состоит из миниатюрной катушки, упакованной в кожух с защитным слоем. Катушку делают из медного либо платинового провода. Для проведения эффективных измерений оптимальных характеристик термопары, провода нужно взять большей длины. Для удобства применения все термометры стандартизуют по так называемому нулевому сопротивлению, т.е. сопротивлению при температуре 0°С. Промышленность выпускает термометры с нулевым сопротивлением 50,100,500,1000 Ом. Маркируются термометры по типу металла, используемому для измерения и нулевой температуре. Например, большое распространение имеют медные датчики ТСМ100 и платиновые ТСП100 и Pt100 [52-54].

Терморезистивные датчики. Данные виды датчика температур применяют в мостовых электрических схемах, их рабочий режим зависит от пропускания электрического тока через них. Температурный коэффициент термистров может быть, как положительным, так и отрицательным. Они высоко чувствительны к значению измеряемой температуры.

Показания измерительных приборов формируется относительно шкалы положения движка, используемого потенциометра, данное положение в зависимости от изменения сопротивления терморезистора. Градуировка

шкалы измерительного прибора градуируется в единицах измерения температуры.

Вышеописанная схема имеет недостаток, связанный с погрешностью, которая вноситься соединительными проводами подключения терморезистора. Так как температура окружающей среды, которая влияет на сопротивление соединительных проводов, все время изменяется, невозможно компенсировать указанную погрешность схемы. Однако, есть возможность уменьшения данной погрешности путем применения трехпроводной схемы включения соединительных проводов. Применение данной схемы включения приводит к тому, что сопротивления подводящих соединительных проводов разветвляются, что приводит к значительному уменьшению их влияния.

По принципу действия, а также по использованию терморезисторы подобны термопарам. Их отличительной характеристикой только производственные технологий и конструкции. Существуют два вида терморезисторов: позисторы, которые характеризуются положительными ТКС; термисторы, которые характеризуются отрицательными ТКС. По внешнему виду терморезисторов не отличить от резисторов.

Нулевое сопротивление терморезисторов может достигать десятков кило Ом (кОм). К недостаткам можно отнести значительную нелинейность характеристики этих элементов [52-54].

В свою очередь **полупроводниковые датчики** отличаются высокой точностью и широким рабочим диапазоном температур. В конструкцию таких датчиков встраиваются схему усиления входного сигнала, что позволяет управлять необходимую температурную закономерность.

Данные датчики температуры применяют для управления и изменения значений температур в интервале от –100°С до 200 °С, им же свойственно высокая стабильность характеристик во времени. Измерительная электронная схема с применением термических преобразователей сопротивления во многом являются мостовыми; мост уравновешивается потенциометром.

От температуры зависят не только характеристики металлов, но и полупроводниковых p-n переходов. Когда ток в p-n переходе протекает в прямом направлении, напряжение будет сопровождаться температурным изменением на 1°С, само напряжения будет изменен примерно на 2 мВ. Данная зависимость позволит измерить температуру в интервале от –55°С до 150 °С. В измерительных устройствах такого рода в качестве температурных датчиков можно использовать обычные полупроводниковые диоды или один из электронно-дырочных (p-n) переходов биполярного транзистора. Схемотехника с использованием терморезисторов и измерительных электронных схем с использованием устройств, содержащих полупроводниковые датчики повторяют принцип действия друг друга. В электронике совместно с аналогово-цифровыми преобразователями (АЦП) микроконтроллера применяют специальные измерительные устройства, имеющие аналоговые выходные сигналы, которые пропорционально зависят

от температуры. Данные датчики называют аналоговыми датчиками температуры. Наряду с ними, существуют и полупроводниковые микросхемы, которые в конструкции содержат АЦП и цифровой вид интерфейса связи (основные виды SPI, I2C, 1-Wire). Такие датчики позволяют создавать наиболее простые схемы, но при этом отличаются относительно низкой точностью [52-54].

Используя **термопары** можно измерить температуры в максимальном температурном диапазоне до +2300°С. Наряду с этим данные устройства обладают высокой воспроизводимостью и точностью. Для последующей обработки сигналов с помощью термопар является необходимым схемы усиления сигналов.

На основе принципа действия термопар лежит термоэлектрический эффект. Данный эффект наблюдается в замкнутом контуре, который состоит из двух разных проводников или же полупроводников. Если температуры мест спаев различных проводников (полупроводников) имеют различные значения, то в данном контуре начинает протекать ток. Если рассмотреть замкнутый контур, содержащий разнородные проводники (термоэлектроды) с температурами спаев равных t и t_0, то на них возникнут термо-ЭДС E(t) и E(t_0), которые зависят от значений температур этих спаев. Эти возникшие термо-ЭДС на спаях оказываются включенными между собой встречно, следовательно, результирующая термо-ЭДС, которая действует в замкнутом контуре, равна разности E(t) – E(t_0).

Если температуры спаев будут равны, то результирующая термо-ЭДС будет равна нулю. Один из спаев замкнутого контура погружается в контролируемую среду и носит название рабочего конца термопары, а второй конец термопары – свободным. У любой термопары, состоящей из двух однородных проводников результирующая термо-ЭДС зависит от значений температур спаев, также от природы самих проводников и не зависит от функции распределения температуры вдоль однородных проводников.

В термоэлектрический замкнутый контур можно включить один или несколько разнородных друг-другу проводников, размыкая контур в любом месте. Если температуры всех появившихся мест соединений будут одинаковыми, то значение результирующей термо-ЭДС, действующей в замкнутом контуре, остается таким же (т.е. не изменяется). Что можно использовать для проведения измерений термо-ЭДС термопары. Измерения показывают, что ЭДС, создаваемая термопарами достаточно невелика: ее значение не превышает 8 мВ (милли Вольт) на каждые 100 °С и абсолютная величина в основном не превышает 70 мВ. Температурный диапазон, измеряемый термопары, находится в интервале от –200 до 2200°С. В зависимости от диапазона, измеряемой температуры в термопарах используют разные проводники. Если измеряемая температура до 1100 °С, то используют термопары, содержащие неблагородные металлы, если измеряемый температурный диапазон от 1100 до 1600 °С – термопары, содержащие благородные металлы и сплавы платиновой группы, для

измерения температур более высоких значений – термопары, содержащие жаростойкие сплавы (например, на основе вольфрама).

Наиболее распространенным проводником (металлом) при изготовлении термоэлектрических преобразователей оказалось платина. Если диапазон измеряемой температуры широкий, то необходимо учитывать нелинейную зависимость преобразования в виде функции термоэлектрического преобразователя.

Термоэлектрические преобразователи характеризуются постоянной времени, которая зависит, во-первых, от конструкции преобразователей и во-вторых от качества контакта (теплового) рабочего спая термопары со внешней средой. Для промышленных термопар характерный показатель исчисляется в минутах. Наряду с ним существует малоинерционная термопара по конструкции, постоянная времени у которых определяется в пределах 5 – 20 секунд и ниже [52-54].

Пирометры. Выше мы рассмотрели термопреобразователи сопротивления и термоэлектрические преобразователи, серьезным недостатком для которых служит необходимость введения в контролируемую среду датчика, что приводит к искажению изучаемого температурного поля. В особенности при высоких, сверхвысоких температурах, а также в агрессивных средах непосредственное влияние среды на термодатчик приводит к ухудшению стабильности его основных характеристик. Данные недостатки не наблюдаются у пирометров, которые являются бесконтактными датчиками. В пирометрах используются способность излучения нагретых тел. Основной характеристикой теплового излучения любого тела является количество энергии, которая определяется как теплота, излучаемая телом в единицу времени с единицы поверхности и приходящаяся на единицу диапазона длин волн. Данная характеристика носит название спектральной светимости (интенсивность монохроматического излучения) и представляет собой спектральную плотность.

Известно, что при одинаковых температурах интенсивность излучения абсолютно черного тела всегда больше интенсивности любого реального тела. Для сравнения спектральной светимости реального тела с абсолютно черным вводят коэффициент неполноты излучения (КНИ). Данный коэффициент зависит от структурного состава исследуемого вещества, состояния поверхностного слоя тела, а также и других факторов, для разных рассматриваемых физических тел принимает различные значения. В зависимости от используемой энергии нагретых тел различают следующие виды пирометров: радиационный, яркостной и цветовой. Радиационный вид пирометра применяют для проведения измерений температуры в диапазоне от 20 до 2500 °С. Так как данный прибор проводит измерение интегральной интенсивности излучения реального тела (объекта), то необходимым условием определения температуры является учет реального значения КНИ.

В составе типичного радиационного пирометра имеется телескоп, который состоит из окуляра и объектива, во внутрь которого помещена батарея и встроена фотометрическая лампа (образцовый излучатель). Батарея состоит из последовательно соединенных между собой термопар. На покрытом чернью из платины, в платиновом лепестке находятся оба рабочие концы термопар. Для проведения исследований телескоп фиксирует объект измерения. Правильной наводкой телескопа считается полное перекрывание платинового лепестка изображением объекта, а также термобатарея должна воспринимать всю энергию излучения. Измеряется термо-ЭДС термобатареи, которая зависит от мощности излучения, следовательно, и от температуры нагретого тела.

Погрешность измерения температуры радиационным пирометром связана неточностью оценки КНИ, так как пирометр градуируется относительно излучения абсолютно черного тела. Яркостной (оптический) вид пирометра применяют для проведения измерений температуры в диапазоне от 500 до 4000 °С. Принцип его действия основан на проведение сравнения яркостей изучаемого объекта и излучателя образца (фотометрической лампы), в некотором спектральном узком участке.

При измерениях температуры яркостной пирометр имеет более высокую точность по сравнению с радиационным. Их погрешность в основном связана неполнотой излучения реальных физических тел и поглощением излучения промежуточной средой, через которую производится наблюдение [52-54].

Цветовой пирометр основан на измерение интенсивностей излучения на разных двух длинах волн и определением их отношения. Длины волн выбирают обычно в двух частях спектра: в красной или синей. Цветовой вид пирометра применяют для проведения измерений температуры в диапазоне от 800 до 0°С. Обычно цветовой пирометр содержит один канал измерения интенсивности монохроматического излучения со сменными светофильтрами.

Цветовые пирометры имеют главное преимущество по сравнению с остальными видами пирометром, это связана с тем, что учет неполноты излучения изучаемого объекта не приводит к погрешности измерения значений температуры. Наряду с этим, показательные характеристики цветовых пирометров принципиальным образом не зависят от расстояния до исследуемого объекта измерения, следовательно, если коэффициенты поглощения одинаковы для обеих выбранных длин волн, то не зависят от коэффициента излучения в промежуточной среде [52-54].

Кварцевые термопреобразователи. Данный вид преобразователей используется для измерения температур в диапазоне от –80 до 250 °С. Кварцевые термопреобразователи используют зависимость изменения частоты (собственной) кварцевого элемента от значений температуры. Принцип работы данных датчиков основана на том, что ориентация среза относительно основных осей кристалла кварца влияет на зависимость

собственной частоты кварцевого преобразователя от температуры и приводит к изменению линейности функции преобразования.

Кварцевые термопреобразователи являются высоко чувствительными (до 103Гц/К), обладают высокой временной стабильностью и разрешающей способностью, что и определяет их актуальность и перспективность. Эти датчики нашли свои широкое применение в разработке цифровых термометров.

Шумовые датчики. Принцип действия шумовых датчиков (термометров) основано на температурную зависимость напряжения шумового резистора.

Данные датчики позволяют измерить температуру в диапазоне –270 – 1100 °С. Их реализация основана на сравнение шумов двух резисторов. Резисторы являются идентичными, температура одного из них является известным, а температуру другой мы измеряем. Возможность измерения температуры на основе выше описанной закономерности можно отнести к главному достоинству шумовых термометров. Однако, существует некая сложность, связанная с измерением среднеквадратичного значения напряжения шумов, так его величина мала по сравнению с уровнем шума усилителя сигнала [52-54].

Датчики ядерного квадрупольного резонанса. На основе работы ЯКР-термометров (термометры ядерного квадрупольного резонанса) положено взаимодействие изменения электрического поля, созданное кристаллической решеткой и квадрупольным электрическим моментом ядра, который обусловлен отклонением распределения электрического заряда ядра от стандартной сферической симметрии. Данное взаимодействие вызывает прецессию ядер. Частота этой прецессии зависит от изменения электрического поля кристаллической решетки и изменяется в интервале от сотен килогерц до тысяч мегагерц, в зависимости от вида веществ. Сам градиент электрического поля кристаллической решетки пропорционально зависит от температуры, следовательно, повышение температуры приводит к снижению частоты ЯКР.

Колебательный контур генератора состоит из индуктивной катушки и емкостного конденсатора. Помещенный во внутрь катушки ампула с веществом является датчиком ЯКР-термометра. Энергия от генератора поглощается в случае совпадения значения частоты генератора со значением частоты ЯКР. ЯКР-термометры обладают неограниченной стабильностью во времени, что является главным их достоинством, однако их функция преобразования имеет существенную нелинейность, что относится к недостатку [52-54].

Дилатометрические (объемные) преобразователи. Данные преобразователи применяются для измерения температуры. Их принцип действия основан на явлении расширения (сжатия) веществ (твердых тел, жидкостей, а также газов) в зависимости от увеличения (уменьшения) температуры.

Если преобразователь основан на расширение твердых тел, то рабочий диапазон температур характеризуется стабильностью свойств самих материалов от изменения температуры. Такие преобразователи позволяют измерить температуры в диапазоне от – 60 до – 400 °С. Погрешность такого преобразования составляет в пределах 1-5 %. Рабочий температурный диапазон преобразователя, основанный на расширение жидкого вещества определяется в зависимости от температур замерзания и кипения жидкости (например, для ртути интервал -39 – 357 °С, для амилового спирта – -117 – 132 °С, для ацетона – - 94 – 570°С). Погрешность таких жидкостных преобразователей насчитываются в пределах 1-3 %. Данная погрешность в такой-то степени зависит от температуры внешней окружающей среды.

Если в преобразователях в качестве рабочего тела используется газ, то в пределах: нижний предел соответствует температуре сжижения того или иного газа (например, -195°С для азота, -269°С для гелия), верхний предел определяется теплостойкостью газового баллона [52-54].

Акустические датчики (термометры). Данные виды датчиков применяются при измерениях среднего и высокого диапазона температур. На основе работы акустических датчиков лежит зависимость скорости распространения звуковых волн в газах от их значений температуры. В состав термометра входит излучатель и приемник акустических волн, которые включаются в электрическую цепь автогенератора. Частота колебаний автогенератора изменяется в зависимости от температуры. Такие датчику используют различные виды резонаторов [51-54].

Датчики влажности (гигрометр). Прибор, который используется для измерения уровня влажности носит название гигрометра, либо называют датчиком влажности. Понятие влажности является одним из важных физических характеристик веществ. Например, такие понятия, как влажность воздуха, которая является важным параметром, отвечающим за сохранность оборудовании и продукции, влажность почвы, от которой зависит плодородие.

Единицы измерения **влажности**:

– Абсолютное значение влажности измеряется в единицах грамм на кубометр (г/м^3), например, данная величина применяется при измерении влажности воздуха или других газов. Относительная влажность измеряется в единицах RH.

– При измерении влажности твердых тел и жидкостей используют единицу в процентном соотношении от массы исследуемого образца.

– При измерении влажности плохо смешиваемых жидкостей, используют единицу измерения ppm, которая определяет долю воды, приходящей на 1000000 частей всего веса исследуемого образца).

Существуют следующие виды датчиков влажности:

1) Емкостный датчик (гигрометр) влажности

Данный датчик представляют собой воздушный конденсатор. Так как диэлектрическая проницаемость воздуха, который служит в качестве

диэлектрика между обкладками конденсатора, непосредственно зависит от влажности, что приводит к изменению емкости конденсатора.

В качестве диэлектрика можно использовать более мощные диэлектрики, что приводит к сильному изменению емкости конденсатора. Чем мощнее диэлектрик, тем качественнее датчик.

Последний вариант подходит для определения содержания воды в твердых телах. Объект (твердое тело), который подлежит исследованию помещается между пластинами конденсатора, конденсатор присоединяют к замкнутому колебательному контуру и к генератору. После чего измеряют частоту контура, а по ней вычисляют емкость нового конденсатора, содержащего исследуемый объект.

Данный метод имеет недостатки, связанные с влажностью образца (если влажность ниже 0,5% метод будет неточным), с чистотой образца (образец не должен содержать частицы, имеющие высокую диэлектрическую проницаемость), с формой образца (в ходе измерения форма образца не должна изменяться).

Существует третий вид емкостного гигрометра, который называется емкостным тонкопленочным гигрометром. В данном датчике в роли обкладок конденсатора служат гребенчатые электроды, которые наносятся на подложку. Термокомпенсацию обеспечивают введение в данный датчик дополнительных двух термодатчиков.

2) Резистивный датчик влажности

Данный датчик влажности состоит их двух электродов, нанесенных на подложку. На электроды наносится слой материала, имеющий достаточно малое сопротивление, которое зависит от влажности.

Наиболее подходящим материалом для датчика является оксид алюминия. Он обладает хорошей поглощающей способностью воды из внешней окружающей среды, при котором его удельное сопротивление изменяется. Следовательно, общее сопротивление электрической цепи достаточным образом зависит от влажности. Уровень влажности определяется величиной протекающего тока. Главным достоинством резистивного датчика является его мала цена.

3) Термисторный датчик (гигрометр) влажности

Термисторный датчик содержит в себе пару одинаковых по виду термисторов, который является нелинейным элементом, его сопротивление сильным образом зависит от собственной температуры.

Один из термисторов включенных в электрическую схему датчика размещают в герметичную камеру, где содержится сухой воздух. А второй - в камеру с небольшими отверстиями. Через отверстие в камеру попадает воздух с определенной влажностью, что и потребуется измерить при проводимых исследованиях. Термисторы между собой соединяются мостовой схемой и напряжение подается на одну диагональ, а второй – нужен для считывания показания прибора.

Нулевое напряжение на выходных клеммах свидетельствует тому, что равны между собой температуры двух компонентов, откуда следует влажность одинакова. Если напряжение на выходе не равно нулю, то влажность в разных камерах различные. Данный метод позволяет определить влажность в камерах измеряя напряжение.

Увеличение влажности воздуха приводит к уменьшению температуры термистора, что связано испарением воды из корпуса, где находиться термистор. Известно, что чем больше значение влажности, тем интенсивнее происходит процесс испарения, что приводит к стремительному остыванию термистора.

4) Оптический датчик влажности

Данный датчик по-другому называется конденсационным. Он является наиболее точным датчиком. Принцип работы данного датчика основан на понятие «точка росы». Как только температура достигает данной точки росы, наступает термодинамическое равновесие между газообразным и жидким фазами.

Для пояснения принципа работы оптического датчика рассмотрим образование водяного конденсата на поверхности стекла. Для этого, нужно взять кусок стекла и поместить его в газообразную среду, где значение температуры завышает значение температуры росы. Затем, стекло, помещенное в газообразную среду, охлаждается и при некоторой температуре на его поверхности появляется водяной конденсат. Водяной конденсат, это состояние жидкой фазы самого водяного пара. Температура, соответствующая этому переходу, называется точкой росы.

Следовательно, нужно отметить, что температура, соответствующая точке росы, зависит от влажности и давления окружающей внешней среды. Измеряя давление и температуру, соответствующую точке росы, можно с легкостью определить значение влажности. На основе данного принципа функционирует оптический датчик влажности.

В конструкции простейшей схемы данного оптического датчика имеется светодиод, который применяется для освещения зеркальной поверхности. Падающая на зеркало свет не отражается, а направляется на фотодетектор путем изменения его направления. Чаще всего, температура (подогревается или же охлаждается) зеркала регулируется термоэлектрическим насосом. Значение температуры зеркала измеряется специально установленным датчиком температуры.

До проведения исследований зеркалу задают температуру выше температуры точки росы. Затем, постепенно охлаждают поверхность зеркала и когда температура пересечет точку росы, начнется процесс конденсации. Диод по-прежнему освещает поверхность зеркала, соответственно свет падая на поверхность зеркала, где насаждены водяные капли после конденсации, преломляется от них и рассеивается, что уменьшает фототок детектора в цепи. Фотодетектор и регулятор значения температуры поверхности зеркала взаимодействую между собой через обратную связь.

Регулятор температуры получает информацию от фотодетектора, в виде сигналов и будет удерживать температуру точки росы на зеркальной поверхности, тем самым термодатчик будет показывать соответствующее значение. Зная давление и температуру определяем влажность среды.

Данный оптический датчик влажности является высокоточным по сравнению со всеми другими видами. Основным его недостатком является цена и высокое энергопотребление. Самым главным условием является чистота зеркала.

5) Электронный гигрометр

Следующий тип датчика, измеряющий влажность воздуха называется электронным гигрометром. Принцип действия данного электронного датчика измерения влажности воздуха основывается на изменение значения концентрации применяемого электролита, которым покрыта поверхность электроизоляционного материала. В данное время существуют электронные приборы, которые в автоматическом режиме подогревают поверхность до температуры точки росы.

Измерения температуры точки росы в основном измеряют над раствором, который обладает высокой чувствительностью к незначительным (минимальным) изменениям параметра влажности. Одним их таких растворов является хлорид лития. Для удобства проведения измерений гигрометр можно оборудовать термометром. Данный прибор измеряет значение влажности с высокой точностью, независимо от значений температуры внешней среды и обладает малой погрешностью.

Более распространены обычные гигрометры, состоящие из двух электродов. Электроды втыкаются в среду (например, в почву) позволяют контролировать влажность в зависимости от степени проводимости среды.

6) Психометрический датчик влажности

Данный датчик состоит из сухого и влажного детектора. Детекторы обладают разными значениями температуры. Для определения содержания водяного пара, содержащегося в воздухе необходимо измерить разность температур между детекторами.

7) Аспирационный датчик влажности

Аспирационный датчик отличается от психометрического наличием вентилятора в составе конструкции. Вентилятор принудительным образом нагнетает воздушную смесь или газ. Данная отличительная характеристика позволяет применять аспирационный датчик в местах со слабым и прерывистым движением воздуха.

При измерениях влажности необходимо определить объект и параметры измерений: вид измеряемой влажности (относительную или абсолютную); объект измерения (воздух или почва); диапазон проводимых измерений; важность гистерезиса; точность измерений. Самым точным датчиком является оптический датчик. Тип датчиков влажности определяют исходя из вышеизложенных параметров и самого объекта.

1.3 Автономная микропроцессорная система передачи данных

Современные возможности по разработке различных датчиков [55] и удешевление микропроцессоров также открыли широкую возможность по внедрению аппаратно-программных средств мониторинга климатических параметров. В частности, нашло широкое применение в прикладных задачах относительно дешевого контроллера Arduino, имеющего большую базу разработанных датчиков и средств их связи компьютером [56-60].

Для создания автономной микропроцессорной системы передачи климатических данных нами использован одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi 3 B+. Питание обеспечивается за счет солнечной батареи.

Система включает комплект из необходимых датчиков и программного обеспечения. Модули измерения подключаются к компьютеру через USB-адаптер. Программное обеспечение представляет результаты измерений в табличной и графической форме, а также позволяет просматривать и распечатывать накопленный в базе данных архив измерений за любой период времени. Возможен просмотр данных с датчиков как на других компьютерах локальной сети, так и через Интернет.

На рисунке 1 представлен элементы блока получения климатических данных и передачи их в микрокомпьютер Raspberry. Указанный блок реализован на основе контроллера Arduino, характеристики которого приведены в таблице 1.1.

Arduino UNO – это устройство на основе микроконтроллера ATmega328. В его состав входит все необходимое для удобной работы с микроконтроллером: 14 цифровых входов/выходов (из них 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов), 6 аналоговых входов, кварцевый резонатор на 16 МГц, разъем USB, разъем питания, разъем для внутрисхемного программирования (ICSP) и кнопка сброса. Для начала работы с устройством достаточно просто подать питание от AC/DC-адаптера или батарейки, либо подключить его к компьютеру посредством USB-кабеля.

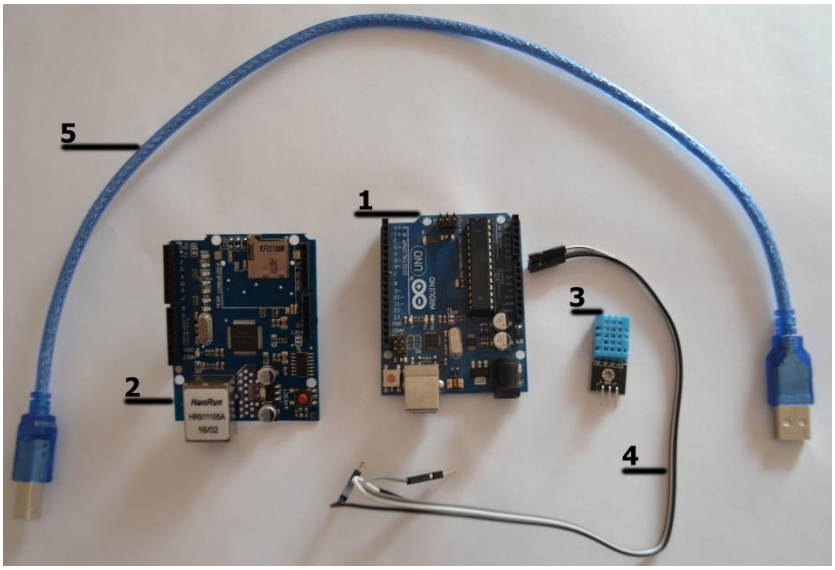


Рисунок 1 – Датчик температуры и влажности: 1– Arduino UNO; 2 – Ethernet Shield W5100; 3 –DHT11 Датчик температуры и влажности; 4 –3 провода для подключение DHT11 датчика к Arduino; 5 – USB кабель для Arduino

Таблица 1.1 – Характеристики Arduino UNO

Микроконтроллер	ATmega328
Рабочее напряжение	5В
Напряжение питания (рекомендуемое)	7-12В
Напряжение питания (предельное)	6-20В
Цифровые входы/выходы	14 (из них 6 могут использоваться в качестве ШИМ-выходов)
Аналоговые входы	6
Максимальный ток одного вывода	40 мА
Максимальный выходной ток вывода 3.3V	50 мА
Flash-память	32 КБ (ATmega328) из которых 0.5 КБ используются загрузчиком
SRAM	2 КБ (ATmega328)
EEPROM	1 КБ (ATmega328)
Тактовая частота	16 МГц

Ethernet Shield — это плата расширения, которая устанавливается поверх самого Arduino. Она даёт возможность выступать в роли сетевого устройства и общаться по проводной сети с аналогичными устройствами, с обычными компьютерами, принтерами, сервисами в интернете и прочими сетевыми

ресурсами. Это последняя версия платы: Ethernet Shield Rev3, она в отличие от своей предшественницы и ряда неофициальных клонов полностью совместима с Arduino Mega 2560.

Плата основана на чипе Wiznet W5100, который поддерживает как TCP, так и UDP протоколы. Одновременно открытыми могут быть до четырёх подключений.

Плата обладает стандартным 8P8C ethernet-портом для подключения к сети с помощью патч-корда витой пары и набором контактов для подключения к Arduino. Для общения между собой Ethernet Shield и Arduino используют контакты 4-й и с 10-го по 13-й, поэтому их использование в других целях в присутствии платы расширения невозможно. Все остальные контакты соединены с базовой платой напрямую, то есть по сути являются «удлинителями».

Для программирования сетевого взаимодействия используется библиотека «Ethernet» из стандартного дистрибутива. Кроме того примеры программ встроены и в Arduino IDE.

На плате размещён слот для флеш-карты формата micro-SD, которая может быть использования для хранения ресурсов, раздаваемых по сети. Для взаимодействия с SD-картой может быть использована библиотека sdfatlib.

В плату встроены следующие индикаторы:

– PWR загорается, когда подведено питание;

– LINK загорается, если сеть доступна. Мигает при получении и передачи данных;

– FULLD горит, если установлено дуплексное соединение. То есть возможен одновременный приём и передача;

– 100M горит, если соединение осуществлено на уровне 100 Мбит/с (не 10 Мбит/с);

– RX мигает при получении данных;

– TX мигает при передаче данных;

– COLL мигает при возникновении коллизий в сети. То есть когда в режиме полудуплекса два устройства пытаются одновременно передать пакет;

– также имеется кнопка сброса, соединённая с базовой платой таким образом, что при нажатии перезагружает оба устройства.

Ниже приведено описание датчика DHT11:

Датчик состоит из двух частей – емкостного **датчика температуры** и гигрометра. Первый используется для измерения температуры, второй – для **влажности** воздуха. Находящийся внутри чип может выполнять аналого-цифровые преобразования и выдавать цифровой сигнал, который считывается посредством микроконтроллера.

DHT11 — это маленький сенсор в небольшом пластиковом корпусе. На выходе сенсора находится цифровой сигнал, причем сразу два параметра и температура и влажность. Смысл общения с контроллером Ардуино заключается в следующем:

– Микроконтроллер запрашивает показания и меняет сигнал с 0 на 1.

– Датчик видит запрос, и отвечает ему, меняя битовый сигнал с 0 на 1.

– Далее датчик выдаёт пакет данных в размере 5 байт(40 бит), при чем в двух первых байтах температура, в третьем и четвертом влажность. Пятый байт — контрольная сумма для исключения ошибок измерения.

На рисунке 2 приведен вид микрокомпьютера RaspberryPi и дисплея.

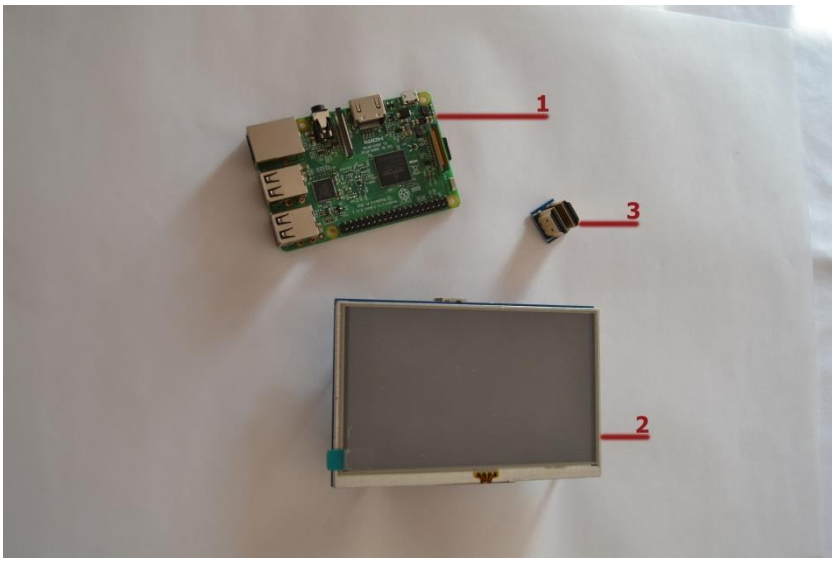


Рисунок 2 – Raspberry Pi : 1 – Raspberry Pi 3 B+; 2 – 5inch HDMI LCD; 3 – HDMI Connector

Raspberry Pi – одноплатный компьютер размером с банковскую карту, то есть различные части компьютера, которые обычно располагаются на отдельных платах, здесь представлены на одной. Raspberry Pi работает в основном на операционных системах, основанных на Linux ядре. Также возможна установка Windows 10 IOT.

5inch HDMI LCD – пятидюймовый LCD дисплей с резистивной сенсорной панелью, предназначенный для использования совместно с миникомпьютером Raspberry Pi. Дисплейный модуль имеет разрешение 800x480 и подключается непосредственно к Raspberry Pi с помощью компактного HDMI соединителя, входящего в комплект. Исключение составляет самая первая модель Raspberry Pi model B, подключиться к которой с помощью компактного HDMI соединителя не получится и потребуется использовать стандартный HDMI кабель.

Дисплейный модуль 5inch HDMI LCD подключается к разъему расширения Raspberry Pi, при этом выводы I/O не задействованы для передачи изображения. Тем не менее, для взаимодействия с контроллером сенсорной панели требуется интерфейс SPI и используются соответствующие выводы I/O. Для уменьшения энергопотребления в решениях, использующих батарейное питание, имеется возможность управлять подсветкой.

На рисунке 3 представлены компоненты автономного блока энергообеспечения.



Рисунок 3 – Автономный блок энергообеспечения: 1 – аккумуляторная батарея (МНВ); 2 – солнечная панель; 3 – контроллер заряда для солнечной батареи; 4 – автомобильное зарядное устройство, обеспечивающее током 5В

На основе вышеуказанных блоков собрана автономная микропроцессорная система передачи данных (рисунок 4).

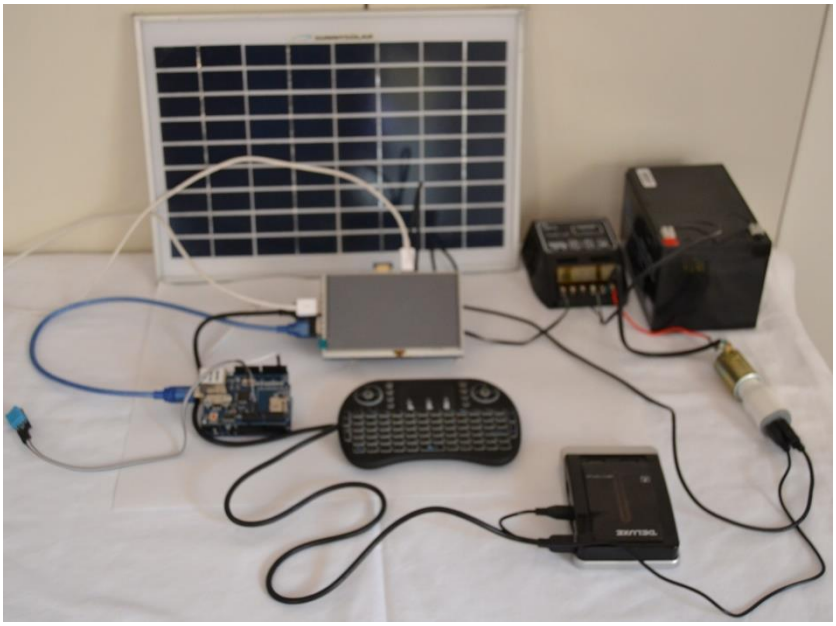


Рисунок 4 – Автономная микропроцессорная система передачи данных

Вычислительным центром системы является платформа Arduino UNO, для связи с сетью используется Ethernet Shield. С помощью Raspberry Pi скетч отправляется на Arduino UNO, который через Ethernet Shield отправляет

данные температуры и влажности на веб-браузер. Для автономного питания Raspberry Pi использует аккумуляторную батарею, который заряжается через солнечную энергию. Дополнительно на рисунке отображены USB-хаб с внешним питанием и беспроводная миниклавиатура. На рисунке 5 изображена схема подключения датчика, их характеристики представлены в таблице

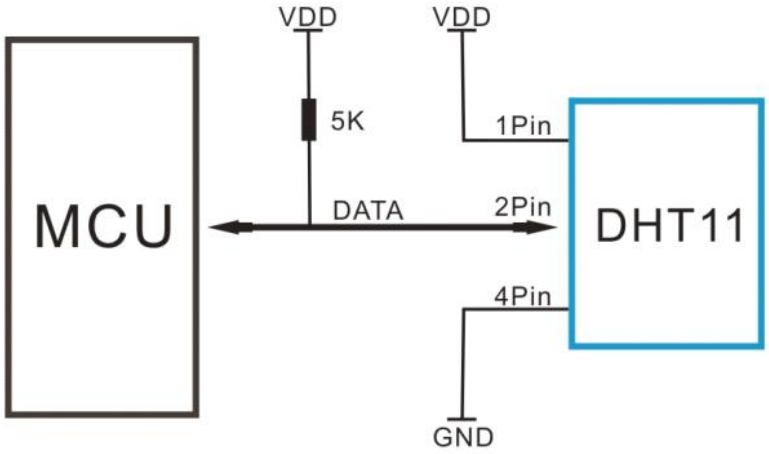


Рисунок 5 – Схема подключения датчика к Arduino

Таблица 1.2 – Характеристики элементов схемы подключения к Arduino

MCU	Микроконтроллер или одноплатный компьютер	Arduino / Raspberry Pi идр.
DHT11	Датчик температуры и влажности	Выводы 1Pin, 2Pin и 4Pin задействованы в схеме, один из выводов датчика – 3-ий пин 3Pin – ни к чему не подключается.
DATA	Шина данных	Если длина соединительного кабеля от датчика к микроконтроллеру не превышает 20 метров, то эту шину рекомендуется подтянуть к питанию резистором 5,1 кОм; если больше 20 метров – то другой подходящий номинал (меньший).
VDD	Питание датчика	Допустимы напряжения от ~3,0 до ~5,5 вольт постоянного тока; если используется питание ~3,3 В, то желательно использовать питающий провод не длиннее 20 см.

На рисунке 6 отображается работа автономной микропроцессорной системы передачи данных.

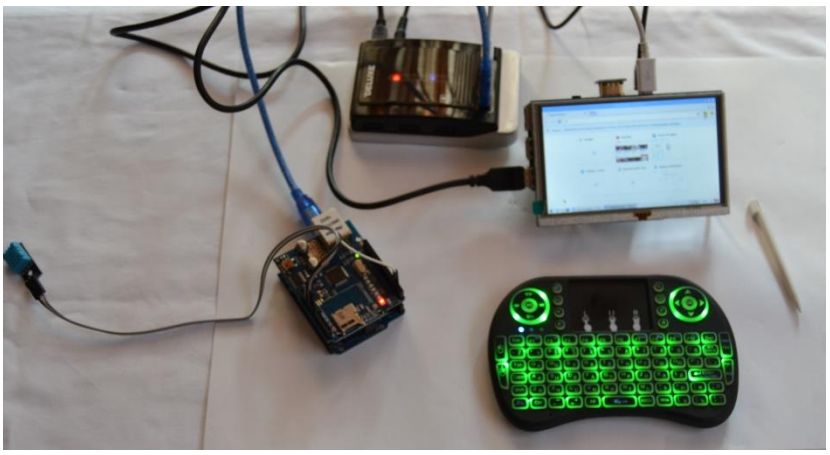


Рисунок 6 – Получение данные температуры и влажности на экран

Для работы Arduino с датчиками DHT11 и DHT22 существует готовая библиотека (DHT).

Скетч получения данных с датчика температуры и влажности DHT11 и вывода полученных данных в последовательный порт предоставлен в листинге 1.

Листинг 1.

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2 // номер пина, к которому подсоединен датчик
 // Инициируем датчик
DHT dht(DHTPIN, DHT11);
 void setup()
 {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
Serial.println("DHTxx test!"); }
 void  loop()
  {
  delay(2000);
  // Задержка 2 секунды между измерениями
 float h = dht.readHumidity();
 //Считываем влажность
 float t = dht.readTemperature();
 // Считываем температуру
 if (isnan(t) || isnan(h))  {
 Serial.println("Failed to read from DHT");
 } else {
Serial.print("Humidity: ");
Serial.print(h);
Serial.print(" %\t");
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(t);
Serial.println(" *C");
}
}
```

Далее указанный скетч загружается в плату Arduino и открывается монитор порта для просмотра полученных данных (рисунок 7).

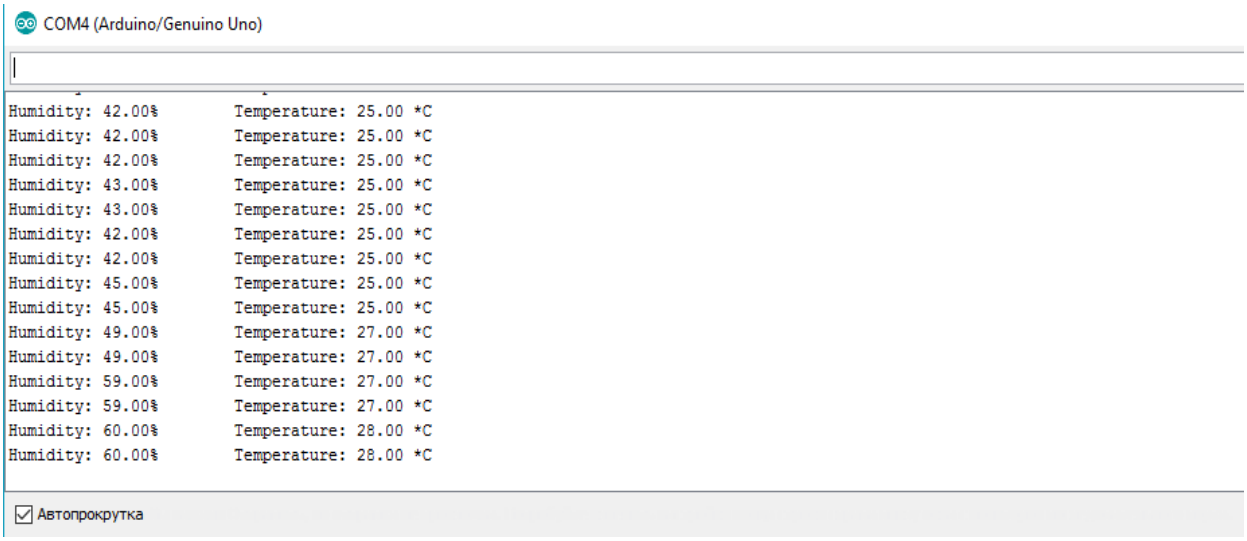


Рисунок 7 – Мониторинг порта в Arduino

Ethernet Shield связывает Arduino с сервером при помощи сети интернет или Wi-Fi роутера. На данный момент используется Wi-Fi роутер для передачи информации с датчиков. Скетч получения данных с датчика температуры и влажности DHT11 и отображение полученных данных в веб-браузере предоставлен в листинге 2.

Листинг 2.

```
#include <DHT.h>

#define DHTPIN 3
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

#include <SPI.h>
#include <Ethernet.h>

byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };
IPAddressip(192,168,0,20);

EthernetServerserver(80);

void setup()
{
dht.begin();

Serial.begin(9600);
```

```
Serial.println("DHT11 test!");

Ethernet.begin(mac, ip);
server.begin();
Serial.print("server is at ");
Serial.println(Ethernet.localIP());
}

void loop()
{
int t = dht.readTemperature(); // чтение датчика на пине 3
int h = dht.readHumidity();

EthernetClient client = server.available();
if (client) {
Serial.println("newclient"); // запрос http заканчивается пустой строкой
boolean currentLineIsBlank = true;
while (client.connected()) {
if (client.available()) {
char c = client.read();
Serial.write(c);
// если вы дошли до конца строки (получил символ новой строки),
// и строка пуста, http-запрос закончился,
// затем вы можете отправить ответ
if (c == '\n' &&currentLineIsBlank) {
// send a standard http response header
client.println("HTTP/1.1 200 OK");
client.println("Content-Type: text/html");
client.println("Connnection: close");
client.println();
client.println("<!DOCTYPE HTML>");
client.println("<html>");
// добавим тег metarefresh, чтобы браузер каждые 5 секунд обновлялся:
client.println("<meta http-equiv=\"refresh\" content=\"5\">");
client.println("<title>");
client.print("Temperature and Humidity");
client.println("</title>");
// вывод результатf temperature и humuidityот DHT11
client.println("<center>");
client.println("<h1>");
client.print("Data Center");
client.println("</h1>");
client.println("<h2>");
client.print("Server Room Temperature and Humidity");
```

```
client.println("</h2>");
client.println("<h4>");
client.print("Temperature : ");
client.print(t);
client.print("<sup>0</sup>");
client.print("C");
client.println("<br />");
client.print("Humidity : ");
client.print(h);
client.print("%");
client.println("</h4>");
client.println("</center>");

client.println("</html>");
break;
}
if (c == '\n') {
currentLineIsBlank = true;
}
else if (c != '\r') {
currentLineIsBlank = false;
}
}
}    // предоставить веб-браузеру время для получения данных
delay(1);
   // закрыть соединение:
client.stop();
Serial.println("client disonnected");
  }
}
```

Данные от датчика температуры и влажности можно посмотреть на веб-браузере компьютера (рисунок 8) и любое устройство подключенное к интернет сети, к которой подключен Arduino, написав в браузерной строке 192.168.0.20.

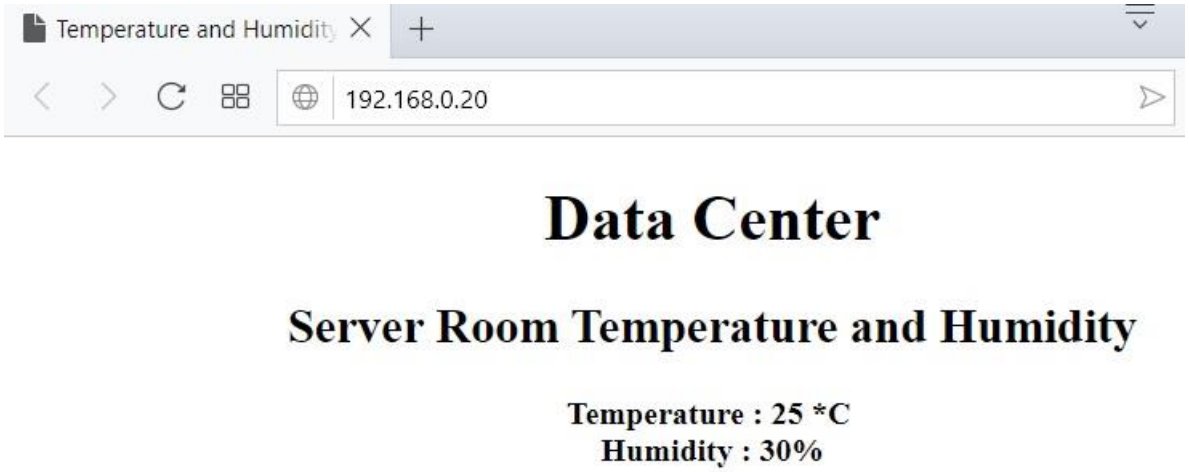


Рисунок 8 – Отображение данных температуры и влажности на веб-браузере RaspberryPi

1.4 Прогнозирование абиотических факторов

В современных информационных системах актуальным становится выполнения операций в реальном режиме времени и в условиях параллелизма. Для систем реального времени в [61] дается определение, что это «…автоматизированные системы с жесткими ограничениями на временные характеристики работы. Формально это условие может быть записано в виде:

$$T_{min} < T < T_{max},$$

где T – некоторая временная характеристика (например, время реакции на внешнее событие, длительность выполнения какой-либо операции, момент наступления какого-либо события и т.п.); Tmin и Tmax, – предельно допустимые значения (границы) этой характеристики. Выход за эти границы считается отказом в работе СРВ…». Данное определение позволяет понять является ли исследуемая система СРВ. Разработка программного обеспечения для таких систем достаточно сложна, так как жесткие временные ограничения СРВ сложно анализировать и находить ошибки в работе таких систем.

Программное и информационное обеспечение, комплекс технических средств являются основными составляющими систем реального времени. Лицо принимающее решение (ЛПР) должен знать о состоянии объекта управления и возмущениях со стороны внешней среды. Получить такую информацию можно получить с помощью измерительных приборов, которые являются источниками информации. Средства управления на основе алгоритма принятия решения формируют управляющее воздействие, передающееся на исполнительные средства. А уже они непосредственно воздействуют на объекты управления, изменяют их параметры. Для обратной связи, чтобы ЛПР мог участвовал в процессе принятия решения, средства

отображения информации визуализируют полученные данные от измерительных средств. Таким образом ЛПР может следить за состоянием объекта и внешней среды, а также управлять воздействуя на исполнительные средства и на средства переработки информации посредством систем управления. Так как описанные части системы реального времени могут быть распределенными на значительной территории, то необходимы специальные технические устройства для связи и передачи данных, обладающие высокой скоростью. На рисунке 9 схематически представлена структура технических средств системы реального времени.

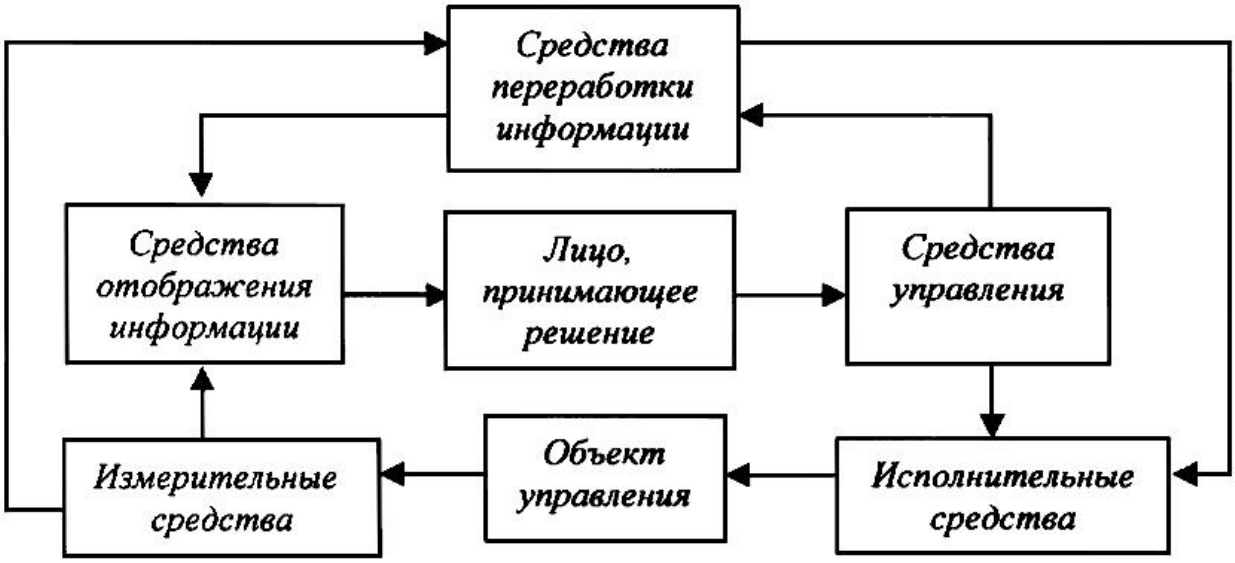


Рисунок 9 – Структура комплекса технических средств СРВ

Как видно из рисунка 9 одной из задач подсистемы «средства переработки информации» является контроль работы системы. Нами предлагается использовать для контроля программу, которая на основе регрессионного анализа прогнозирует ожидаемое значение основного параметра и в случае большого рассогласования с фактическим значением сообщает ЛПР.

Например, если при обработке данные с датчиков поступают с каким-то фиксированным интервалом времени, то с помощью регрессионного анализа может быть предложена следующая схема контроля.

Рассмотрим систему со многими параметрами, задаваемую уравнением

$$y_k = a_1 u_{1,k} + a_2 u_{2,k} + \cdots + a_m u_{m,k} + n_k, \qquad (1.1)$$

где a_i $(i = 1, \dots, m)$ требующие идентификации неизвестные параметры, y_k – выход системы на k-м измерительном интервале, $u_{i,k}$ – i-й вход системы на этом же интервале, а n_k – шум измерения.

Уравнение (1.1) может быть записано в векторной форме

$$y_k = \mathbf{a}^* \mathbf{u}_k + n_k, \tag{1.2}$$

где

$$\mathbf{a}^* = [a_1, \dots, a_m],$$
$$\mathbf{u}_k = \left[u_{1,k}, \dots, u_{m,k}\right]^T.$$

Оценивание вектора параметров **a** осуществляется таким образом, чтобы оценка $\widehat{\mathrm{a}_r}$ минимизировала критерий J_r

$$J_r = \sum_{k=1}^{r} (y_k - \widehat{\mathrm{a}_r^*} \mathbf{u}_k)^2 \tag{1.3}$$

Здесь r обозначает число измерений. Следовательно, оценка $\widehat{\mathrm{a}_r}$ должна удовлетворять уравнению

$$\frac{\partial J_r}{\partial \widehat{\mathrm{a}_r}} = 0, \tag{1.4}$$

так что

$$\left(\sum_{k=1}^{r} \mathbf{u}_k \mathbf{u}_k^* \right) \widehat{\mathrm{a}_r} = \sum_{k=1}^{r} y_k \mathbf{u}_k \tag{1.5}$$

Введем обозначения

$$\begin{aligned} \mathrm{C}_r &= \sum_{k=1}^{r} (\mathbf{u}_k \mathbf{u}_k^*) \\ d_r &= \sum_{k=1}^{r} y_k \mathbf{u}_k \end{aligned} \tag{1.6}$$

.

Тогда задача нахождения оценки вектора $\widehat{\mathrm{a}_r}$ сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений

$$C_r \widehat{\mathrm{a}_r} = d_r. \tag{1.7}$$

Как известно обращение матрицы C_r требует выполнения $\mathrm{O}(\boldsymbol{m}^3)$ арифметических операций [62].

К тому же после поступления очередной (r+1)-й порции измерений необходимо заново пересчитывать матрицу C_r, вектор d_r и заново решать систему линейных алгебраических уравнений (1.7).

Следовательно, вычисление оценки по классическому регрессионному методу требует выполнения большого количества арифметических операций, что неприемлемо для систем реального времени.

Введем обозначения [42]

$$\mathbf{P}_r^{-1} = \sum_{k=1}^{r} (\mathbf{u}_k \mathbf{u}_k^*).$$

Матрица $\mathbf{P}_r^{-1}$ обратима только при $r \geq m$, где m – размерность $\mathbf{u}$, а r – число рассматриваемых измерений. При этом уравнение (1.5) принимает вид

$$\mathbf{P}_r^{-1} \widehat{\mathbf{a}_r} = \sum_{k=1}^{r} y_k \, \mathbf{u}_k,$$

откуда

$$\widehat{\mathbf{a}_r} = \mathbf{P}_r \sum_{k=1}^{r} y_k \, \mathbf{u}_k.$$

Матрицу $\mathbf{P}_r$ можно выразить с помощью следующей рекуррентной формулой:

$$\mathbf{P}_r^{-1} = \sum_{k=1}^{r-1} (\mathbf{u}_k \mathbf{u}_k^*) + \mathbf{u}_r \mathbf{u}_r^* = \mathbf{P}_{r-1}^{-1} + \mathbf{u}_r \mathbf{u}_r^*. \qquad (1.8)$$

Умножая обе части уравнения (1.8) на $\mathbf{P}_r$ слева, получаем

$$\mathbf{E} = \mathbf{P}_r \, \mathbf{P}_{r-1}^{-1} + \mathbf{P}_r \, \mathbf{u}_r \mathbf{u}_r^*,$$

где E -единичная диагональная m*m–матрица.

Далее, умножение этого уравнения на $\mathbf{P}_{r-1}$справа дает

$$\mathbf{P}_{r-1} = \mathbf{P}_r + \mathbf{P}_r \, \mathbf{u}_r \mathbf{u}_r^* \mathbf{P}_{r-1}$$

Если умножить это уравнение на $\mathbf{u}_r$ справа, то получим

$$\mathbf{P}_{r-1} \mathbf{u}_r = \mathbf{P}_r \, \mathbf{u}_r + \mathbf{P}_r \, \mathbf{u}_r \mathbf{u}_r^* \mathbf{P}_{r-1} \mathbf{u}_r = \mathbf{P}_r \mathbf{u}_r \left(\mathbf{1} + \mathbf{u}_r^* \mathbf{P}_{r-1} \mathbf{u}_r\right)$$

Дальнейшее преобразование дает:

$$\mathbf{P}_r = \mathbf{P}_{r-1} - \mathbf{P}_{r-1}\mathbf{u}_r\left(\mathbf{1} + \mathbf{u}_r^*\mathbf{P}_{r-1}\mathbf{u}_r\right)^{-1}\mathbf{u}_r^*\mathbf{P}_{r-1} \quad (1.9)$$

Поскольку $1 + \mathbf{u}_r^*\mathbf{P}_{r-1}\mathbf{u}_r$– скаляр, при получении $\mathbf{P}_r$ по рекуррентному соотношению (1.9) обращение матриц не требуется

Предлагается в качестве начальной оценки **P** брать

$$\mathbf{P}_0 = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right) * \boldsymbol{E}, \qquad \varepsilon > 0 - \text{достаточно малое число.}$$

При переходе от шага *r* к (*r* +1)–му шагу по формуле (1.9) необходимо выполнение $\boldsymbol{O}(\boldsymbol{m}^2)$ арифметических операций, что на порядок меньше чем при классическом подходе.

Для численного моделирования на языке Delphi написана программа (Приложение Д). В качестве входных данных служит файл isxod.csv, который может быть получен экспортированием из таблицы Excel. Данные должны быть размещены построчно в следующем порядке: в первом столбце должен находиться прогнозируемый параметр, а дальше через разделитель (точка с запятой) все входные параметры.

Расчетные данные выводятся в файл с именем Prognoz.txt. Весь исходный ряд разбивается пополам. На первой части происходит настройка, рассчитываются необходимые для вычисления по формуле (1.9) векторы и матрицы.

Далее для второй части рассчитываются прогнозные данные, которые наряду с исходными данными выводятся в результативный файл.

В качестве модельной задачи представлены данные из таблицы 1.3.

Таблица 1.3 – Данные модельной задачи

№	У	X1	X2
1	13,64	2,55	1,81
2	8,86	0,51	1,89
3	12,08	4,72	0,06
4	7,96	1,99	0,74
5	14,61	4,51	0,83
6	9,85	2,83	0,69
7	24,80	3,90	3,76
8	29,81	4,46	4,66
9	16,24	4,47	1,26
10	28,74	4,88	4,13

В таблице 1.3 выходной параметр в Excel запрограммирован по следующей формуле У=2,5*X1+4*X2.

Ниже представлены результативные данные представленные в файле Prognoz.txt.

Имя файла d:\isxod.csv

Всего записей в файле 10

I=0 13,64 = 2,55=1,819742763 AN= 3,5441 2,5292

PN= 33742,4352 -47283,0290

PN= -47283,0290 66257,6667

I=1 8,86 = 0,51=1,896378317 AN= 2,4935 4,0015

PN= 0,4524 -0,3672

PN= -0,3672 0,4429

I=2 12,08 = 4,72=0,066175851 AN= 2,5024 3,9942

PN= 0,0417 -0,0357

PN= -0,0357 0,1753

I=3 7,96 = 1,99=0,744790224 AN= 2,5027 3,9945

PN= 0,0390 -0,0386

PN= -0,0386 0,1722

I=4 14,61 = 4,51=0,836102691 AN= 2,5012 3,9948

PN= 0,0263 -0,0360

PN= -0,0360 0,1717

I=5 9,85 = 2,83=0,693293355 AN= 2,5013 3,9949

PN= 0,0242 -0,0367

PN= -0,0367 0,1714

I=6 24,8 = 3,9=3,764129345 AN= 2,5011 3,9963

PN= 0,0234 -0,0286

PN= -0,0286 0,0787

I=7 29,81 = 4,46=4,664629241 AN= 2,5009 3,9979

PN= 0,0230 -0,0251

PN= -0,0251 0,0498

I=8 16,24 = 4,47=1,269460712 AN= 2,5001 3,9985

PN= 0,0190 -0,0223

PN= -0,0223 0,0479

I=9 28,74 = 4,88=4,135867903 AN= 2,5001 3,9986

PN= 0,0190 -0,0224

PN= -0,0224 0,0421

N	parametr y	par x(1)	par x(2)	prognoz y
5	9,850	2,830	0,6933	9,8482
6	24,800	3,900	3,7641	24,7971
7	29,810	4,460	4,6646	29,8032
8	16,240	4,470	1,2695	16,2515
9	28,740	4,880	4,1359	28,7385

Как видно из вышеприведенного расчета оценочные данные вектора $\widehat{a_r}$ установились уже после второй итерации. По результатам расчетных данных видна, что точность прогноза отличается от фактических данных в третьем знаке после запятой.

1.5 Выводы по первому разделу

В данном разделе разработана автономная микрокомпьютерная система передачи климатических данных, приведена общая характеристика и постановка задачи прогнозирования абиотических факторов. Для регрессионной модели разработана программа, позволяющая в реальном времени прогнозировать значение выходного параметра, за счет избавления пересчета данных от начала отсчета и отсутствия необходимости обращения матриц.

На основе решения модельной задачи показана эффективность разработанной программы.

Результаты данного раздела являются основой для исследования и реализации комплексного решения задачи экспертной оценки эпидобстановки.

Результаты раздела основаны на публикациях [63-65].

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

2.1 Общая характеристика проблемы

В работах [66-71] исследованы различные математические модели сосуществования различных популяций. Вопросам прогнозирования и управления численностью популяций посвящена работа [72]. Различным аспектам анализа устойчивости математических моделей посвящены работы [73-74].

В последние годы широкое развитие получил интервальный анализ. Интервальный подход позволяет навести математическую строгость в построении численных алгоритмов. Основная идея интервального анализа состоит в замене арифметических операций и вещественных функций над вещественными числами интервальными операциями и функциями, преобразующими интервалы, содержащие эти числа. Ценность интервальных решений заключается в том, что они содержат точные решения исходных задач.

Первая публикация, посвященная интервальному анализу, была сделана Р.Е.Муром в 1966 г. [75]. В работах [76-79] систематически были изложены основы и методы интервального анализа. Полностью была дана интервальная арифметика и наряду с «классической» рассматривается ряд ее модификаций и обобщений. Рассмотрены интервальные методы решения задач линейной алгебры, методы прогонки для решения дифференциальных уравнений, методы решения систем нелинейных уравнений. В работах [80-82] приведен обзор состояния по интервальной математике.

Дальнейшее развитие получила прикладная направленность интервальная математика в работах [82-84].

В работе [26] для математической модели [25] доказана теорема существования и единственности решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений [85], решена задача идентификации [86-89] исследуемой модели на основе а) метода квазилинеаризации Беллмана [90], метода функции Лагранжа [91] и метода проекции градиента [92].

Надо отметить, что проблема управляемости и оптимального управления в работе [26] не рассматривалась.

2.2 Управляемость эпидемиологической модели

Проблеме управляемости динамических систем посвящены многие работы [93-97]. Однако до настоящего времени не существуют эффективно проверяемых критериев управляемости при ограниченных управлениях. В этой связи актуальным видится применение методов интервальной математики к исследованию проблемы управляемости.

Данный параграф посвящен исследованию математической модели динамики эпидемиологических процессов на основе методов теории

обыкновенных дифференциальных уравнений, математической теории управления, интервального и нечеткого анализа.

Исследуется управляемость нелинейной системы, описываемой обыкновенными дифференциальными уравнениями

$$\dot{x} = f(x, u, t) \tag{2.1}$$

где $f(x, u, t)$ – n-вектор, элементы которого являются непрерывно-дифференцируемыми функциями по своим аргументам, x – n-мерный вектор состояния системы, u –m-мерный вектор управления.

На управление даются ограничения

$$u(t) \in U = \{u(t): -L_i \le u_i(t) \le L_i,\ i = \overline{1,m}, t \in [t_0, T]\} \tag{2.2}$$

В работе [25] предложена математическая модель, характеризующая эпидемиологическую обстановку в исследуемом регионе. В предложенной математической модели используются следующие абиотические факторы:

w_1 – солнечная активность (числа Вольфа),

w_2 – температура (среднемесячная температура в исследуемом районе),

w_3 – суммарное количество осадков за месяц,

w_4 – максимальное суточное количество осадков за месяц,

w_5 – уровень подземных грунтовых вод,

w_6 – просачиваемость почвы;

биотические факторы:

x_1– общее количество носителей эпидемии (блох),

x_2 – количество заразных носителей эпидемии,

x_3 – общее количество переносчиков эпидемии (песчанок),

x_4 – количество заразных переносчиков эпидемии.

Прогнозирование факторов $w_i, i = \overline{1,6}$ осуществляется на основе результатов первого раздела.

Динамика факторов $x_i\ (i = 1, 2)$ в момент времени t описывается уравнениями:

$$\dot{x}_1 = f_1(w)x_1 - f_2(w)x_1 - b_1u_1, \tag{2.3}$$

$$\dot{x}_2 = \mu_1 x_2 \left(1 - \frac{x_2}{x_1}\right) - c_1 x_2 \tag{2.4}$$

где функция f_1 определяет рождаемость популяции, функция f_2 определяет смертность популяции в зависимости от абиотических факторов среды. Коэффициент μ_1 определяет вероятность заражения одной особи в единицу времени. Коэффициент c_1 определяет темп естественного оздоровления и смертность больных носителей.

Функцию рождаемости f_1 задается следующим образом:

$$f_1(w) = \sum_{i=1}^{3} f_{1_i}(w_i) \tag{2.5}$$

$$f_{1_i}(w_i) = a_i e^{-\frac{(w_i - \widehat{w}_i)^2}{\sigma_i^2}}, i = 1,3 \tag{2.6}$$

Здесь $\widehat{w}_i$ определяет наиболее благоприятное для жизнедеятельности носителя значение i–го абиотического фактора, σ_i - ширину интервала с центром в точке $\widehat{w}_i$, при котором возможна жизнедеятельность носителя. Численные значения параметров $\widehat{w}_i$ и σ_i доступны из соответствующих справочников. Коэффициенты a_i определяют степень влияния i–го абиотического фактора на рождаемость носителя.

Функцию смертности f_2выберем следующим образом:

$$f_2(w) = \sum_{i=1}^{3} f_{2_i}(w_i) \tag{2.7}$$

$$f_{2_i}(w_i) = \beta_i \left(1 - \varepsilon\, e^{-\frac{(w_i - \widehat{w}_i)^2}{\sigma_i^2}}\right), i = 1,2 \tag{2.8}$$

$$f_{2_3}(w) = \beta_3 (1 - \varepsilon\, e^{-\frac{(w_3 - \widehat{w}_3)^2}{\sigma_3^2}}) / w_4 \,. \tag{2.9}$$

В формулах (2.8)-(2.9) коэффициент ε определяет естественную смертность носителя. Коэффициенты β_i определяют степень влияния i–го абиотического фактора на смертность носителя.

Для прогнозирования значения факторов x_i (i = 3,4) в момент времени t предлагается модель:

$$\dot{x}_3 = f_3(\omega)x_3 - f_4(\omega)x_3 - b_2u_2$$
$$\dot{x}_4 = \frac{x_2}{x_1}x_4\left(1 - \frac{x_4}{x_3}\right) - c_2x_4 \quad (2.10)$$

где функция f_3 определяет рождаемость, функция f_4 определяет смертность переносчиков в зависимости от абиотических факторов среды. Коэффициент c_2 определяет смертность больных переносчиков. Функции рождаемости f_3 и смертности f_4 аналогичны соответсвенно функциям f_1 и f_2.

В отличии от модели Вольтерра в (2.3) - (2.10) задаются управления u_1 и u_2, определяющие противоэпидемиологические мероприятия. Коэффициенты b_1 и b_2 задают степень влияния управления на динамику численности носителей и переносчиков.

В [26] для модели (2.3)-(2.10) разработаны: алгоритмы идентификации параметров a_i, β_i, b_i; доказано существование и решение соответствующей задачи для Коши при фиксированном управлении; экспертная система мониторинга эпидобстановки.

Как видно, модель (2.3)-(2.10) полностью погружается в более общую модель (2.1)-(2.2).

В классической теории управления обычно исследуется задача управляемости [62] (Задача 1): существует ли управление, удовлетворяющее ограничению (2.2) и переводящее систему (2.1) из начального состояния

$$x(t_0) = x_0 \quad (2.11)$$

в конечное заданное состояние

$$x(T) = x_T \quad (2.12)$$

за фиксированное время $T - t_0$.

Начальные значения вектора состояния x_0 в формуле (2.11) задаются по фактическим измерениям. В то же время, для задачи мониторинга эпидемиологической ситуации актуально не фиксированное значение x_T в конечный момент времени T в формуле (2.12), а перевод системы в некоторое множество, позволяющее обеспечить удобную интерпретацию.

В этой связи, на основе теории нечетких множеств введем для переменных состояния x системы (2.1), соответствующие лингвистические переменные следующим образом [98-100].

Каждой переменной состояния x_i поставим в соответствие лингвистическую переменную $x_{\text{лингi}}$, $i=\overline{1,n}$. Так как в модели (2.3)-(2.10) переменные состояния системы имеют количественный характер и большее значение их повышает степень опасности возникновения эпидемии, предложены следующие значения лингвистических переменных: TermLin[1]=«идеальный уровень», TermLin[2]=«оптимальный уровень», TermLin[3]=«комфортный уровень», TermLin[4]=«умеренный уровень», TermLin[5]=«допустимый уровень», TermLin[6]=«критический уровень» и TermLin[7]= «катастрофический уровень».

Каждому $j-$му значению $i-$й лингвистической переменной $x_{\text{лингi},j}$ соответствует числовой интервал $\left(x_{\min,i,j}, x_{\max,i,j}\right)$ и множество $\cup_{j=1}^{7}\left(x_{min,i,j}, x_{max,i,j}\right)$ должно охватывать всевозможные значения переменной $\left(x_{\min,i,j}, x_{\max,i,j}\right)$. В частности, допускается, чтобы $\bigcup_{j=1}^{7}\left(x_{\min,i,j,}, x_{\max,i,j}\right)=\left(-\infty,+\infty\right)$.

Введем множество индексов $I_{kr} \subseteq [1,..,n]$, определяющее перечень переменных состояния, на которые накладываются терминальные ограничения. Например, если для модели (2.3)-(2.10) терминальные ограничения накладываются только на переменную x_2 – количество заразных носителей эпидемии, то множество индексов $I_{kr} = [2]$ состоит из одного элемента.

Далее рассматривается следующая нечеткая задача управляемости (Задача 2): существует ли управление, удовлетворяющее ограничению (2.2) и переводящее систему (2.1) из начального состояния (2.11) в конечное состояние

$$x(T) \in TermLin[i_j], \quad i \in I_{kr} \tag{2.13}$$

за фиксированное время $T-t_0$.

В (2.13) индекс i_j соответствует выбранному j-му лингвистическому нечеткому значению для i–й переменной состояния.

Задача 1 является частным случаем задачи 2.

Основные результаты

В силу свойств наложенных на правую часть системы уравнений задачи Коши (2.1), (2.11) при фиксированном управлении $u(t) \in U$ выполнены условия теоремы существования и единственности решения $x(t)$, $t \in [t_0, T]$ [82].

Перепишем задачу Коши (2.1), (2.11) в интегральной рекуррентной форме

$$x_{k+1}(t) = x_0 + \int_{t_0}^{t} f(x_k(\tau), u(\tau), \tau)\, d\tau\,. \qquad (2.14)$$

В силу свойств наложенных на правую часть уравнения (2.1) и ограничений на функцию $u(t)$ в работе [101] доказано, что метод последовательных приближений (2.5) сходится к решению абсолютно и равномерно при любом фиксированном управлении.

Тогда задача управляемости сводится к исследованию следующей задачи: существует ли хотя бы одно управление $\boldsymbol{u(t) \in U}$, при котором решение интегрального уравнения (2.14) в момент времени $\boldsymbol{T}$ удовлетворяет условию (2.13).

Для решения поставленной задачи применим результаты интервального анализа [76-77]. Обозначим через $\bar{\boldsymbol{v}}$ интервал от $\boldsymbol{-L}$ до $\boldsymbol{L}$, через $\bar{\boldsymbol{f}}$ интервалозначную функцию, полученную из функции $\boldsymbol{f(x_k(t), u(t), t)}$.

Подставляя в уравнение (2.14) вместо функции $u(t)$ интервал $\bar{v}$ получим интервальное интегральное уравнение

$$\bar{x}_{k+1}(t) = x_0 + \int_{t_0}^{t} \bar{f}(\bar{x}_k(\tau), \bar{v}, \tau)\, d\tau\,. \qquad (2.15)$$

Теорема 1. Для того чтобы исследуемая система была управляемой необходимо и достаточно, чтобы заданный вектор для всех $\boldsymbol{i \in I_{kr}}$ пересечение множества $\boldsymbol{(x_{min,i,j}, x_{max,i,j})}$ с множеством $\bar{\boldsymbol{x}}_{\boldsymbol{k+1,i}}\boldsymbol{(T)}$ было непустым.

На основе библиотеки процедур интервальных вычислений [102] произведены численные расчеты для модельной задачи. Легкость разработки программного обеспечения, алгоритмизируемость процедуры проверки условий теоремы показывает эффективность его применения.

2.3 Оптимальное управление эпидемиологической модели

Правая часть системы уравнений (2.1) при определениях (2.3)-(2.10) может быть обозначена $f(x,u,t) = g(x,t) + Bu$, B – постоянная (n*m)-матрица, $g(x,t)$–n-вектор, элементы которого являются непрерывно-дифференцируемыми функциями по своим аргументам.

Перепишем систему (2.1) в следующем виде

$$\frac{dx}{dt} = g(x,t) + Bu\,. \qquad (2.16)$$

Состояние системы в начальный момент времени t_0 считается известным (начальное состояние)

$$x(t_0) = x_0 \tag{2.17}$$

Желаемое состояние в конечный момент времени T может быть описано как фиксированное

$$x(T) = x_T \tag{2.18}$$

или подвижное (удовлетворяющее некоторым условиям)

$$\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_j(T) \le d_i, i = \overline{1,k} \tag{2.19}$$

при этом, момент времени T может быть заданным (фиксированным) или находиться исходя из некоторых требований.

На количественные данные наложены естественные ограничения

$$x_i(t) \ge 0, \quad i = \overline{1,n}, \quad t \in [t_0, T\,]. \tag{2.20}$$

Для оценки качества работы системы могут быть выбраны следующие критерии:

$$J = \int_{t_0}^{T} \left[u^*(t) R_0 u(t) + (x(t) - g(t))^* R_1 (x(t) - g(t)) \right] dt \tag{2.21}$$

или

$$J = T - t_0 . \tag{2.22}$$

В функционале (2.21) R_0 – положительно-определенная *m*x*m*-матрица, R_1 – неотрицательно-определенная *n*x*n*-матрица.

Рассматривается задача оптимального управления с фазовыми ограничениями (2.20), ограничениями на управление (2.2) с закрепленными (2.17), (2.18) или подвижными концами (2.17), (2.19). На настоящее время решение подобных задач содержит ряд математических затруднений. В этой связи рассмотрим ряд постановок задач оптимального управления.

1 Задача оптимального управления с закрепленным правым концом и фиксированным временем

Рассматривается задача минимизации функционала (2.21) при ограничениях (2.16), (2.2), (2.17), (2.18). Момент времени T считается заданным (фиксированным).

Для поставленной задачи оптимального управления составим функцию Гамильтона

$$H\left(x(t),u,\psi(t),\psi_0\right)=u^*(t)R_0u(t)+(x(t)-g(t))^*R_1(x(t)-g(t))+ \\ +(g(x,t)+Bu(t))^*\psi \quad . \quad (2.23)$$

Составим сопряженную систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\psi}{dt}=-(\frac{\partial g(t)}{\partial t})^*(t)\psi(t)-2R_1(x(t)-g(t)), \quad t\in[t_0,T] \; . \qquad (2.24)$$

Определим оптимальное управление из условия (2.2) и максимума гамильтониана:

$$u \; =\begin{cases} -L & если \quad R_0^{-1}B\psi<0 \\ R_0^{-1}B\psi & если \quad 0\le R_0^{-1}B\psi\le u_{\max} \\ L & если \quad R_0^{-1}B\psi \; >u_{\max} \end{cases} . \qquad (2.25)$$

Теорема 2. Пусть пара $\left(u(t),x(t)\right)$, $t\in[t_0,T]$ – является решением поставленной выше задачи. Тогда необходимо существует вектор-функция $\psi(t)$, $t\in[t_0,T]$ и параметр ψ_0 такие, что

1) $\psi_0\le 0$, $|\psi_0|+|\psi(t)|\ne 0$, $t\in[t_0,T]$

2) при этом $x(t),\psi(t)$, $t\in[t_0,T]$ – решение краевой задачи для системы дифференциальных уравнений (2.16) и соответствующей сопряженной системы дифференциальных уравнений (2.20) при краевых условиях (2.11) и (2.12) и управлении (2.21).

Доказательство: Так как для сформулированной задачи оптимального управления выполнены все условия принципа максимума Понтрягина [100], то отсюда следует справедливость теоремы.

2 Задача оптимального управления с подвижным правым концом

Рассматривается задача минимизации функционала (2.21), при ограничениях (2.16), (2.2), (2.17), (2.19). Момент времени T считается заданным (фиксированным).

Оптимальное управление находится по формуле (2.25).

Теорема 3. Пусть пара $(u(t),x(t)),\ t\in[t_0,T]$ – является решением поставленной выше задачи. Тогда необходимо существует вектор-функция $\psi(t),\ t\in[t_0,T]$ и параметр ψ_0 такие, что

1) $\psi_0\le 0$, $|\psi_0|+|\psi(t)|\neq 0,\quad t\in[t_0,T]$

2) $\psi(t),\ t\in[t_0,T]$ – решение сопряженной системы дифференциальных уравнений (2.24), удовлетворяющая условию: существуют числа $\beta_1,...,\beta_k$ такие, что

$$\Psi_i(T)=\sum_{j=1}^{k}\beta_j c_{ji},\ i=\overline{1,n},\qquad \beta_i\left(\sum_{j=1}^{n}c_{ij}x_j(T)-d_i\right)=0,\beta_i\ge 0,i=\overline{1,k}$$

3) при каждом $t\in[t_0,T]$ функция $H(x(t),u,\psi(t),\psi_0)$ (2.23) по переменной u достигает своей верхней грани на множестве U при $u=u(t)$, т.е.

$$\sup_{u\in U}H(x(t),u,\Psi(t),\Psi_0)=H(x(t),u(t),\Psi(t),\Psi_0).$$

Доказательство: Так как для сформулированной задачи оптимального управления выполнены все условия принципа максимума Понтрягина [103], то отсюда следует справедливость теоремы.

3 Задача оптимального быстродействия с закрепленным правым концом

Рассматривается задача минимизации функционала (2.22) при ограничениях (2.16), (2.2), (2.17), (2.18). Момент времени T не задан и подлежит определению.

Для поставленной задачи оптимального управления составим функцию Гамильтона

$$H(x(t),u,\psi(t),\psi_0)=1+(g(x,t)+Bu(t))^{*}\psi\ . \qquad (2.26)$$

Составим сопряженную систему дифференциальных уравнений:

$$\frac{d\psi}{dt} = -(\frac{\partial g(t)}{\partial t})^{*}(t)\psi(t), \quad t \in [t_0, T] \ . \tag{2.27}$$

Теорема 4. Пусть пара $(u(t), x(t)), \ t \in [t_0, T]$ – является решением поставленной выше задачи. Тогда необходимо существует вектор-функция $\psi(t), \ t \in [t_0, T]$ и параметр ψ_0 такие, что

1) $\psi_0 \le 0$, $|\psi_0| + |\psi(t)| \ne 0, \quad t \in [t_0, T]$

2) $\psi(t), \ t \in [t_0, T]$ - решение сопряженной системы дифференциальных уравнений (2.26), которая совместно с системой (16) удовлетворяет краевым условиям (2.17) и (2.18)

3) при каждом $t \in [t_0, T]$ функция $H(x(t), u, \psi(t), \psi_0)$ по переменной u достигает своей верхней грани на множестве U при $u = u(t)$, т.е.

$$\sup_{u \in U} H(x(t), u, \Psi(t), \Psi_0) = H(x(t), u(t), \Psi(t), \Psi_0).$$

Доказательство: Так как для сформулированной задачи оптимального управления выполнены все условия принципа максимума Понтрягина [100], то отсюда следует справедливость теоремы.

4 Численный алгоритм решения задачи оптимального управления с закрепленными концами и фазовыми ограничениями

Рассматривается задача оптимального управления с фазовыми ограничениями (2.20), с закрепленными концами (2.17)-(2.18) и ограничениями на управление (2.2). На настоящее время решение подобных задач содержит ряд математических затруднений.

В этой связи для практического решения задачи оптимального управления используется метод штрафных функций и градиентный метод.

Для учета фазовых ограничений (2.20) и ограничений на конец траектории (2.18) введем функции штрафа $\Phi_{1k} = M_{k1} \sum_{i=1}^{n} \int_{t_0}^{T} [\max\{x_i(t); 0\}]^2 dt$ и $\Phi_{2k} = M_{k2} \sum_{i=1}^{n} [x(T) - x_T)]^2$, где $\{M_{k1}\}, \{M_{k2}\}$ некоторые заданные положительные последовательности, стремящиеся к бесконечности.

Построим новый функционал

$$J_k = \int_{t_0}^{T} \{u^*(t)R_0u(t) + (x(t) - g(t))^* R_1(x(t) - g(t)) +$$

$$+ M_{k1}\left[\max\{x_i(t);0\}\right]^2\}dt + M_{k2}\sum_{i=1}^{n}\left[x(T) - x_T)\right]^2$$

Заменим исходную задачу следующей: для заданного к найти оптимальное управление, минимизирующее функционал J_k при ограничениях (2.16), (2.2) и (2.17). Полученная задача является задачей оптимального управления со свободным правым концом и ограничением на управления. Для нее составим функцию Гамильтона

$$H_k = u^*(t)R_0u(t) + (x(t) - g(t))^* R_1(x(t) - g(t)) +$$
$$+ M_{k1}\left[\max\{x_i(t);0\}\right]^2 + (g(x,t) + Bu(t))^*\psi_k$$

Предлагается следующий алгоритм решения.

Шаг 1. Пусть $k = 0$.

Шаг 2. Вычисляется оптимальное управление для -ой итерации

$$u_k = \begin{cases} -L & если \quad R_0^{-1}B\psi_k < 0 \\ R_0^{-1}B\psi_k & если \quad 0 \le R_0^{-1}B\psi_k \le u_{\max} \\ L & если \quad R_0^{-1}B\psi_k > u_{\max} \end{cases} \qquad (2.28)$$

где Ψ_k– решение сопряженной системы дифференциальных уравнений

$$\frac{d\psi_k}{dt} = -(\frac{\partial g}{\partial x})^*\psi_k - 2R_1(x_k(t) - g(t)) + M_{k1}\left[\max\{x_{ki}(t);0\}\right] \qquad (2.20)$$

с условием на конце

$$\Psi_k(T) = 2M_{k2}\sum_{i=1}^{n}[x_k(T) - x_T] \qquad (2.29)$$

и x_k – решение исходной системы (2.16) при начальных условиях (2.11).

Шаг 3. При найденных x_k и u_k вычисляется значение функционала J_k.

Шаг 4. Если $|J_k - J_{k-1}| \le \varepsilon$ то переход к шагу 5, иначе $k = k + 1$ и переход к шагу 2. (Здесь $\varepsilon > 0$- требуемая точность вычисления).

Шаг 5. Найденная пара (x_k, u_k) является оптимальным решением.

Модельная задача рассмотрена при следующем предположении: значения всех абиотических факторов соответствуют их оптимальным значениям. Таким образом, функции $(f_i(w), \mathrm{i} = 1..4)$ являются постоянными.

На основе библиотеки процедур интервальных вычислений [102] разработана программа численных расчетов для модельной задачи. Фрагмент текста программы управляемости приведен в Приложении Е.

Расчеты для уравнений (2.3), (2.4), (2.10), (2.11) выполнены при следующих численных значений параметров: alf1=1; alf2=1; bet1=0.5; bet2=0.5; bk1=5; bk2:=1; ck1=0.3; ck2=0.3; mk1=0.2. Шаг интегрирования взят равным 0.05. В качестве начальной задана точка с координатами (80, 10, 30, 5). Время исследования выбрана равным T=2.5 условных единиц.

Разработанная программа выводит результаты численных расчетов в виде таблицы изменения параметров модели в текстовый файл и графика изменения значений функции. При этом график можно сохранить в виде графического файла или выдать на принтер. В таблице 2.1 приведен фрагмент текстового фала, где значения параметров модели представлены в интервальном виде.

Таблица 2.1 – Фрагмент текстового файла

N t x1 x2 x3 x4
k= 1 t=0,05 = (77,00; 82,00) = (9,94; 9,94) = (30,25; 30,75) = (4,95; 4,95)
k= 2 t=0,10 = (75,45; 82,53) = (9,87; 9,88) = (30,66; 31,37) = (4,90; 4,90)
k= 3 t=0,15 = (74,13; 82,80) = (9,81; 9,81) = (31,10; 31,97) = (4,85; 4,86)
k= 4 t=0,20 = (72,91; 82,94) = (9,75; 9,75) = (31,58; 32,58) = (4,81; 4,81)
k= 5 t=0,25 = (71,76; 82,98) = (9,69; 9,69) = (32,07; 33,19) = (4,76; 4,76)
k= 6 t=0,30 = (70,66; 82,95) = (9,63; 9,63) = (32,58; 33,81) = (4,71; 4,72)
k= 7 t=0,35 = (69,58; 82,87) = (9,57; 9,57) = (33,11; 34,44) = (4,67; 4,67)
k= 8 t=0,40 = (68,52; 82,74) = (9,51; 9,51) = (33,66; 35,08) = (4,62; 4,63)
k= 9 t=0,45 = (67,48; 82,57) = (9,45; 9,45) = (34,22; 35,73) = (4,58; 4,59)
k= 10 t=0,50 = (66,44; 82,36) = (9,39; 9,39) = (34,81; 36,40) = (4,53; 4,54)
……..
k= 49 t=2,45 = (14,76; 51,11) = (7,26; 7,31) = (75,25; 78,88) = (3,26; 3,36)
k= 50 t=2,50 = (12,88; 49,63) = (7,21; 7,26) = (76,90; 80,58) = (3,24; 3,35)

На рисунке 10 представлен график изменения интервальной переменной x1 при следующих ограничениях на управление: 0<=u1<=20; 0<=u2<=10. Как видно из графика начальное значение для переменной x1 соответствует катастрофическому уровню. При имеющихся ресурсах на управление за

время T систему по переменной x1 можно привести в состояния от «умеренного» до «идеального».

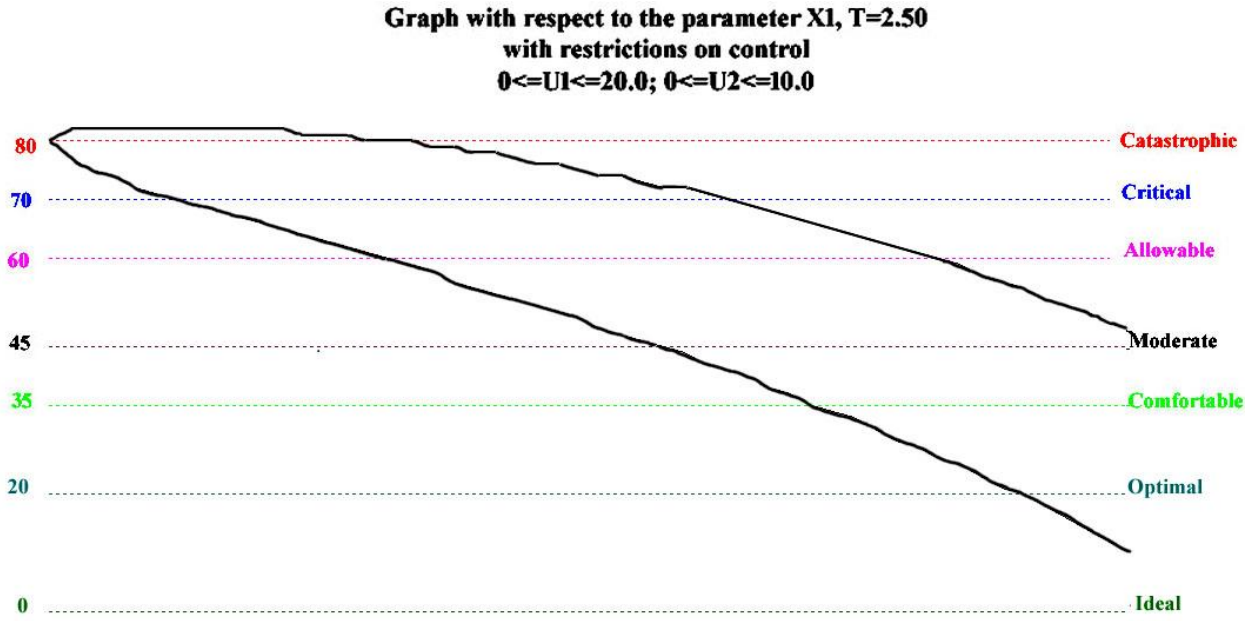


Рисунок 10 – график изменения интервальной переменной x1

На рисунке 11 представлен график изменения интервальной переменной x1 при следующих ограничениях на управление: 5<=u1<=15; 0<=u2<=10. При заданных ресурсах на управление за время T систему по переменной x1 можно привести в состояния от «комфортного» до «оптимального».

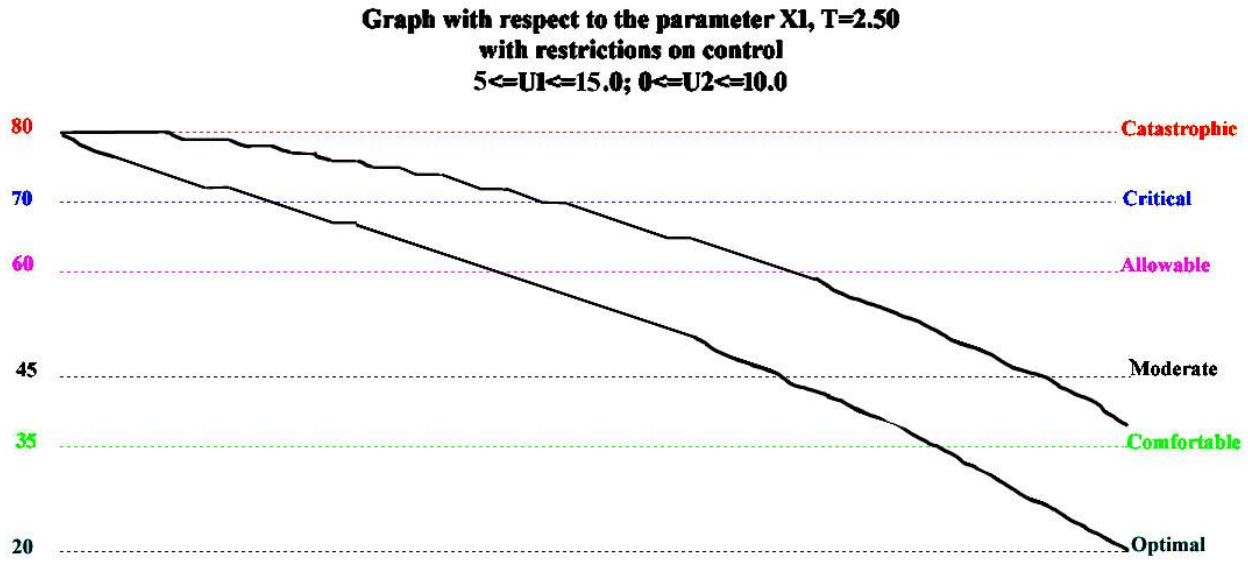


Рисунок 11 – график изменения интервальной переменной x1

На рисунке 12 представлен график изменения интервальной переменной x1 при следующих ограничениях на управление: 7<=u1<=11; 0<=u2<=10. При

заданных ресурсах на управление за время T систему по переменной x1 можно привести в «умеренное» состояние.

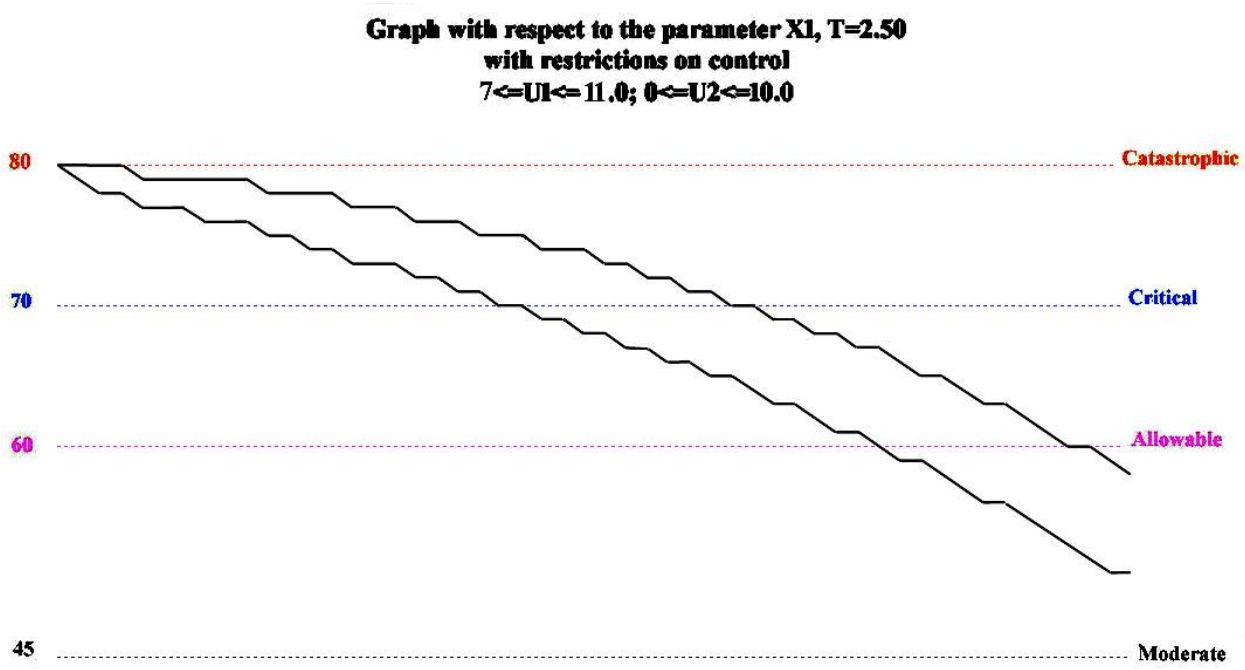


Рисунок 12 – график изменения интервальной переменной x1

Разработана программа нахождения оптимального управления и оптимальной траектории для модельной задачи (Приложение Е). На рисунке 13 представлены графики изменения переменной x1 при следующих ограничениях на управление: 7<=u1<=11; 0<=u2<=10 и двойного увеличения коэффициента штрафа M_{k2} при следующих итерациих в функционале $J_k = \int_{t_0}^{T} \{u_1^2(t) + u_2^2(t)\}dt + M_{k2}\sum_{i=1}^{n}\left[x(T) - x_T)\right]^2$. При заданных ресурсах на управление за время T систему по переменной x1 можно привести в «умеренное» состояние.

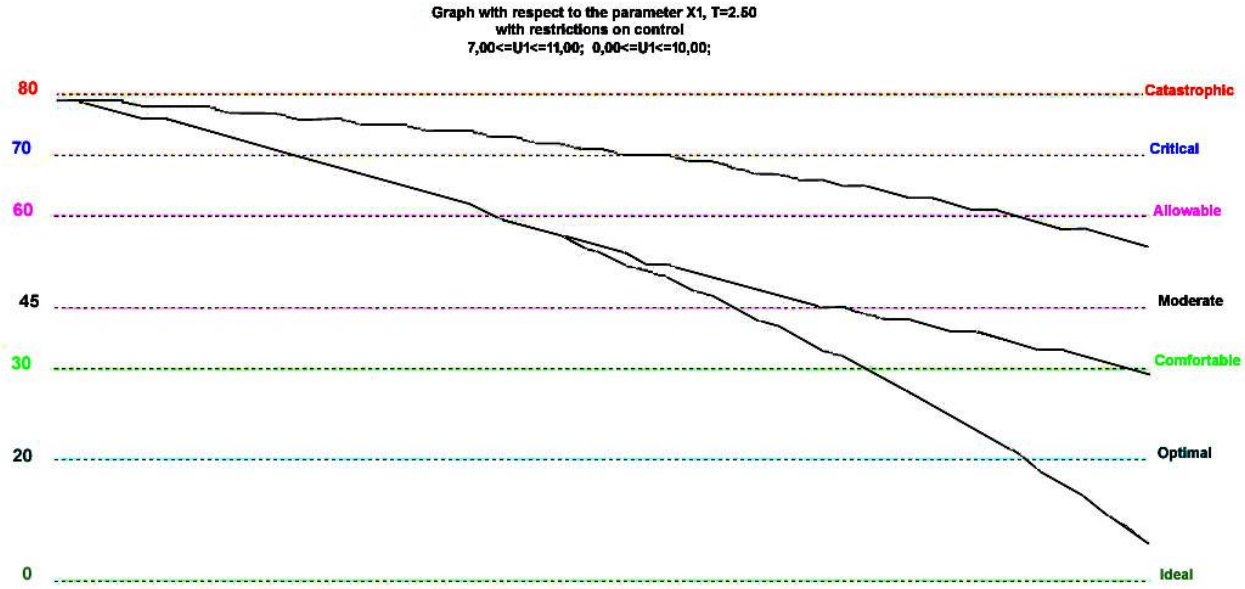


Рисунок 13 – график изменения интервальной переменной x1

В таблице 2.2 приведен фрагмент табличных данных изменения параметра x1 при увеличении штрафного коэффициента M. Как видно из таблицы уже при M=8 вычислительный процесс стабилизировался и дальнейшее увеличение штрафа не приводит к улучшению результатов.

Таблица 2.2 – Динамика изменения траектории x1

N t	M=1	M=2	M=4	M=8	M=16	M=32	M=64
k= 1 t=0,05	= 79,75	= 79,25	= 79,25	= 79,25	= 79,25	= 79,25	= 79,25
k= 2 t=0,10	= 79,49	= 78,48	= 78,48	= 78,48	= 78,48	= 78,48	= 78,48
k= 3 t=0,15	= 79,23	= 77,69	= 77,69	= 77,69	= 77,69	= 77,69	= 77,69
k= 4 t=0,20	= 78,96	= 76,89	= 76,89	= 76,89	= 76,89	= 76,89	= 76,89
k= 5 t=0,25	= 78,69	= 76,06	= 76,06	= 76,06	= 76,06	= 76,06	= 76,06
k= 6 t=0,30	= 78,40	= 75,21	= 75,21	= 75,21	= 75,21	= 75,21	= 75,21
k= 7 t=0,35	= 78,11	= 74,34	= 74,34	= 74,34	= 74,34	= 74,34	= 74,34
k= 8 t=0,40	= 77,82	= 73,45	= 73,45	= 73,45	= 73,45	= 73,45	= 73,45
k= 9 t=0,45	= 77,51	= 72,53	= 72,53	= 72,53	= 72,53	= 72,53	= 72,53
k= 10 t=0,50	= 77,20	= 71,60	= 71,60	= 71,60	= 71,60	= 71,60	= 71,60
k= 11 t=0,55	= 76,88	= 70,64	= 70,64	= 70,64	= 70,64	= 70,64	= 70,64
k= 12 t=0,60	= 76,55	= 69,65	= 69,65	= 69,65	= 69,65	= 69,65	= 69,65
k= 13 t=0,65	= 76,21	= 68,64	= 68,64	= 68,64	= 68,64	= 68,64	= 68,64
k= 14 t=0,70	= 75,87	= 67,61	= 67,61	= 67,61	= 67,61	= 67,61	= 67,61
k= 15 t=0,75	= 75,52	= 66,55	= 66,55	= 66,55	= 66,55	= 66,55	= 66,55
……							
k= 46 t=2,30	= 58,86	= 38,07	= 16,58	= 16,58	= 16,58	= 16,58	= 16,58
k= 47 t=2,35	= 58,08	= 37,27	= 14,25	= 14,25	= 14,25	= 14,25	= 14,25

k= 48	t=2,40 =	57,29 =	36,45 =	11,86 =	11,86 =	11,86 =	11,86
k= 49	t=2,45 =	56,47 =	35,61 =	9,40 =	9,40 =	9,40 =	9,40 = 9,40
k= 50	t=2,50 =	55,63 =	34,75 =	6,89 =	6,89 =	6,89 =	6,89 = 6,89

Приведенные результаты численного моделирования в виде графиков (рисунки 10-13) согласуются с реально ожидаемыми данными.

Легкость разработки программного обеспечения, алгоритмизируемость процедуры проверки условий теоремы показывает эффективность его применения.

2.4 Выводы по второму разделу

В данном разделе для модели прогнозирования управления эпидемиологический обстановки на основе интервальной математики получен критерий управляемости.

Впервые в теории управляемости рассмотрена динамическая модель с ограничением на правый конец на основе лингвистических переменных.

Для прогнозирования и управления эпидемиологический обстановкой на основе интервальной математики получен критерий управляемости.

На основе метода штрафных функций и градиентного метода решена задача оптимального управления с ограниченными управлениями и закрепленными концами

Решением модельной задачи показана эффективность полученного критерия.

Результаты данного раздела являются основой для исследования и реализации комплексного решения задачи экспертной оценки эпидобстановки.

Результаты раздела основаны на публикациях [104-106].

3 КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭПИДПОТЕНЦИАЛА

3.1 Формулировка задач исследования

Одна из актуальных задач медицины состоит в своевременной профилактике различных эпидемических болезней с помощью медико-биологических и социально-экономических мер. Своевременность и действенность медицинских мероприятий может быть обеспечена лишь при условии хорошо разработанной службы прогнозирования, которая должна предсказывать эпидобстановку в обследуемом районе в зависимости от состояния многочисленных абиотических, биотических, социальных и других факторов.

В первых двух разделах работы исследована математическая модель, учитывающая динамику и взаимосвязь абиотических и биотических факторов, характеризующих эпидобстановку в исследуемом очаге. Данный раздел посвящен сведению оценок многочисленных факторов к единой характеристике региона (очага), т.е. получения экспертной оценки эпидемиологической обстановки.

Традиционными областями применения экспертных систем являются следующие [107]:

1) Интерпретация данных. Это одна из традиционных задач для экспертных систем. Под интерпретацией понимается определение смысла данных, результаты которого должны быть согласованными и корректными. Обычно предусматривается многовариантный анализ данных.

2) Диагностика. Под диагностикой понимается обнаружение неисправности в некоторой системе. Неисправность – это отклонение от нормы. Такая трактовка позволяет с единых теоретических позиций рассматривать и неисправность оборудования в технических системах, и заболевания живых организмов, и всевозможные природные аномалии. Важной спецификой является необходимость понимания функциональной структуры ("анатомии") диагностирующей системы.

3) Мониторинг. Основная задача мониторинга – непрерывная интерпретация данных в реальном масштабе времени и сигнализация о выходе тех или иных параметров за допустимые пределы. Главные проблемы – "пропуск" тревожной ситуации и инверсная задача "ложного" срабатывания. Сложность этих проблем в размытости симптомов тревожных ситуаций и необходимость учета временного контекста.

4) Проектирование. Проектирование состоит в подготовке спецификаций на создание "объектов" с заранее определенными свойствами. Под спецификацией понимается весь набор необходимых документов чертеж, пояснительная записка и т.д. Основные проблемы здесь – получение четкого структурного описания знаний об объекте и проблема "следа". Для организации эффективного проектирования и, в еще большей степени, перепроектирования необходимо формировать не только сами проектные решения, но и мотивы их принятия. Таким образом, в задачах

проектирования тесно связываются два основных процесса, выполняемых в рамках соответствующей ЭС*:* процесс вывода решения и процесс объяснения.

5) Прогнозирование. Прогнозирующие системы логически выводят вероятные следствия из заданных ситуаций. В прогнозирующей системе обычно используется параметрическая динамическая модель, в которой значения параметров "подгоняются" под заданную ситуацию. Выводимые из этой модели следствия составляют основу для прогнозов с вероятностными оценками.

6) Планирование. Под планированием понимается нахождение планов действий, относящихся к объектам, способным выполнять некоторые функции. В таких ЭС используются модели поведения реальных объектов с тем, чтобы логически вывести последствия планируемой деятельности.

7) Обучение. Системы обучения диагностируют ошибки при изучении какой-либо дисциплины с помощью ЭВМ и подсказывают правильные решения. Они аккумулируют знания о гипотетическом "ученике" и его характерных ошибках, затем в работе способны диагностировать слабости в знаниях обучаемых и находить соответствующие средства для их ликвидации. Кроме того, они способны планировать обучение ученика в зависимости от его успехов.

Учитывая вышесказанное, технологию разработки ЭС можно представить схемой, включающей следующие этапы [108-113]:

1) Предварительный этап – этот этап включает деятельность предшествующую решению о разработке новой ЭС. В рамках этого этапа осуществляются конкретизация задачи, подбор экспертов в данной предметной области для совместной работы, выбор подходящих инструментальных средств. Главной особенностью этого этапа является то, что может быть принято решение о нецелесообразности разработки ЭС для выбранной задачи.

2) Этап прототипирования – в ходе этого этапа создается прототип ЭС, предназначенный проверки правильности выбранных средств и методов разработки новой ЭС. К прототипу системы не предъявляются высокие требования. Основная его задача состоит в иллюстрации возможностей будущей системы для специалистов, непосредственно участвующих в разработке, а также для потенциальных пользователей. На этом этапе может быть осуществлена корректировка проекта, уточнены время, стоимость и необходимые ресурсы для завершения работы.

3) Этап доработки – это по сути основной, наиболее рутинный и продолжительный этап работы над ЭС. Все компоненты многократно тестируются и доводятся до соответствия требованиям проекта. Наибольшую сложность вызывает доработка и доказательство адекватности и эффективности БЗ, так как количество записей в ней может быть на порядок больше, чем в прототипе.

Наиболее известные/распространённые ЭС [108]:

– система G2 - предоставляет разработчику богатые возможности для формирования простого, ясного и выразительного графического интерфейса.

– CLIPS - весьма популярная оболочка для построения ЭС;

– OpenCyc - мощная динамическая ЭС с глобальной онтологической моделью и поддержкой независимых контекстов;

– WolframAlpha - база знаний и набор вычислительных алгоритмов, интеллектуальный <вычислительный движок знаний>;

– MYCIN - наиболее известная диагностическая система, которая предназначена для диагностики и наблюдения за состоянием больного при менингите и бактериальных инфекциях;

– HASP/SIAP - интерпретирующая система, которая определяет местоположение и типы судов в Тихом океане по данным акустических систем слежения;

– акинатор - интернет-игра. Игрок должен загадать любого персонажа, а Акинатор должен его отгадать, задавая вопросы. База знаний автоматически пополняется, поэтому программа может отгадать практически любого известного персонажа;

– IBM Watson - суперкомпьютер фирмы IBM, способный понимать вопросы, сформулированные на естественном языке, и находить на них ответы в базе данных;

– математическим аппаратом для разработки экспертных систем послужил метод анализа иерархии [114-115], многокритериальной оптимизации [116-120] и искусственного интеллекта [121-124].

3.2 Применение многокритериальной оптимизации для построения математической модели экспертной системы

Ввиду необходимости комплексной оценки эпидемиологических, социальных и экономических показателей вводится понятие «эпидпотенциал», характеризующего эпидобстановку в районе. Обозначим его через Э. Эпидпотенциал аналогично вероятности может принимать значения от 0 до 1. Чем больше значение Э, тем больше вероятность начала эпидемии.

Пусть m – количество информационных параметров оценки социально-эпидемиологической ситуации; $x = (x_1, \dots, x_m)$ – вектор, компоненты которого характеризуют социально-эпидемиологическую ситуацию.

Определим эпидпотенциал:

$$Э = \prod_{k=1}^{m} x_k^{\alpha_k}$$

Формула (3.1) соответствует математической задаче многокритериальной оптимизации, где неизвестными являются коэффициенты α_k, определяющие влияние к–го критерия (информационного параметра) на общий результат.

Введем следующие обозначения:
K – количество экспертов;
N – количество анкет;
M=N*K – количество экспертных оценок
X_{ij} – значение i –го параметра в j –й анкеты, где $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,N}$;
$Э_{ij}$ – оценка i –го эксперта в j –й анкеты, где $i = \overline{1,K}$, $j = \overline{1,N}$.
Предполагается, что
1) значения экспертной оценки удовлетворяют ограничениям
$0 \le Э_{ij} \le 100$,
2) значения параметров в анкетах удовлетворяют ограничениям

$$1 \le X_{ij} \le 100 .$$

Прологарифмируем выражение (3.1):

$$ln(Э) = \sum_{k=1}^{m} \alpha_k \, ln(x_k) \qquad (3.2)$$

Коэффициенты α_k могут быть найдены из условия максимального совпадения знаний экспертов, т.е. минимума функционала

$$S = \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{m} (\ln(Э_{ij}) - \alpha_i \sum_{k=1}^{N} \ln(X_{ik}))^2 . \qquad (3.3)$$

Минимум функционала (3.3) определяется при следующих ограничениях

$$A = \left\{ 0 \le \alpha_i \le 1; \sum_{i=1}^{m} \alpha_i = 1 \right\}. \qquad (3.4)$$

Легко показать, что А является выпуклым замкнутым множеством в пространстве R^m .

Обозначим через α_i^n n-е приближение для вычисления коэффициента α_i.

Построим итерационный процесс

$$\alpha_i^{n+1} = \Pi_A \left(\alpha_i^n - \gamma_n S' (\alpha_i^n) \right). \qquad (3.5)$$

Здесь Π_A – оператор проектирования на множество А. Коэффициенты $\gamma_n \ge 0$, определяющие длину шага на n -м этапе, могут быть найдены из

условия $S(\alpha_i^n - \gamma_n S'(\alpha_i^n)) = \min_{\gamma \in R} S\left(\alpha_i^n - \gamma S'\left(\alpha_i^{k,n}\right)\right)$или в процессе дробления шага.

В качестве нулевого приближения выбирается $\alpha_i^0 = 1/m$.

Теорема 5. Пусть множество А выпукло и замкнуто. Тогда последовательность $\{\alpha_i^n\}$, определяемая по формуле (3.5) сходится к решению задачи минимизации функционала (3.3) на множестве (3.4).

Доказательство. Так как множество А является выпуклым и замкнутым, функционал (3.3) является выпуклым и дифференцируемым, то любая предельная точка последовательности $\{\alpha_i^n\}$ является точкой минимума [91].

Ввиду того, что эпидпотенциал – это показатель возможности заражения человека чумой в природном очаге в определенный момент времени. В разделе предложен алгоритм вычисления эпидемиологического потенциала. В работе использовались данные по числу Вольфа из соответствующей литературы, данные по температуре, осадкам и численности биотических факторов были модельными, приближенными к реальным.

3.3 Выводы по третьему разделу

В разделе рассмотрена математическая модель по обработке экспертной информации оценки эпидемиологической ситуации в регионе.

На основе метода проекции градиента решена задача выбора оптимальных коэффициентов для свертки многих критериев в один. Сформулирована и доказана теорема о сходимости итерационного процесса.

Результаты раздела основаны на публикаций [125].

4 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭПИДОБСТАНОВКИ

4.1 Инструментарий разработки и анализ источников данных

Для программной реализации экспертной системы прогнозирования и управления эпидобстановки выбрана СУБД VisualFoxPro.

VisualFoxPro – это Система Управления Реляционными Базами Данных, основанная на объектно-ориентированном, визуально программируемом языке программирования. Начиная с девятой версии VisualFoxPro поставляется набор классов GDIPlus и MCI [126-127].

Экспертная система позволяет проводить анкетирование и на основе анкетных данных осуществляет настройку для прогнозирования эпидпотенциала для заданного района.

Для функционирования ЭС "ЭПИДОБСТАНОВКА" необходима минимально следующая конфигурация технических средств: ПЭВМ типа IBM PC с обьемом ОЗУ не менее 640К байт; жестким магнитным диском с обьемом свободной памяти не менее 2М байт; печатающим устройством.

4.2 Программная реализация системы

ЭС «ЭПИДОБСТАНОВКА» предназначен для автоматизации прогноза эпидобстановки, на основе математического моделирования процессов динамики биотических факторов и статистической обработки.

Сразу после загрузки программы появляется рекламные заставки, определяющие назначение экспертной системы

Далее на экране дисплея высвечивается главное меню (рисунок 14), позволяющее пользователю выбрать необходимый ему режим работы: а) базы данных; б) анкетирование; в) расчет ЭП; г) сервис; д) выход.

Базы данных

Разработанная ЭС "ЭПИДОБСТАНОВКА" позволяет получать информацию из перечисленных ниже баз данных, оперативно вносить изменения и выдавать их на печатающее устройство в виде соответствующих таблиц.

Разработанная экспертная системапозволяет также оперативно получать информацию из баз данных: «абиотические факторы», «биотические факторы», «социальные факторы». Для прогнозирования значений абиотических факторов x предлагается в режиме диалога несколько методов определения неизвестных a_i , m по известным предыдущим данным. Если пользователю известно из каких-либо источников значение любого из факторов x в момент времени t, то он его может занести в соответствующую базу данных и в дальнейшем при прогнозеэпидобстановки будут использоваться введенные данные.

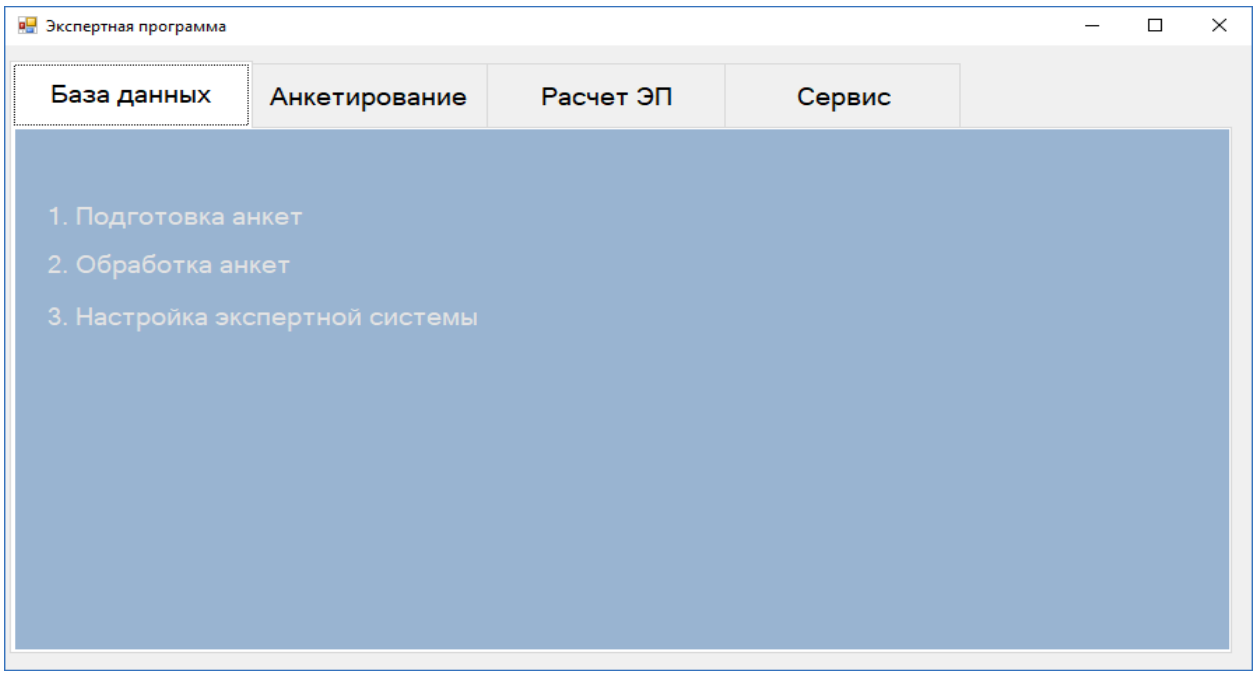


Рисунок 14 – Главное меню ЭС «ЭПИДОБСТАНОВКА»

База данных «ОЧАГИ» содержит информацию об наименованиях очагов эпидемии, включает в себя следующие поля (таблица 4.1):

Таблица 4.1 – База данных «ОЧАГИ»

Наименование	Тип	Разрядность	Назначение
SNRAI	Character	2	Код очага
SNAZV	Character	40	Наименование очага

База данных «БАЗЫ ДАННЫХ»

Содержит информацию об используемых в экспертной системе баз данных, содержащих информацию об используемых абиотических факторах, включает в себя следующие поля (таблица 4.2):

Таблица 4.2 – База данных «БАЗЫ ДАННЫХ»

Наименование	Тип	Разрядность	Назначение
BAZA	Character	8	Код базы
NAIM	Character	30	Наименование базы
TYP	Numeric	1	Тип данных
RAZ1	Numeric	2	Размер данных
RAZ2	Numeric	1	Точность представления данных после запятой

Тип данных может принимать два значения: 1 и 2.

1 – означает, что используемые в базе данные не зависят от района, т.е. являются общими. Например, числа Вольфа не зависят от очага эпидемии.

2 – означает, что используемые в базе данные зависят от района, т.е. являются для каждого очага эпидемии индивидуальными. Например, осадки или температура.

База данных «РЕКОМЕНДАЦИИ».

Содержит информацию о рекомендациях в зависимости от значения эпидпотенциала, включает в себя следующие поля (таблица 4.3):

Таблица 4.3 – База данных «РЕКОМЕНДАЦИИ»

Наименование	Тип	Разрядность	Назначение
EP	Numeric	5	Значение эпидпотенциала
TEX1	Character	60	Текст рекомендации
TEX2	Character	60	-"-"-
…	…	…	…
TEX15	Character	60	-"-"-

База данных «ЧИСЛА ВОЛЬФА»

Содержит информацию о числах Вольфа, включает в себя следующие поля (таблица 4.4):

Таблица 4.4 – База данных «ЧИСЛА ВОЛЬФА»

Наименование	Тип	Разрядность	Назначение
GOD	Numeric	4	Год, за который вносится информация
POL1	Numeric	6	Данные за январь
POL2	Numeric	6	Данные за февраль
…	…	…	…
POL12	Numeric	6	Данные за декабрь
POL13	Numeric	6	Среднегодовые данные

База данных «ТЕМПЕРАТУРА»

Содержит информацию о температуре по любому району, включает в себя следующие поля (таблица 4.5):

Таблица 4.5 – База данных «ТЕМПЕРАТУРА»

Наименование	Тип	Разрядность	Назначение
GOD	Numeric	4	Год, за который вносится информация
RAI	Character	9	Код района
POL1	Numeric	6	Данные за январь
POL2	Numeric	6	Данные за февраль
…	…	…	…
POL12	Numeric	6	Данные за декабрь
POL13	Numeric	6	Среднегодовые данные

Содержит информацию об осадках по любому району, включает в себя следующие поля (таблица 4.6):

Таблица 4.6 – База данных «ОСАДКИ»

Наименование	Тип	Разрядность	Назначение
GOD	Numeric	4	Год, за который вносится информация
RAI	Character	9	Код района
POL1	Numeric	6	Данные за январь
POL2	Numeric	6	Данные за февраль
…	…	…	…
POL12	Numeric	6	Данные за декабрь
POL13	Numeric	6	Среднегодовые данные

База данных «БИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ»

Содержит информацию о биотических факторах, включает в себя следующие поля (таблица 4.7):

Таблица 4.7 – База данных «БИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ»

Наименование	Тип	Разрядность	Назначение
1	2	3	4
DATA	Date	8	Дата внесения
RAION	Character	9	Код района
BZPE	Numeric	6	Число песчанок в 1 норе
BPPE	Numeric	6	Число больных песчанок в 1 норе

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4
BZPG	Numeric	6	Число песчанок на 1 га
BPPG	Numeric	6	Число больных песчанок на 1 га
BZBL	Numeric	6	Число блох в 1 норе
BPBL	Numeric	6	Число больных блох в 1 норе
BZBG	Numeric	6	Число блох на 1 га
BPBG	Numeric	6	Число больных блох на 1 га

База данных «АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ»

Содержит информацию о некоторых абиотических факторах, включает в себя следующие поля (таблица 4.8):

Таблица 4.8 – База данных «АБИОТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ»

Наименование	Тип	Разрядность	Назначение
DATA	Date	8	Дата внесения
RAION	Character	9	Код района
GLUB	Numeric	2	Глубина подземных вод
GPRO	Numeric	2	Просачиваемость почвы

База данных «СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ»

Содержит информацию о социальных факторах, включает в себя следующие поля (таблица 4.9):

Таблица 4.9 – База данных «СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ»

Наименование	Тип	Разрядность	Назначение
1	2	3	4
EDAT	Date	8	Дата внесения
ERAI	Character	9	Код района
EPLN	Numeric	3	Плотность населения на 1 км.кв.
EVRN	Numeric	6	Количество временного населения в квадрате
EYDL	Numeric	6	Удаленность нор песчанок от жилья в км.
ENGR	Character	1	Наличие грызунов и блох в жилье (Д/Н-да/нет)

Продолжение таблицы 4.9

1	2	3	4
ENOP	Character	1	Наличие охотничьего промысла (Д/Н-да/нет)
ENKS	Character	1	Наличие домашних животных (Д/Н-да/нет)
ENMV	Character	1	Наличие медицинских учреждений (Д/Н-да/нет)

Анкетирование

Режим «Анкетирование» экспертной системы включает в себя три подрежима: 1) Подготовка анкет; 2) Обработка анкет; 3) Настройка экспертной системы.

Для проведения анкетирования составляется анкета в режиме «Подготовка анкет». Образец анкеты приводится на рисунке 15. Комплект анкет по одному району может содержать любое количество различных вариантов данных. Затем все комплекты выдаются группе независимых экспертов, которые вручную заносят свои ответы.

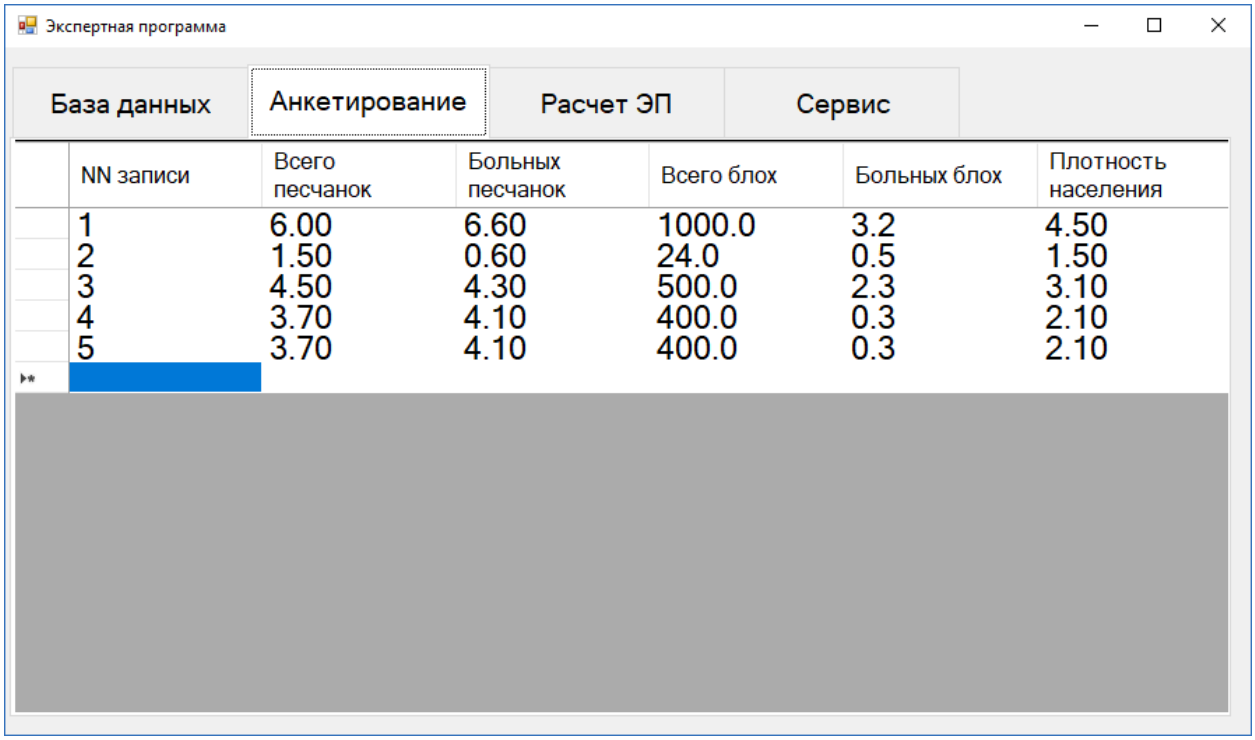


Рисунок 15 – Образец анкеты

В режиме «обработка анкет» можно занести все ответы экспертов в соответствующую базу данных. Образец ответа эксперта представлен на

рисунке 16. В режиме «настройка экспертной системы» происходит вычисление коэффициентов α, β, γ, p на основе решения системы линейных алгебраических уравнений (2.6) для каждого района.

Расчет эпидпотенциала

В режиме «Расчет ЭП» на основе вычисленных коэффициентов (режим «Настройка экспертной системы») определяется эпидпотенциал (ЭП) по формуле

$$Э(t) = \Phi(y(t), z(t), w(t)),$$

где $y(t)$ – вектор, компоненты которого характеризуют численость носителей и переносчиков заболевания, $z(t)$ – вектор количественных признаков, учитывающих социальные факторы. Например, численность населения, численность домашних животных и т.п., $w(t)$ – вектор качественных признаков, учитывающих социальные факторы. Например, наличие медицинских пунктов, наличие транспортной сети т.п.

После расчета эпидпотенциала в программе дается рекомендации в соответствии с численными значениями. Для исследуемого Прибалхашского автономного очага такой эпидпотенциал был вычислен и получены рекомендации (рисунок 17).

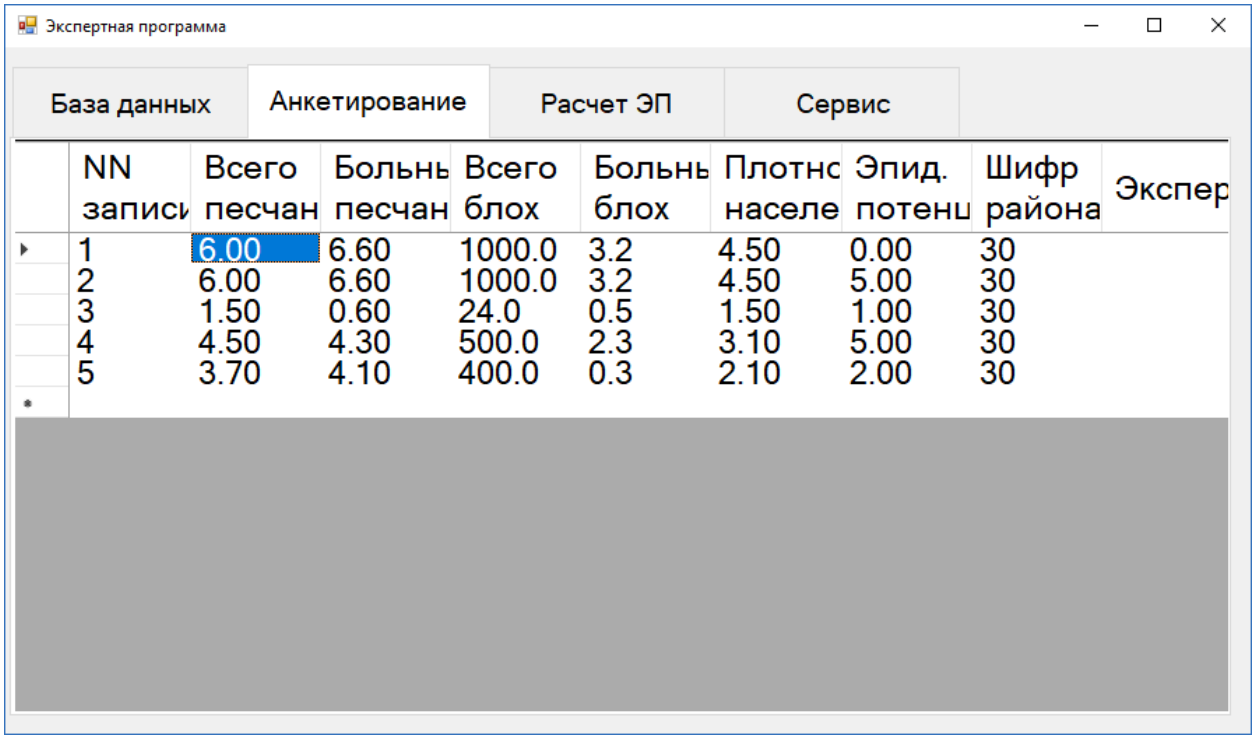


Рисунок 16 – Образец ответа эксперта

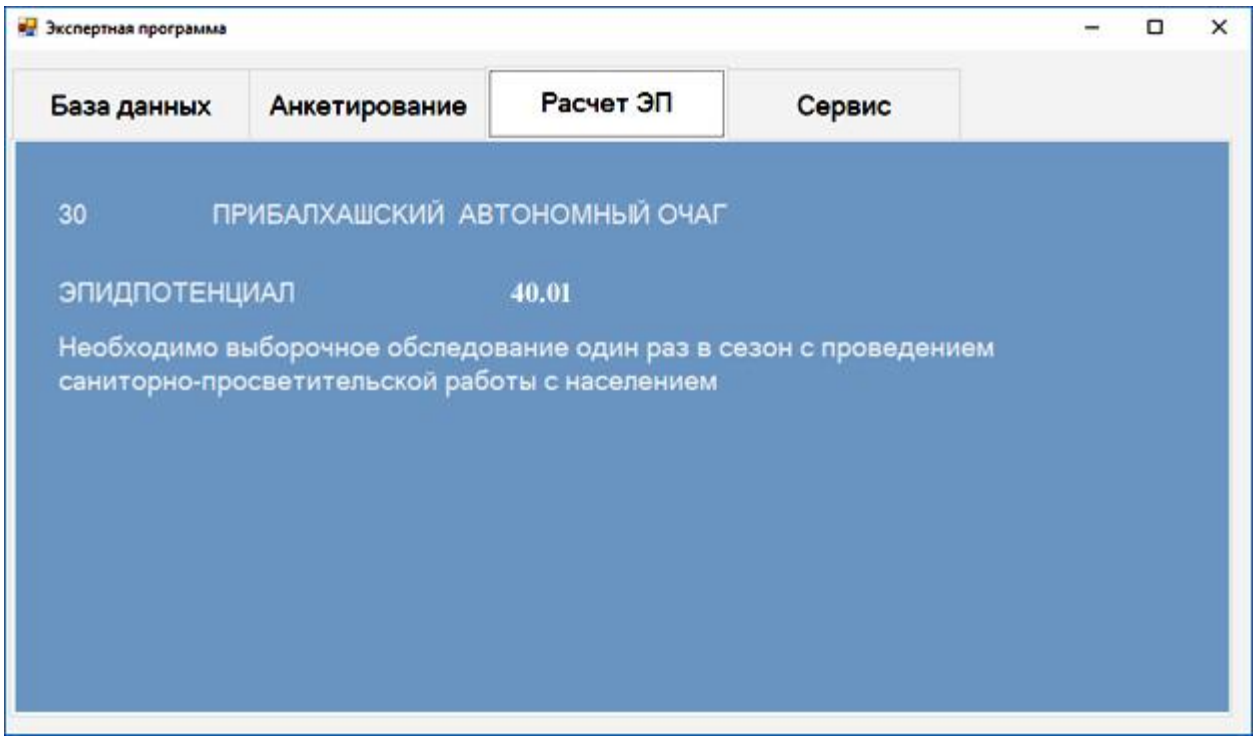


Рисунок 17 – Эпидпотенциал Прибалхашского автономного очага

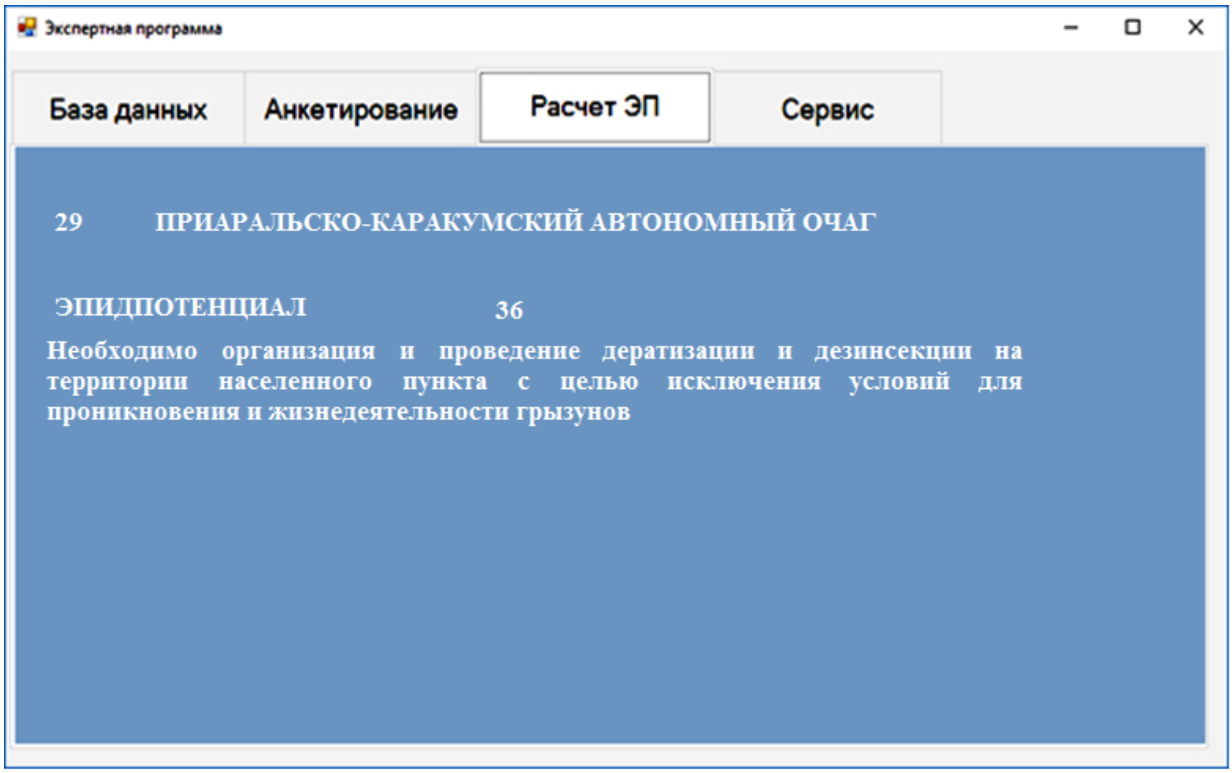


Рисунок 18 – Эпидпотенциал Приаральского-Каракумского автономного очага

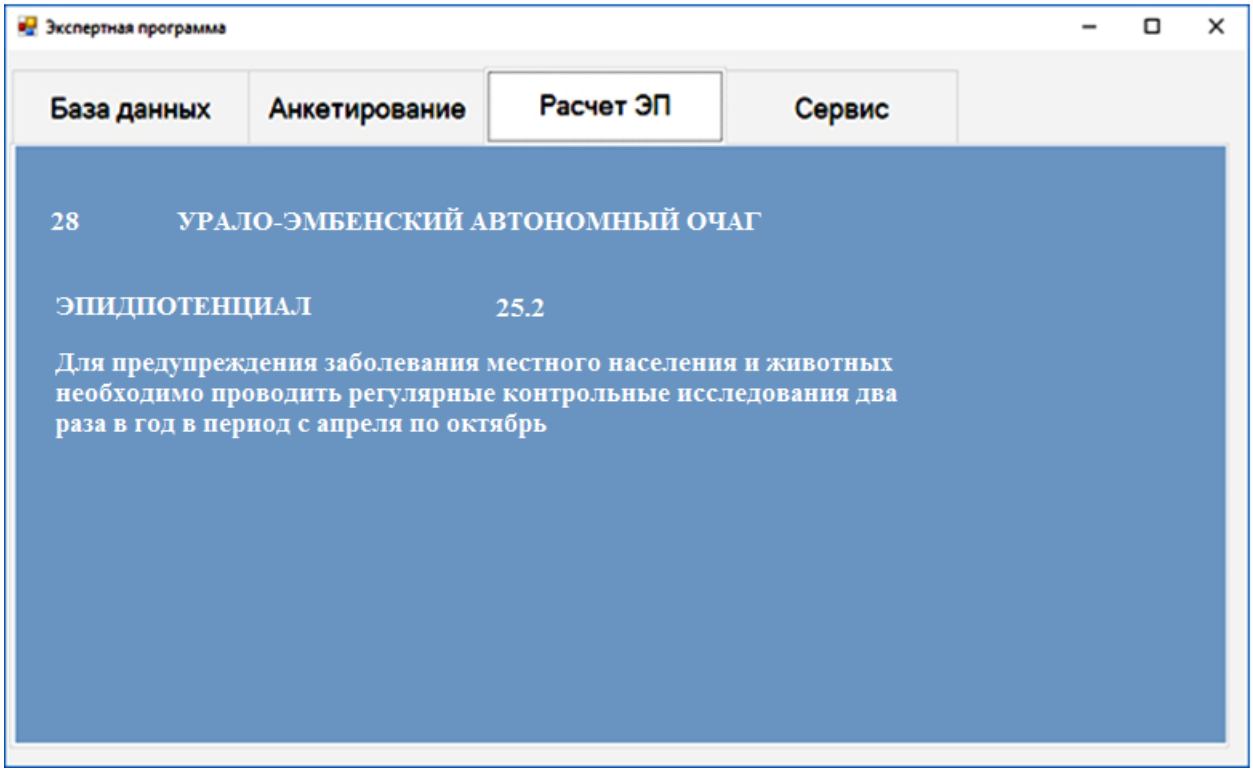


Рисунок 19 – Эпидпотенциал Урало-Эмбенского автономного очага

4.3 Выводы по четвертому разделу

На основе теоретических результатов первых трех разделов на СУБД VisualFoxPro 9 построена экспертная система прогнозирования и управления эпидемиологической обстановкой в заданном районе. Экспертная система позволяет проводить мониторинг и прогнозирование эпидемиологических данных, а также на основе обработки анкетных данных осуществляет расчет эпидпотенциала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе методов математической статистики, численных методов решения экстремальных задач, математической теории управления разработана структура и предложены алгоритмы определения параметров математической модели экспертной системы прогнозирования эпидобстановки.

На базе исследуемой математической модели решены следующие основные задачи:

1) разработана автономная микрокомпьютерная система передачи данных;
2) разработаны алгоритмы прогнозирования значений абиотических факторов;
3) разработаны алгоритмы прогнозирования динамики численности носителей и переносчиков болезней;
4) разработаны алгоритмы управления численностью биотических факторов;
5) разработаны теоретические основы для реализации экспертной системы прогнозирования эпидобстановки;
6) программно реализована экспертная система.

В первом разделе разработана автономная микрокомпьютерная система передачи климатических данных, рассмотрен и программно реализован алгоритм прогнозирования регрессионой модели в реальном масштабе времени. Эффективность алгоритма показана на модельной задаче.

Во втором разделе решена задача управляемости динамической системы, описываемой обыкновенными дифференциальными уравнениями. На основе применения лингвистических переменных и интервальной математики получен эффективно проверяемый критерий, сформулированный и доказанный в виде теоремы. Решена задача оптимального управления при различных ограничениях на условия задачи: 1) с закрепленным правым концом и фиксированным временем, 2) со свободным правым концом, 3) оптимального быстродействия с закрепленными концами и 4) с закрепленными концами и фазовыми ограничениями. Все задачи исследованы при ограничениях на управления. Достовереность полученных результатов следует из сформулированных и доказаных теорем. Эффективность предложенных алгоритмов показана на модельной задаче.

В третьем разделе на основе многокритериальной оптимизации разработан алгоритм вычисления сверточных коэффициентов. Доказана сходимость предложенного алгоритма.

В четвертом разделе приведено описание разработанной экспертной системы прогнозирования и управления эпидемиологической обстановкой. Определены структуры таблиц базы данных и их взаимосвязь. Разработана система анктерирования экспертов. Разработан графический интерфейс пользователя приложения. Описаны различные рабочие области интерфейса. На базе СУБД VisualFoxPro9 реализована интерфейсная часть.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Романюха А.А. Математические модели в иммунологии и эпидемиологии инфекционных заболеваний. – М.: Бином, 2013. – 293 с.

2 Улыбин А.В. Математическая модель распространения инфекций // Вестник ТГУ. – 2011. – Том 16. – Вып.1. – С.184-187.

3 Бачинский А.Г., Низоленко Л.Ф. Универсальная модель локальных эпидемий, вызываемых возбудителями особо опасных инфекций // Проблемы особо опасных инфекций. – 2014. – Вып.2 – С.44-47.

4 Бароян О.В., Рвачев Л.А., Иванников Ю.Г. Моделирование и прогнозирование эпидемий гриппа в условиях СССР. – М.: ИЭВ им.Н.Ф.Гамалеи, 1977. – 544 с.

5 Бароян О.В., Рвачев Л.А. Прогнозирование гриппа в условиях СССР//Вопросы вирусологии. – 1978. – № 2. – С. 131-138.

6 Иванников Ю.Г., Огарков П.И. Опыт математического компьютерного прогнозирования эпидемий гриппа для больших территорий // Журнал Инфектологии. – 2012. – Том 4, № 3. – С.101-106.

7 Иванников Ю.Г., Исмагулов А.Т. Эпидемиология гриппа. – Алма-Ата, 1983. – 204 с.

8 Олсуфьев Н.Г., Дунаева Т.Н. Природная очаговость, эпидемиология и профилактика туляремии. – М.: Медицина, 1970. – 272 с.

9 Чайка А.Н., Савченко С.Т., Алексеев В.В. Эпидемиологический надзор за туляремией на территории Волгоградской области в современных условиях // Вестник ВолГМУ. – 2007. – Том 4, № 1(21). – С. 19-21.

10 Михайлова Т..В. и др. Эпизотическая активность и эпидемическое проявление природных очагов туляремии в Воронежской области // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. – 2017. – № 1(92). – С.16-21.

11 Филоненко И.В. Особенности проявления очагов туляремии на территории Вологодской области // Принципы экологии. – 2015. – № 3. – С.74-81.

12 Пичурина Н.Л., Москвитина Э.А., Орехов И.В. Носители возбудителя туляремии в природных очагах Ростовский области // Эпидемиология и Вакцинопрофилактика. – 2011. – № 5(60). – С.21-24.

13 Попов П.Н. и др Эпизотическая активность природного очага туляремии в Ставропольском крае // Медицинский Вестник Североного Кавказа. – 2011. – № 4. – С.44-47.

14 Васильев В.С. и др. Туляремия: эпизотологическое наблюдение и проблемы диагностики // Журнал ГГМУ. – Гродно. – 2004. – № 3. – С.46-48.

15 Ниязбеков Н.Ш. и др. Регрессионный анализ и ГИС-методы при оценке эпизотической активности природных очагов чумы Казахстана // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2014. – № 2(96). – С.77-82.

16 Абделиев З.Ж. и др. Краткая пространественная и временная характеристика эпизотической ситуации по чуме в 2011 году в Казахстане // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2013. – № 2 (90). – Ч.1. – С.142-144.

17 Айкимбаев А.М., Атшабар Б.Б., Аубакирова С.А. Эпидемиологический потенциал природных очагов Казахстана. – Алматы, 2006. – 153 с.

18 Атлас распространения особо опасных инфекций в Республике Казахстан. – Алматы, 2012. – 232 с.

19 Айкимбаев А.М., Литвак Я.И., Шварц А.В. и др. Руководство по эпидемиологическому надзору в горных очагах чумы Тянь-Шаня и Алтая. Алма-Ата, 1991. – 125 с.

20 Айкимбаев А.М., Мусагалиев Ж.С., Хамзин С.Х. и др. Эпидемиологический надзор за чумой в Урало-Эмбенском и Предустюртском автономных очагах, Алматы, 1994. – 129 с.

21 Сунцов В.В., Сунцова Н.И. Чума. Происхождение и эволюция эпизотической системы (экологические, географические и социальные аспекты). – М.: Изд-во КМК, 2006. – 247 с.

22 Ревич Б.А, Авалиани С.Л., Тихонова Г.И. Экологическая эпидемиология. – М.: Академия, 2004. – 384 с.

23 Соколова Л.А. Индекс риска чумы по иммунокомпьютингу //Труды СПИИРАН. – 2003. – Том 3, Вып.1. – С.137-141.

24 Соколова С.П., Кузьмина Е.А., Абдуллина В.З. Мониторинг особо опасных инфекций (на примере проблемы чумы) //Математическая биология и биоинформатика. – 2007. – Том 2, № 1. – С.82-97.

25 Тойкенов Г.Ч., Мазаков Т.Ж. Применение математических методов в эпидемиологии // Вестник КазГУ. Матем.,механ., информатика. – Алматы, КазГУ. – 1996. – №4. – С.184-189.

26 Тойкенов Г.Ч. Математическое моделирование прогнозирования эпидобстановки: автореф. канд.ф.-м.наук: – Алматы: КазНУ им.аль-Фараби, 1998. – 16 с.

27 Макарова Л.А., Доронина Г.М. Агрометеорологические предикторы прогноза размножения вредителей сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 213 с.

28 Витинский Ю.И. Солнечная активность. – М.: Наука, 1983. – 192с.

29 Крапивин В.Ф., Свирижев Ю.М., Тарко А.М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов.– М.: Наука,1982. – 272 с.

30 Поляк И.И. Многомерные статистические модели климата. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 183 с.

31 Сиротенко О.Д. Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности экосистем. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 167 с.

32 Троян Н. Экологическая биоклиматология. – М.: Высшая Школа, 1988. – 207 с.

33 Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. – М.: Мысль, 1976. – 367 с.

34 Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: Мир, 1974. – 197 с.

35 Кендэл М. Временные ряды. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 199 с.

36 Эсбенсен К. Анализ многомерных данных. – Черноголовка: ИПХФ РАН, 2005. – 140с.

37 Ивахненко А.Г., Зайченко Ю.П., Димитров В.Д. Принятие решений на основе самоорганизации. – М.: Советское радио, 1976. – 280с.

38 Иваненко В.И., Лабковский В.А. Проблема неопределенности в задачах принятия решений. – Киев: Наукова Думка, 1990. – 132с.

39 Рашид Т. Создаем нейронную сеть. – СПб.: ООО «Альфа-книга», 2018. – 272 с.

40 Каллан Р. Нейронные сети. Краткий справочник – М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2017. – 288 с.

41 Аксенов С.В. Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии). – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 128 с.

42 Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. – М.: Мир, 1982. – 388с.

43 Наследов А. SPSS 19: профессиональный статистический анализ данных. – СПб.: Питер, 2011. – 400 с.

44 Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. – М.: ИНФРА, 2002. – 528с.

45 Вальвачев Н.И., Римжа М.И. Статистический метод в медицинской практике с применением микроЭВМ и персональных компьютеров. – Минск: Беларусь, 1989. – 112с.

46 Бизнес-моделирование и анализ данных. Решение актуальных задач с помощью Microsoft Excel. – СПб.: Питер Пресс, 2018. – 864 с.

47 Семенов Н.А. Программа регрессионного анализа и прогнозирования временных рядов. Пакеты ПАРИС и МАВР. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 111с.

48 Климентьев К.Е. Системы реального времени. - Самара: Самар.гос. аэрокосм. ун-т, 2008. – 45 с.

49 КотюкА.Ф. Датчики в современных измерениях. – М.: «Радио и связь», 2006. – 96 с.

50 Фрайден Дж. Современные датчики. – М.: «Техносфера», 2005. – 592 с.

51 Алейников А.Ф. Гридчин В.А. Цапенко М.П. Датчики (перспективные направления развития). – Новосибирск: НГТУ, 2001. – 176 с.

52 Шарапов В.М., Полищук Е.С., Кошевой Н.Д., Ишанин Г.Г., Минаев И.Г., Совлуков А.С. Датчики. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.

53 Вавилов В.Д., Тимошенков С.П., Тимошенков А.С. Микросистемные датчики физических величин. – М.: Техносфера, 2018. 550с.

54 Баника Ф.-Г. Химические и биологические сенсоры: основы и применения. – М.: Техносфера, 2014. – 880 с.

55 Платт Ч, Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 448с.

56 Карвинен Т., Карвинен К., Валтокари В. Делаем сенсоры: проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi. –М.: ООО «И.Д.Вильямс», 2017. – 432 с.

57 Петин В.А. Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Thigs. - СПб.: БХВ-Петербург, 2017. –320с.

58 Петин В.А. Проекты с испозьванием контроллера Arduino. - СПб.: БХВ-Петербург, 2016. –464с.

59 Иго Т. Arduino, датчики и сети для связи устройств. - СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 544с.

60 Бокселл Дж, Изучаем Arduino. 65 проектов своими руками. – СПб.: Питер, 2017. – 400с.

61 Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1967. – 575 с.

62 Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. – М.: Финансы и статистика, 2003.–416 с.

63 Джомартова Ш.А., Мазаков Т.Ж., Исимов Н.Т. Мазакова А.Т. Программа прогнозирования в реальном времени. //Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2017. – №4(66). – С.27-32.

64 Мазаков Т. Ж., Исимов Н.Т., Зиятбекова Г.З., Жолмагаметова Б.Р., Джомартова Д.Т., Ыдырышбаева М.Б. Обработка сигналов ЭКГ на микропроцессорах //Труды научной конференции Института информационных и вычислительных технологий МОН РК «Современные проблемы информатики и вычислительных технологий». – Алматы, 2018. – С.152-158.

65 Алиаскар М.С., Джомартова Ш.А., Зиятбекова Г.С., Исимов Н.Т., Амирханов Б.С., Мазакова А.Т. Автономная микропроцессорная система передачи климатических данных //Вестник КазНИТУ им. К.И.Сатпаева, 2019, № 1 (131). – С.371-377.

66 Максимов А.А. Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз. – Новосибирск: Наука, 1984. – 250 с.

67 Марри Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения в биологии. Лекции о моделях. – М.: Мир, 1983. – 397 с.

68 Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, 1976. – 286 с.

69 Дружелюбова Т.С., Макарова Л.А. Погода и прогноз размножения вредных насекомых. – Л.:Гидрометеоиздат, 1972. – 83 с.

70 Бигон М., Харпер Дж., Таусенд К. Экология особи, популяции и сообщества. – М.: Мир, 1989. – 477 с.

71 Глушков В.Н., Недоступов Э.В., Саранча Д.А, Юферова И.В. Компьютерные методы анализа математических моделей экологических систем. – М.: ВЦ РАН, 2006. – 74 с.

72 Горстко А.Б., Домбровский Ю.А., Сурков Ф.А. Модели управления эколого-экономическими системами. – М.: Наука, 1984. – 119 с.

73 Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 320 с.

74 Свирижев Ю.М., Логофет Д.О. Устойчивость биологических сообществ. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

75 Moor R.E. Interval analysis // Englewood Cliffs. New Jersey: Prentice-Hall, 1966. – 164 p.

76 Шокин Ю.И. Интервальный анализ. – Новосибирск: Наука, 1986. – 224 с.

77 Алефельд Г., Херцберген Ю. Введение в интервальные вычисления. – М.: Мир, 1987. – 360 с.

78 Назаренко Т.И., Марченко Л.В. Введение в интервальные методы вычислительной математики: учеб.пособие. – Иркутск: Издательство Иркутского университета, 1982. – 108 с.

79 Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. – Новосибирск: Наука, 1986. – 224 с.

80 Гусев Ю.М., Ефанов В.Н., Крымский В.Г., Рутковский В.Ю. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы) I,II // Изв. РАН Техн. кибернетика. – 1991. - №1, № 2. – С. 3-30.

81 Шарая И.А. О дистрибутивности в классической интервальной арифметике //Вычисл. технол. – 1997. – №1. – С.71-83.

82 Хансен Э., Уолстер Дж.У. Глобальная оптимизация с помощью методов интервального анализа. – М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2012. – 516 с.

83 Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э. Прикладной интервальный анализ. – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2007. – 468 с.

84 Кулиш У., Рац Д., Хаммер Р., Хокс М. Достоверные вычисления. Базовые численные методы. – М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. – 496 с.

85 Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М.: Наука, 1974. – 331 с.

86 Бессонов А.А., Загашвили Ю.В., Маркелов А.С. Методы и средства идентификации динамических обьектов. –Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 280 с.

87 Гроп Д. Методы идентификации систем. – М.: Мир, 1979. – 302 с.

88 Дейч А.М. Методы идентификации динамических обьектов. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.

89 Эйкхоофф П. и др. Современные методы идентификации систем. – М.: Мир, 1983. – 400 с.

90 Беллман Р., Калаба Р. Квазилиеаризация и нелинейные краевые задачи. – М.: Мир, 1963. – 400 с.

91 Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. – М.: Наука, 1986. – 328 с.

92 Поляк Б.Т. Методы оптимизации. – М.: Наука, 1984. – 384 с.

93 Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. – М.: Наука, 1979. – 336 с.

94 Емельянов С.В., Коровин С.К. и др. Математические методы теории управления. Проблемы устойчивости, управляемости и наблюдаемости. – М.: Физматлит, 2014. – 200 с.

95 Воскресенский Е.В. Управляемость и синтез управления нелинейных систем // Известия ВУЗов. Математика. – 2009, № 10. – С.3-13.

96 Львова Л.Л. Условия управляемости нелинейных систем с параметром // Вестник ТГУ. – 2000. – Том 5. – Вып.4. – С.475-476.

97 Давыдов А.А., Закалюкин В.М. Управляемость нелинейных систем: типичные особенности и их устойчивость // Успехи матем.наук. – 2012. – Том 67. – Вып.2 (404). – С.65-92.

98 Фидлер М., Недома Й., Рамик Я., Рон И., Циммерманн К. Задачи линейной оптимизации с неточными данными. – М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. – 288 с.

99 Заде А.Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 166 с.

100 Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бином, 2011. – 798 с.

101 Верлань А.Ф., Сизиков В.С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. – Киев: Наукова Думка, 1986. – 543 с.

102 Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А., Оспанова М.К. Библиотека процедур интервальной математики // Материалы 1-й междунар. научно-практ. конф. «Информатизация общества». – 2004. – С.160-162.

103 Васильев Ф.П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1980. – 400 с.

104 Исимов Н.Т., Мазаков Т.Ж., Карымсакова Н.Т. Исследование модели прогнозирования и управления эпидобстановкой с применением нечеткого и интервального анализа //Научно-технический журнал «Вестник Алматинского университета энергетики и связи», спец.выпуск. – 2018. - С.147-155.

105 Исимов Н.Т., Мазаков Т.Ж, Карымсакова Н.Т., Жолмагамбетова Б.Р., Зиятбекова Г.З. Оптимальное управление эпидобстановкой //Труды 14-й международ. азиатской школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем». – Иссык-Куль, 2018. - С.250-258.

106 Issimov N., Mazakov T., Mamyrbayev O., Ziyatbekova G. Application of fuzzy and interval analysis to the study of the prediction and control model of the epidemiologic situation // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2018. – Vol. 96. – № 14. – P. 4358-4368.

107 Муромцев Д.И. Введение в технологию экспертных систем. – СПб.: СПб ГУ ИТМО, 2005. – 93 с.

108 Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Болов Д.Л.Разработка экспертных систем. Среда Clips. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.

109 Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.

110 Таунсенд К., Фохт Д. Проектирование и программная реализация экспертных систем на персональных ЭВМ. – М. Финансы и статистика, 1990. – 320 с.

111 Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирования. – М.: Вильямс, 2006. – 1152 с.

112 Козин Р.Г. Экспертные системы. – М.: МИФИ, 2008. – 87с.

113 Джексон П. Введение в экспертные системы. – М.: Вильямс, 2001. – 624 с.

114 Саати Т. Принятие решений: Метод анализа иерархий / пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1993. – 264 с.

115 Александровская Л.Н., Аронов И.З. Математические основы риск-менеджмента технических систем: в 3 т. – М.: АИР, 2017. – Т.3. – 238 с.

116 Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. - М.: Наука, 1982. - 256 с.

117 Жуковин В.Е. Многокритериальные модели принятия решений с неопределенностью. - Тбилиси, 1983. - 104 с.

118 Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1992. – 197 с.

119 Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. –М.: Наука, 1866. – 296 с.

120 Соболь И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа, 2006. – 175 с.

121 Давнис В.В. Прогнозные модели экспертных предпочтений. – Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 2005. – 248 с.

122 Васильев В.И. Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления: теория и практика. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.

123 Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – 164 с.

124 Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. – М.: Инфра-М, 2010. – 432 с.

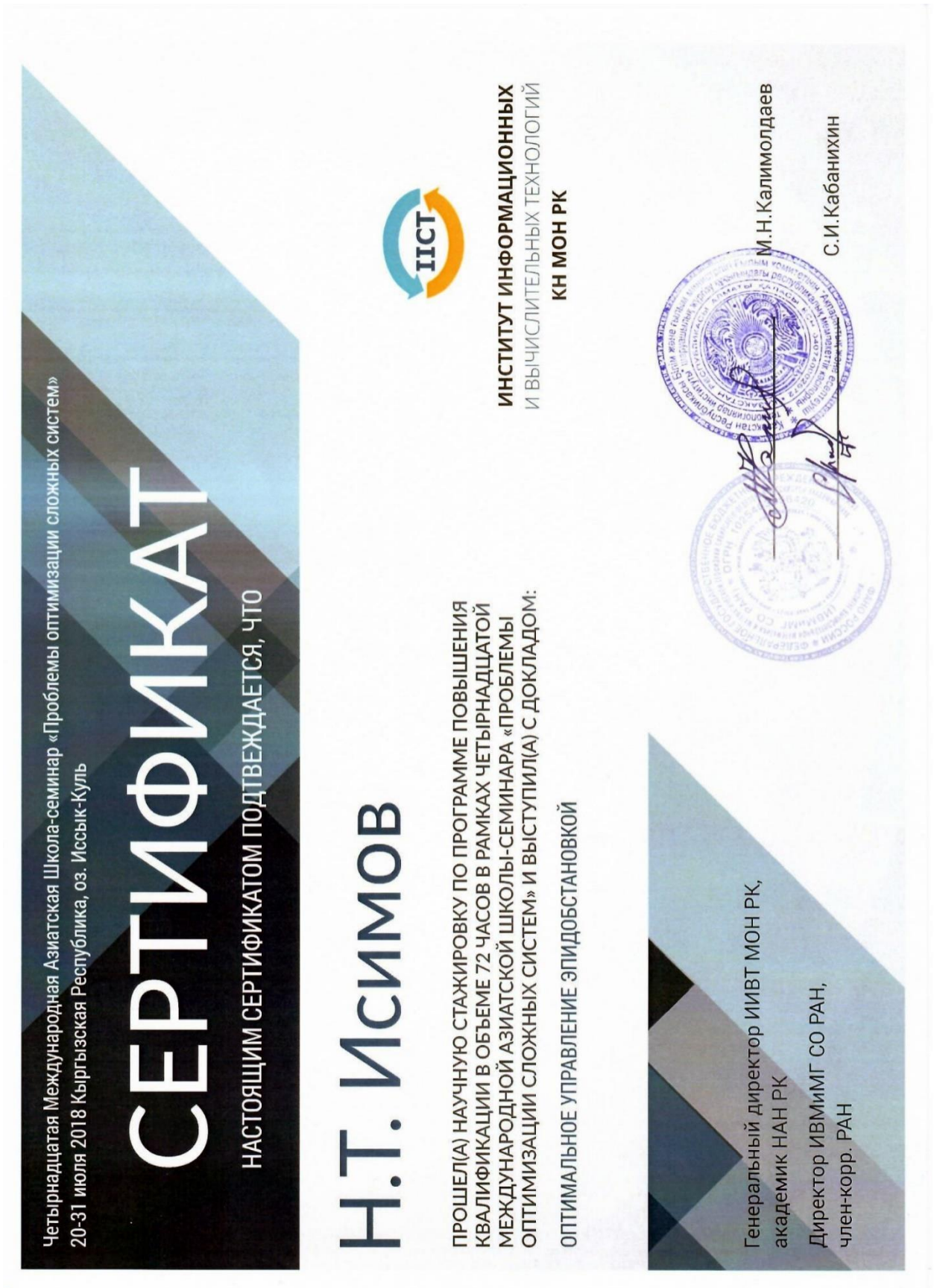
125 Мазаков Т.Ж., Исимов Н.Т., Жолмагаметова Б.Р., Карымсакова Н.Т., Ыдырышбаева М.Б. Об одном методе обработки экспертной информации // Материалы Ш межд. науч. конф. «Информатика и прикладная математика», часть 2, Алматы: 2018. – Ч.2. – С. 221-224.

126 Клепинин В.Б., Агафонова Т.П. Visual FoxPro 9. – СПб.: «БХВ-Петербург», 2007. – 1216 с.

127 Омельченко Л.Н. Самоучитель Visual FoxPro 8. – СПб.: «БХВ-Петербург», 2003. – 688 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Сертификат научной стажировки)



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(Свидетельства о государственной регистрации прав на объект авторского права)

.



Авторлық құқық объектісіне құқықтарды мемлекеттік тіркеу туралы

КУӘЛІК

№ 2342 **13 қазан 2017** ж.

Қазақстан Республикасы Әділет министрлігінде құқық иеленушінің өтініші бойынша авторлары **Шолпан Абдразаковна Джомартова, Талгат Жакупович Мазаков, Нурдаулет Токтарович Исимов, Әйгерім Талғатқызы Мазақова** болып табылатын авторлық құқықпен қорғалатын объектіге айрықша мүліктік құқықтар **«Прогноз-РВ» (ЭЕМ-ге арналған бағдарлама)** атауымен тіркелгені куәландырылады.

Құқық иеленушінің өтініші бойынша авторлық құқықпен қорғалатын объектіге айрықша мүліктік құқықтар және **2016 жылғы 1 қыркүйек – 2017 жылғы 31 тамыз аралығында** жасалған объекті **2027 жылғы 18 қыркүйекке дейін Қазақстан Республика Білім және ғылым министрлігінің «әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» РМК-на** тиесілі және құқық иеленуші жоғарыда көрсетілген объектіні жасаған кезде басқа адамдардың зияткерлік меншік құқығы бұзылмағандығына кепілдік береді.

Тізілімде **2017 жылғы 13 қазанда** жасалған № 2342 жазба бар.

Министрдің орынбасары **Э. Әзімова**

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

СВИДЕТЕЛЬСТВО

О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ

№ 7643 от «21» января 2020 года

Фамилия, имя, отчество, (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):
ЗИЯТБЕКОВА ГУЛЗАТ ЗИЯТБЕККЫЗЫ, ИСИМОВ НУРДАУЛЕТ ТОКТАРОВИЧ, МАЗАКОВ ТАЛГАТ ЖАКУПОВИЧ, ДЖОМАРТОВА ШОЛПАН АБДРАЗАКОВНА

Вид объекта авторского права: **программа для ЭВМ**

Название объекта: **Автоматизированная система мониторинга и управления социально-эпидемиологической ситуацией**

Дата создания объекта: **08.01.2020**

ҚР ӘДІЛЕТ МИНИСТРЛІГІНІҢ ЗИЯТКЕРЛІК МЕНШІК ИНСТИТУТЫ РГП НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ МЮ РК

Құқық туындысының http://www.kazpatent.kz/ru сайтының "Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады https://copyright.kazpatent.kz

Подлинность документа возможно проверить на сайте kazpatent.kz в разделе «Авторское право» https://copyright.kazpatent.kz

Подписано ЭЦП

Оспанов Е. К.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(Справка о публикации входящей в БД Scopus)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
ҒЫЛЫМ КОМИТЕТІ
«ҰЛТТЫҚ МЕМЛЕКЕТТІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ САРАПТАМА ОРТАЛЫҒЫ»
АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
КОМИТЕТ НАУКИ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР ГОСУДАРСТВЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

050026, Қазақстан Республикасы
Алматы қ., Бөгенбай батыр көш., 221
Тел.: +7 (727) 378-05-09
Email: info@ncste.kz http://www.ncste.kz
dir@inti.kz

050026, Республика Казахстан
г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 221
Тел.: +7 (727) 378-05-09
Email: info@ncste.kz http://www.ncste.kz
dir@inti.kz

Исх №: 2195/10-05
«10» 09 2018

Институт информационных и вычислительных технологий

На 01-07/559
от 04.09.2018 г.

АО «Национальный центр государственной научно-технической экспертизы» предоставляет информацию о наличии публикации **Исимова Н.Т.** в журнале **«Journal of Theoretical and Applied Information Technology»** (Pakistan), ISSN 1992-8645, входящем в базу данных **Scopus** с 2009 года по настоящее время. **CiteScore** 2017 года **равен 0,42.** Предметная область – **компьютерные науки: общие компьютерные науки; математика: теоретические компьютерные науки**.

Статья **Исимова Н.Т.**:

Nurdaulet I., Talgat M., Orken M., Gulzat Z. Application of fuzzy and interval analysis to the study of the prediction and control model of the epidemiologic situation // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2018. - V. 96. – Iss. 14. – P. 4358-4368.

Статья **выявлена** в базе **Scopus.**

Вице-президент АО «НЦГНТЭ» **А. Маулитов**

Байкадыр Г.А.
8 (727) 378-08-35

004815

Бланк сериялық нөмірсіз жарамсыз болып табылады. Жауап қайтарарда мекеттің түрде бердің № және күні көрсетілу керек.
Бланк без серийного номера не действителен. При ответе обязательно ссылаться на наш № и дату.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(Фрагмент текста программы прогнозирования)

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls;

type
  TForm2 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Button1: TButton;
    Label2: TLabel;
    Button2: TButton;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
  const n=2;
var
  Form1: TForm2;
  NazFi,xr,ch,xch:string;
  Frez:text;
  f3,f4:TStrings;
  i,i2,ip,j,k,m,kolz,kolzap:integer;
  r1,r2,y:real;
  ur,ast,an,rabv:array[1..n] of real;
  Ps,Pn,rab1,rab2,rabh:array[1..n,1..n] of real;
implementation

{$R *.dfm}

procedure TForm2.Button1Click(Sender: TObject);
begin
 NazFi:='d:\isxod.csv';
 f3:=TStringList.Create(); f3.LoadFromFile(Nazfi); kolzap:=f3.Count;
```

```
f4:=TStringList.Create();
AssignFile(frez,'d:\prognoz.txt'); rewrite(frez);
xr:='Имя файла              '+NazFi; Label3.Caption:=xr;
writeln(frez,xr);
xr:='Всего записей в файле   '+IntToStr(kolzap); Label1.Caption:=xr;
writeln(frez,xr);
for i:=1 to n do begin
  for j:=1 to n do ps[i,j]:=0.0;
  ps[i,i]:=100000.0; ast[i]:=0.0;
  end; {i}
kolz:=kolzap div 2;
for i:=0 to kolzap-1 do begin
 {read Ur}
 ch:=f3.Strings[i];
 i2:=pos(';',ch);
 xch:=copy(ch,1,i2-1);
 y:=StrToFloat(xch);
 delete(ch,1,i2);
 xr:='I='+IntToStr(i)+' '+xch;
 for j:=1 to n-1 do begin
  i2:=pos(';',ch);
  xch:=copy(ch,1,i2-1);
  ur[j]:=StrToFloat(xch);
  delete(ch,1,i2);
  xr:=xr+' = '+xch;
 end; {j}
  xch:=ch;
  ur[j]:=StrToFloat(xch);
  xr:=xr+'='+xch; writeln(frez,xr);
 {r1=1+Ur*Pr-1*Ur}
 for j:=1 to n do begin r1:=0.0;
         for k:=1 to n do r1:=r1+ps[j,k]*ur[k];
         rabv[j]:=r1; end;
  r1:=1.0; for j:=1 to n do r1:=r1+ur[j]*rabv[j];
{rabh=Ur*Ur}
  for j:=1 to n do for k:=1 to n do rabh[j,k]:=ur[j]*ur[k];
{rab1=Ur*Ur*Pr-1}
   for j:=1 to n do
    for k:=1 to n do begin
      r2:=0.0; for m:=1 to n do r2:=r2+rabh[j,m]*ps[m,k];
      rab1[j,k]:=r2;  end;
{rab2=Pr-1*Ur*Ur*Pr-1}
  for j:=1 to n do
    for k:=1 to n do begin
```

```
        r2:=0.0; for m:=1 to n do r2:=r2+ps[j,m]*rab1[m,k];
     rab2[j,k]:=r2;  end;
{pn=Pr-1-rab2}
   for j:=1 to n do for k:=1 to n do pn[j,k]:=ps[j,k]-rab2[j,k]/r1;
{r1=Ur*Ar-1}
   r1:=0.0; for j:=1 to n do r1:=r1+ur[j]*ast[j];
{r1=Yr-Ur*Ar-1}
   r1:=y-r1;
 {rab2=Pr*Ur}
   for j:=1 to n do begin r2:=0;
         for k:=1 to n do r2:=r2+pn[j,k]*ur[k];
         rabv[j]:=r2; end;
   for j:=1 to n do an[j]:=ast[j]+rabv[j]*r1;
   for j:=1 to n do begin ast[j]:=an[j];
       for k:=1 to n do ps[j,k]:=pn[j,k];
       end; {j}
   xr:='  AN='; for j:=1 to n do xr:=xr+' '+FormatFloat('######0.0000',an[j]);
   writeln(frez,xr);
   for j:=1 to n do begin  xr:='    PN=';
      for k:=1 to n do xr:=xr+' '+FormatFloat('######0.0000',pn[j,k]);
      writeln(frez,xr);
     end; {j}
   if (i>=kolz) then begin
     xr:=' '+IntToStr(i)+' '+FormatFloat('0000000.0000',y);
     for j:=1 to n do xr:=xr+' '+FormatFloat('0000000.0000',ur[j]);
     y:=0.0; for j:=1 to n do y:=y+an[j]*ur[j];
     xr:=xr+' '+FormatFloat('0000000.0000',y);
     ip:=f4.Add(xr);
    end; {if i>kolz}
 end; {i}
 xr:=' N '+' parametr y ';
 for j:=1 to n do xr:=xr+'   par x('+IntToStr(j)+')  ';
 xr:=xr+'  prognoz y '; writeln(frez,xr);
 for j:=0 to ip do writeln(frez,f4.Strings[j]);
 f3.Free; f4.Free; CloseFile(frez);
 xr:='Расчет завершен'; ShowMessage(xr);
end;

end.
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(Фрагмент текста программы управляемости)

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Printers, ComCtrls, ExtDlgs;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Edit1: TEdit;
    Label1: TLabel;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Image1: TImage;
    Button5: TButton;
    SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
    Label2: TLabel;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure Button4Click(Sender: TObject);
    procedure Button5Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;

implementation



{$R *.dfm}
```

```
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
Const n=4;m=2; hk=0.05; nv=1000; kyr=7;
 Type Interval=record
       med,rad:real;
      end;
var  xk,xn:array[1..n] of Interval;
  u:array[1..m] of Interval;
  h,alf1,alf2,bet1,bet2,bk1,bk2,ck1,ck2,mk1:Interval;
  r1,r2,r3,r4,r5:Interval;
  x0:array[1..n] of real;
  xr:array[1..n,1..nv] of Interval;
  tn,tk,p1,p2,umi,uma:real;
  i,j,k:integer;
  xmin,xmax,ymin,ymax,razx,razy:integer;
  koefx,koefy,k2,k3,k4,k5,npar,x1,x2,y1,y2:integer;
  ch,chu1,chu2:string;
  NazvYr:array[1..kyr] of string;
  GranYr:array[1..n,1..kyr] of integer;
  ZvetYr:array[1..kyr] of integer;
  fotl:TextFile;
  Canvas: TCanvas;
   odin_p_int,odin_m_int,null_int:Interval;
{ Обмен интервалов}
 procedure SwapInt(var a,b:Interval);
 var r2:Interval;
 begin
   r2:=a; a:=b; b:=r2;
 end;
{ Сложение интервалов }
 procedure AddInN(a,b:Interval;var c:Interval);
 begin
  c.med:=a.med+b.med;   c.rad:=sqrt(sqr(a.rad)+sqr(b.rad));
  end;
{ Вычитание интервалов }
 procedure SubInN(a,b:Interval;var c:Interval);
 begin
  c.med:=a.med-b.med;   c.rad:=sqrt(sqr(a.rad)+sqr(b.rad));
  end;
{ Умножение интервалов }
 procedure MultInN(a,b:Interval;var c:Interval);
 begin
  c.med:=a.med*b.med; c.rad:=sqrt(sqr(a.med*b.rad)+sqr(b.med*a.rad));
  end;
{ Деление интервалов }
```

```
 function DelInN(a,b:Interval;var c:Interval):Integer;
 var r:Interval;
 begin
  if b.med=0.0 then DelInN:=0
   else begin
    r.med:=1.0/b.med;  r.rad:=b.rad/sqr(b.med);
    MultInN(a,r,c);    DelInN:=1;
   end;
  end;

   procedure otlad2(var ch1:string; par:Interval);
   begin
    p1:=par.med;
    p2:=par.rad;
    ch1:=ch1+' = ('+FormatFloat('######0.00',p1-p2)+'; ';
    ch1:=ch1+FormatFloat('######0.00',p1+p2)+')';
   end;
  procedure otlad(ch1:string; par:Interval);
   var ch2:string;
   begin
    ch2:=ch1; otlad2(ch2,par);
    Writeln(fotl,ch2);
   end;


begin
  odin_p_int.med:=1.0;  odin_p_int.rad:=0.0;
  odin_m_int.med:=-1.0; odin_m_int.rad:=0.0;
  null_int.med:=0.0; null_int.rad:=0.0;
AssignFile(fotl,'yprav.txt');   rewrite(fotl);
 {первоначальные значения параметров}
  NazvYr[1]:='Идеальный уровень       '; ZvetYr[1]:=clGreen;
  NazvYr[2]:='Оптимальный уровень     '; ZvetYr[2]:=clTeal;
  NazvYr[3]:='Комфортный уровень      '; ZvetYr[3]:=clLime;
  NazvYr[4]:='Умеренный уровень       '; ZvetYr[4]:=clPurple;
  NazvYr[5]:='Допустимый уровень      '; ZvetYr[5]:=clFuchsia;
  NazvYr[6]:='Критический уровень     '; ZvetYr[6]:=clBlue;
  NazvYr[7]:='Катастрофический уровень'; ZvetYr[7]:=clRed;
  GranYr[1,1]:=0; GranYr[2,1]:=0; GranYr[3,1]:=0; GranYr[4,1]:=0;
  GranYr[1,2]:=20; GranYr[2,2]:=20;GranYr[3,2]:=20;GranYr[4,2]:=20;
  GranYr[1,3]:=35; GranYr[2,3]:=35;GranYr[3,3]:=35;GranYr[4,3]:=35;
  GranYr[1,4]:=45; GranYr[2,4]:=45;GranYr[3,4]:=45;GranYr[4,4]:=45;
  GranYr[1,5]:=60; GranYr[2,5]:=60;GranYr[3,5]:=60;GranYr[4,5]:=60;
  GranYr[1,6]:=70; GranYr[2,6]:=70;GranYr[3,6]:=70;GranYr[4,6]:=70;
```

```
GranYr[1,7]:=80; GranYr[2,7]:=80;GranYr[3,7]:=80;GranYr[4,7]:=80;

x0[1]:=80.0; x0[2]:=10.0; x0[3]:=30.0; x0[4]:=5.0;
u[1].med:=9.0; u[1].rad:=2.0;
u[2].med:=5.0; u[2].rad:=5.0;
umi:=u[1].med-u[1].rad; uma:=u[1].med+u[1].rad;
chu1:=FormatFloat('######0.00',umi);
chu1:=chu1+'<=U1<='+FormatFloat('######0.00',uma);
umi:=u[2].med-u[2].rad; uma:=u[2].med+u[2].rad;
chu2:=FormatFloat('######0.00',umi);
chu2:=chu2+'<=U2<='+FormatFloat('######0.00',uma);
h.med:=hk; h.rad:=0.0;
alf1.med:=1.0; alf1.rad:=0.0;
alf2.med:=1.0; alf2.rad:=0.0;
bet1.med:=0.5; bet1.rad:=0.0;
bet2.med:=0.5; bet2.rad:=0.0;
bk1.med:=5.0;  bk1.rad:=0.0;
bk2.med:=1.0;  bk2.rad:=0.0;
ck1.med:=0.3;  ck1.rad:=0.0;
ck2.med:=0.3;  ck2.rad:=0.0;
mk1.med:=0.2;  mk1.rad:=0.0;
ch:='x0';
for i:=1 to n do begin
  xn[i].rad:=0.0;
  xn[i].med:=x0[i];
  ch:=ch+' = '+FormatFloat('######0.00',x0[i]);
 end;
Writeln(fotl,ch);
ch:='u=';
for i:=1 to m do otlad2(ch,u[i]);
Writeln(fotl,ch);
ch:='h'; otlad(ch,u[i]);
tn:=0.0; tk:=2.5; k:=0;
{Цикл}
while tn<=tk do begin
   k:=k+1;
   tn:=tn+hk;
  {1 уравнение}
      MultInN(alf1,xn[1],r1);          //r1=alf1*x1
      MultInN(bet1,xn[1],r2);          //r2=bet1*x1
      MultInN(bk1,u[1],r3);            //r3=b1*u1
      SubInN(r1,r2,r1); SubInN(r1,r3,r1); //r1=alf1*x1-bet1*x1-b1*u1
      MultInN(r1,h,r4);
      AddInN(xn[1],r4,r5);             //x1+h*(alf1*x1-bet1*x1-b1*u1)
```

```
      xk[1]:=r5;
  {2 уравнение}
      DelInN(xn[2],xn[1],r1);          //r1=x2/x1
      SubInN(odin_p_int,r1,r2);        //r2=(1-x2/x1)
      MultInN(mk1,xn[2],r3);           //r3=m1*x2
      MultInN(r3,r2,r4);               //r4=m1*x2*(1-x2/x1)
      MultInN(ck1,xn[2],r2); SubInN(r4,r2,r1); //r1=m1*x2*(1-x2/x1)-ck1*x2
      MultInN(r1,h,r4);
      AddInN(xn[2],r4,r5);             //x2+h*(m1*x2*(1-x2/x1)-ck1*x2)
      xk[2]:=r5;
  {3 уравнение}
      MultInN(alf2,xn[3],r1);          //r1=alf2*x3
      MultInN(bet2,xn[3],r2);          //r2=bet2*x3
      MultInN(bk2,u[2],r3);            //r3=b2*u2
      SubInN(r1,r2,r1); SubInN(r1,r3,r1); //r1=alf2*x3-bet2*x3-b2*u2
      MultInN(r1,h,r4);
      AddInN(xn[3],r4,r5);             //r5=x3+h*(alf2*x3-bet2*x3-b2*u2)
      xk[3]:=r5;
  {4 уравнение}
      DelInN(xn[4],xn[3],r1);          //r1=x4/x3
      SubInN(odin_p_int,r1,r2);        //r2=1-x4/x3
      DelInN(xn[2],xn[1],r4);          //r4=x2/x1
      MultInN(r4,xn[4],r3);            //r3=(x2/x1)*x4
      MultInN(r3,r2,r4);               //r4=(x2/x1)*x4*(1-x4/x3)
      MultInN(ck2,xn[4],r2); SubInN(r4,r2,r1);//r1=(x2/x1)*x4*(1-x4/x3)-ck2*x4
      MultInN(r1,h,r4);
      AddInN(xn[4],r4,r5);             //r5=x4+h*((x2/x1)*x4*(1-x4/x3)-ck2*x4)
      xk[4]:=r5;
  ch:='k=';
  if (k<10) then ch:=ch+'   '
   else
    if (k<100) then ch:=ch+'  '
     else
      if (k<1000) then ch:=ch+' ';
  ch:=ch+IntToStr(k)+' t='+FormatFloat('######0.00',tn);
  for i:=1 to n do begin
    otlad2(ch,xk[i]);
   end;
  Writeln(fotl,ch);
 //  ShowMessage(ch);
  for i:=1 to n do begin xn[i]:=xk[i]; xr[i,k]:=xk[i]; end;
 end;

koefx:=4;   k2:=3;  k3:=350; k4:=4; k5:=2;
```

```
{Ввод данных}
 npar:=StrtoInt(edit1.Text);
 {Переход в графический режим}
 Canvas:=Tcanvas.create;
 razx:=image1.Width;
 razy:=image1.Height;
 xmin:=0; xmax:=k;
 ymin:=trunc(x0[npar]); ymax:=ymin;
 for i:=1 to k do
  begin
   y1:=trunc(xr[npar,i].med-xr[npar,i].rad);
   y2:=trunc(xr[npar,i].med+xr[npar,i].rad);
   if (ymin>y1) then ymin:=y1;
   if (ymax<y2) then ymax:=y2;
  end;
  koefx:=razx div (xmax-xmin+10);
  koefy:=(razy-100) div (ymax-ymin+10);
//  if (koef>i) then koef:=i;
  k3:=razy+koefy*ymin-100;
 writeln(fotl,'razmer=',razx:5,razy:5,' koefx=',koefx:4,' koefy=',koefy:4,'k3=',k3:4);
  k2:=(razx div 2)-20;
  ch:='График по параметру  X'+IntToStr(npar)+',  T
='+FormatFloat('###0.00',tk);
  with Image1.Canvas do
     begin
      TextOut(k2,20,ch);
      ch:='При ограничениях на управления ';
      TextOut(k2,40,ch); TextOut(k2,60,chu1+'; '+chu2);
     end;
  for i:=1 to kyr do begin
    y1:=trunc(GranYr[npar,i]);
    x1:=0;
    with Image1.Canvas do
     begin
      Pen.Color:=ZvetYr[i];
      Pen.Style:=psDot;
      moveto(koefx*(x1+5),k3-koefy*y1);
      lineto(koefx*(k+5),k3-koefy*y1);
      ch:=IntToStr(y1);
      Font.Color:=ZvetYr[i];
      TextOut(koefx*3,k3-koefy*y1-15,ch);
      TextOut(koefx*(k+5),k3-koefy*y1-15,NazvYr[i]);
     end;
    end;
```

```
  y1:=trunc(x0[npar]);  x1:=0;
  with Image1.Canvas do
    begin
      Pen.Color:=clBlack;
      Pen.Style:=psSolid;
      moveto(koefx*(x1+5),k3-koefy*y1);
      for i:=1 to k do
       begin
        x2:=x1+1;  y2:=trunc(xr[npar,i].med-xr[npar,i].rad);
        Lineto(koefx*(x2+5),k3-koefy*y2);
        x1:=x2; y1:=y2;
       end;
    end; {with}
  y1:=trunc(x0[npar]); x1:=0;
  with Image1.Canvas do
    begin
     moveto(koefx*(x1+5),k3-koefy*y1);
     for i:=1 to k do
      begin
       x2:=x1+1;  y2:=trunc(xr[npar,i].med+xr[npar,i].rad);
       Lineto(koefx*(x2+5),k3-koefy*y2);
       x1:=x2; y1:=y2;
      end;
     //       sleep(3000);
    end; {with}
 CloseFile(fotl);
 ch:='Finish';
 ShowMessage(ch);
end;


end.
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(Фрагмент текста программы оптимального управления)

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls, Printers, ComCtrls, ExtDlgs;

type
  TForm1 = class(TForm)
    Button1: TButton;
    Button2: TButton;
    Button3: TButton;
    Button4: TButton;
    Image1: TImage;
    Button5: TButton;
    SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure Button3Click(Sender: TObject);
    procedure Button4Click(Sender: TObject);
    procedure Button5Click(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.dfm}

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
Const n=4;m=2; h=0.05; nv=1000; kyr=7; kzik=10;
var  xk,xn:array[1..n] of real;
  umin,umax:array[1..m] of real;
  us,un:array[1..m,1..nv] of real;
```

```
  alf1,alf2,bet1,bet2,bk1,bk2,ck1,ck2,mk1:real;
  r1,r2,r3,r4,r5:real;
  xt0,xt1:array[1..n] of real;
  xr,ps:array[1..n,1..nv] of real;
  xgr:array[1..kzik,1..nv] of real;
  tn,tk,p1,p2,umi,uma,mkof:real;
  i,iz,j,k,kt:integer;
  xmin,xmax,ymin,ymax,razx,razy:integer;
  koefx,koefy,k2,k3,k4,k5,npar,x1,x2,y1,y2:integer;
  ch,chu:string;
  NazvYr:array[1..kyr] of string;
  GranYr:array[1..n,1..kyr] of integer;
  ZvetYr:array[1..kyr] of integer;
  fotl:TextFile;
  Canvas: TCanvas;

   procedure otlad2(var ch1:string; par:real);
   begin
    p1:=par;
    ch1:=ch1+' = '+FormatFloat('######0.00',p1)
   end;
  procedure otlad(ch1:string; par:Real);
   var ch2:string;
   begin
    ch2:=ch1; otlad2(ch2,par);
    Writeln(fotl,ch2);
   end;


begin
 AssignFile(fotl,'yprav.txt');   rewrite(fotl);
  npar:=1;
  {первоначальные значения параметров}
   NazvYr[1]:='Ideal        '; ZvetYr[1]:=clGreen;
   NazvYr[2]:='Optimal      '; ZvetYr[2]:=clTeal;
   NazvYr[3]:='Comfortable  '; ZvetYr[3]:=clLime;
   NazvYr[4]:='Moderate     '; ZvetYr[4]:=clPurple;
   NazvYr[5]:='Allowable    '; ZvetYr[5]:=clFuchsia;
   NazvYr[6]:='Critical     '; ZvetYr[6]:=clBlue;
   NazvYr[7]:='Catastrophic '; ZvetYr[7]:=clRed;
   GranYr[1,1]:=0; GranYr[2,1]:=0; GranYr[3,1]:=0; GranYr[4,1]:=0;
   GranYr[1,2]:=20; GranYr[2,2]:=20;GranYr[3,2]:=20;GranYr[4,2]:=20;
   GranYr[1,3]:=35; GranYr[2,3]:=35;GranYr[3,3]:=35;GranYr[4,3]:=35;
   GranYr[1,4]:=45; GranYr[2,4]:=45;GranYr[3,4]:=45;GranYr[4,4]:=45;
```

```
  GranYr[1,5]:=60; GranYr[2,5]:=60;GranYr[3,5]:=60;GranYr[4,5]:=60;
  GranYr[1,6]:=70; GranYr[2,6]:=70;GranYr[3,6]:=70;GranYr[4,6]:=70;
  GranYr[1,7]:=80; GranYr[2,7]:=80;GranYr[3,7]:=80;GranYr[4,7]:=80;

  xt0[1]:=80.0; xt0[2]:=10.0; xt0[3]:=30.0; xt0[4]:=5.0;
  xt1[1]:=61.0; xt1[2]:=8.0; xt1[3]:=60.0; xt1[4]:=4.5;
  umin[1]:=7.0; umax[1]:=11.0;
  umin[2]:=0.0; umax[2]:=10.0;

  alf1:=1.0;    alf2:=1.0;  bet1:=0.5;    bet2:=0.5;
  bk1:=5.0;     bk2:=1.0;   ck1:=0.3;     ck2:=0.3;
  mk1:=0.2;
  ch:='x0 - x1';
  Writeln(fotl,ch);
  for i:=1 to n do begin
    ch:=FormatFloat('######0.00',xt0[i])+' = '+FormatFloat('######0.00',xt1[i]);
    Writeln(fotl,ch);
   end;
  ch:='umin < umax';
  Writeln(fotl,ch);
  for i:=1 to m do begin
    ch:=FormatFloat('######0.00',umin[i])+' <
'+FormatFloat('######0.00',umax[i]);
    Writeln(fotl,ch);
  end;
  chu:='';
  for i:=1 to m do begin
  umi:=umin[i]; uma:=umax[i];
  chu:=chu+FormatFloat('######0.00',umi);
  chu:=chu+'<=U1<='+FormatFloat('######0.00',uma);
  chu:=chu+'; ';
  end;

  tn:=0.0; tk:=2.5; kt:=trunc((tk-tn)/h);
  if (kt>nv) then kt:=nv;
  for k:=1 to kt do for i:=1 to m do us[i,k]:=0.5*(umax[i]+umin[i]);
  mkof:=1.0;
  for iz:=1 to kzik do begin
 {Цикл}
   for i:=1 to n do xn[i]:=xt0[i];
// Isxodnaja sistema
  for k:=1 to kt do begin
    {1 уравнение}
       r1:=alf1*xn[1]-bet1*xn[1]-bk1*us[1,k];       //r1=alf1*x1-bet1*x1-b1*u1
```

```
      xk[1]:=xn[1]+r1*h;            //x1+h*(alf1*x1-bet1*x1-b1*u1)
  {2 уравнение}
      r1:=mk1*xn[2]*(1-xn[2]/xn[1])-ck1*xn[2];    //r4=m1*x2*(1-x2/x1)
      xk[2]:=xn[2]+r1*h;            //x2+h*(m1*x2*(1-x2/x1)-ck1*x2)
   {3 уравнение}
      r1:=alf2*xn[3]-bet2*xn[3]-bk2*us[2,k];   //r1=alf2*x3-bet2*x3-b2*u2
      xk[3]:=xn[3]+r1*h;            //r5=x3+h*(alf2*x3-bet2*x3-b2*u2)
  {4 уравнение}
      r1:=(xn[2]/xn[1])*xn[4]*(1-xn[4]/xn[3])-ck2*xn[4]; //r1=(x2/x1)*x4*(1-
x4/x3)-ck2*x4
      xk[4]:=xn[4]+r1*h;            //r5=x4+h*((x2/x1)*x4*(1-x4/x3)-ck2*x4)
   for i:=1 to n do begin xn[i]:=xk[i]; xr[i,k]:=xk[i]; end;
 end;
// Soprjajennaja sistema
 for i:=1 to n do ps[i,kt]:=mkof*(xr[i,kt]-xt1[i]);
 for k:=kt downto 2 do begin
  r1:=0.0;
      r2:=xr[2,k]/xr[1,k];
  {1 уравнение}
      r1:=-(alf1-bet1)*ps[1,k]-0.5*mk1*r2*r2;       //r1=alf1*x1-bet1*x1-b1*u1
      ps[1,k-1]:=ps[1,k]-r1*h;
  {2 уравнение}
      r1:=(mk1*(1-2*xn[2]/xn[1])-ck1)*ps[2,k];    //r4=m1*x2*(1-x2/x1)
      ps[2,k-1]:=ps[2,k]-r1*h;
   {3 уравнение}
      r1:=alf2*xn[3]-bet2*xn[3]-bk2*us[2,k];   //r1=alf2*x3-bet2*x3-b2*u2
      ps[3,k-1]:=ps[3,k]-r1*h;
  {4 уравнение}
      r1:=(xn[2]/xn[1])*xn[4]*(1-xn[4]/xn[3])-ck2*xn[4]; //r1=(x2/x1)*x4*(1-
x4/x3)-ck2*x4
      ps[4,k-1]:=ps[4,k]-r1*h;
 end; {zikl po k}
// Upravlenie
 for k:=1 to kt do begin
  for i:=1 to m do begin
   r1:=-ps[i,k];
   r2:=r1;
   if (r1<=umin[i]) then r2:=umin[i];
   if (r1>=umax[i]) then r2:=umax[i];
   us[i,k]:=r2;
  end; {zikl po i}
 end; {zikl po k}
   ch:=' zikl ='+IntToStr(iz);
   Writeln(fotl,ch);
```

```
tn:=0.0;
 for k:=1 to kt do begin
   tn:=tn+h;
  ch:='k=';
 if (k<10) then ch:=ch+'   '
   else
    if (k<100) then ch:=ch+'  '
     else
      if (k<1000) then ch:=ch+' ';
  ch:=ch+IntToStr(k)+' t='+FormatFloat('######0.00',tn)+ ' x =';;
  for i:=1 to n do begin
    otlad2(ch,xr[i,k]);
   end;
  ch:=ch+' x =';
  for i:=1 to n do begin
    otlad2(ch,ps[i,k]);
   end;
  ch:=ch+' u =';
  for i:=1 to m do begin
    otlad2(ch,us[i,k]);
   end;
  Writeln(fotl,ch);
 end; {zikl po k}
 mkof:=mkof*2.0;
  for i:=1 to kt do begin
    xgr[iz,i]:=xr[npar,i];
   end;
end; {zikl po iz}

tn:=0.0;
 for k:=1 to kt do begin
   tn:=tn+h;
  ch:='k=';
 if (k<10) then ch:=ch+'   '
   else
    if (k<100) then ch:=ch+'  '
     else
      if (k<1000) then ch:=ch+' ';
  ch:=ch+IntToStr(k)+' t='+FormatFloat('######0.00',tn)+ ' x =';;
  for i:=1 to kzik do begin
    otlad2(ch,xgr[i,k]);
   end;
  Writeln(fotl,ch);
 end; {zikl po k}
```

```
 k:=kt;
 koefx:=4;   k2:=3;  k3:=350; k4:=4; k5:=2;
{Ввод данных}
 {Переход в графический режим}
 Canvas:=Tcanvas.create;
 razx:=image1.Width;
 razy:=image1.Height;
 xmin:=0; xmax:=k;
 ymin:=trunc(xt0[npar]); ymax:=ymin;
 for iz:=1 to kzik do begin
 for i:=1 to k do
  begin
   y1:=trunc(xgr[iz,i]);
   if (ymin>y1) then ymin:=y1;
   if (ymax<y1) then ymax:=y1;
  end;
  end; {zikl poi iz}
  koefx:=razx div (xmax-xmin+10);
  koefy:=(razy-100) div (ymax-ymin+10);
//  if (koef>i) then koef:=i;
  k3:=razy+koefy*ymin-100;
 writeln(fotl,'razmer=',razx:5,razy:5,' koefx=',koefx:4,' koefy=',koefy:4,'k3=',k3:4);
  k2:=(razx div 2)-20;
  ch:='Graph with respect to the parameter X'+IntToStr(npar)+',  T
='+FormatFloat('###0.00',tk);
  with Image1.Canvas do
     begin
      TextOut(k2,20,ch);
      ch:='with restrictions on control ';
      TextOut(k2,40,ch); TextOut(k2,60,chu);
     end;
  for i:=1 to kyr do begin
    y1:=trunc(GranYr[npar,i]);
    x1:=0;
    with Image1.Canvas do
     begin
      Pen.Color:=ZvetYr[i];
      Pen.Style:=psDot;
      moveto(koefx*(x1+5),k3-koefy*y1);
      lineto(koefx*(k+5),k3-koefy*y1);
      ch:=IntToStr(y1);
      Font.Color:=ZvetYr[i];
      TextOut(koefx*3,k3-koefy*y1-15,ch);
```

```
      TextOut(koefx*(k+5),k3-koefy*y1-15,NazvYr[i]);
     end;
    end;
   for iz:=1 to kzik do begin
   y1:=trunc(xgr[iz,1]);  x1:=0;
   with Image1.Canvas do
    begin
      Pen.Color:=clBlack;
      Pen.Style:=psSolid;
      moveto(koefx*(x1+5),k3-koefy*y1);
      for i:=1 to k do
       begin
        x2:=x1+1;  y2:=trunc(xgr[iz,i]);
        Lineto(koefx*(x2+5),k3-koefy*y2);
        x1:=x2; y1:=y2;
       end;
    end; {with}
   end; {zikl po iz}
 CloseFile(fotl);
 ch:='Finish';
 ShowMessage(ch);
end;
```