

На правах рукописи



Пахомов Дмитрий Вячеславович

**ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ
РЕСУРСНЫХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ ЛОГИКО-ЭВРИСТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Иркутск – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»).

Научный руководитель: **Мартьянов Владимир Иванович**
доктор физико-математических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Массель Людмила Васильевна**
доктор технических наук, профессор,
ФГУБН Институт систем энергетики
им. Л.А. Мелентьева СО РАН (г. Иркутск),
главный научный сотрудник

Лемперт Анна Ананьевна
кандидат физико-математических наук,
ФГУБН Институт динамики систем и теории
управления им. В.А. Матросова СО РАН
(г. Иркутск), зав. лаб. «Системный анализ и
вычислительные методы»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Ангарский государственный
технический университет», г. Ангарск

Защита состоится 30 января 2018 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.070.07 на базе ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Карла Маркса, 24, корпус 9, зал заседаний ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет» по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, БГУ, корпус 2, аудитория 101, (<http://dissovet.bgu.ru/dissertation/disInfo.aspx?id=51>).

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 664003, г. Иркутск, ул. Ленина 11, БГУ, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.070.07.

Автореферат разослан «__» декабря 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Т.И. Ведерникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Повышение эффективности управления любых крупных организаций в настоящее время трудно достижимо без внедрения комплексов программ, созданных с применением современных информационных технологий, обеспечивающих сетевое планирование этапов работы, поддержку принятия управленческих решений на основе анализа информации, включая решение ресурсных задач. Причем актуальность и достоверность этой информации обеспечивается взаимодействием на основе электронного документооборота структурных служб и отделов организации, интеграции данных, полученных высокотехнологическими системами сбора информации.

В диссертационной работе рассматриваются вопросы построения математических моделей для реализации методов численного решения задач ресурсного планирования на основе логико-эвристического подхода. Ресурсное планирование является важнейшей составной частью более общей задачи сетевого планирования производственной деятельности (организация строительства объектов, планирование промышленного производства в машиностроении и др.).

В теоретическом плане сетевое планирование на основе логико-эвристического подхода можно интерпретировать как поиск допустимого управления в рамках динамического программирования без оптимизации целевой функции, что примыкает к направлению работ Р Беллмана, Р. Габасова, И. Акулича и др. авторов.

Эффективность и практическая значимость этих результатов, реализованных в виде программных комплексов, проверена для трех предметных областей: мониторинга и поддержки управления сетью региональных автомобильных дорог Иркутской области, организации учебного процесса в высших учебных заведениях и проектирования тепловых сетей. Во всех предметных областях результаты работы доведены до внедрения в нескольких крупных организациях г. Иркутска.

В качестве близких подходов в задачах поддержки управления сетями региональных автомобильных дорог отметим результаты: Т.В. Бобровой, Н.С. Жилина, С.С. Близниченко. В качестве близких подходов в организации учебного процесса для высших учебных заведений отметим результаты: Б.А. Лагоши, А.А. Овчинникова, А.В. Петропавловской, М.В. Сыготиной. Для перспективного проектирования тепловых сетей отметим работы Н.Н. Новицкого.

Цель и задачи исследования: разработка качественных методов (теоретико-множественная семантика) исследования математических моделей производственной деятельности на основе логико-эвристического подхода.

Разработка, обоснование и апробация эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий на ресурсных задачах с использованием логико-эвристического подхода.

Реализация численных методов решения ресурсных задач и создание программных комплексов организации содержания сети региональных авто-

мобильных дорог, организации учебного процесса в высших учебных заведениях и проектирования тепловых сетей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) создать математические модели, позволяющие применять логико-эвристический подход для решения ресурсных задач.
- 2) разработать численные алгоритмы решения задач, как итерационное построение многоосновных алгебраических систем, удовлетворяющих ограничениям.
- 3) разработать и внедрить программные комплексы поддержки организации управления производственными процессами.

Объектом исследования являются сложные комбинаторные ресурсные задачи, возникающие в производственной деятельности организаций.

Предмет исследований: построение математических моделей для решения задач сетевого планирования, где требуется удовлетворение ограничениям, соответствующим нормативным требованиям.

Алгоритмизация решения задач, формирование проектов баз данных на основании построенных моделей, создание автоматизированных рабочих мест (АРМ) специалистов предприятий различной направленности, поддержка актуальности и достоверности информационного наполнения баз данных на основе электронного документооборота структурных служб и отделов предприятий, решение базовых прикладных задач.

Методы исследований: математическая логика, теория моделей, теория программирования, включая многоосновные алгебраические системы, реляционные модели данных, объектно-ориентированное программирование, логико-эвристический подход к решению комбинаторных задач высокой сложности.

Научную новизну составляют следующие результаты, выносимые на защиту:

- математические модели для ресурсных задач нормативного содержания сети автодорог, организации учебного процесса и проектирования схем теплоснабжения на основе логико-эвристического подхода, представленные многоосновными алгебраическими системами, удовлетворяющими ограничениям;
- численные алгоритмы решения задач, указанных выше предметных областей, как итерационное построение многоосновных алгебраических систем, удовлетворяющих ограничениям;
- программные комплексы, обеспечивающие решение данных задач, построенные на основе моделей и реализующие алгоритмы решения.

Достоверность и обоснованность результатов, представленных в диссертации, обусловлена использованием теоретически обоснованных методов алгебры, математической логики, теории моделей, теории программирования, логико-эвристического подхода к решению комбинаторных задач высокой сложности, а также, подтверждается сопоставлением данных численного и натурального экспериментов.

Практическая значимость работы. Разработанные программные комплексы могут использоваться для поддержки управления сетями региональных автомобильных дорог субъектов РФ, учебного процесса в ВУЗах, а также проектирования схем теплоснабжения на стадии проектов теплосетей.

Реализация результатов работы. Программный комплекс мониторинга и поддержки управления сетью региональных автомобильных дорог внедрен в ОГКУ «Дирекция по строительству и эксплуатации автомобильных дорог Иркутской области», в Департаменте дорожной деятельности Администрации г. Иркутска, где используется для организации содержания сети автомобильных дорог.

Программный комплекс организации учебного процесса внедрен в двух крупных ВУЗах г. Иркутска: Иркутском национальном исследовательском техническом университете (ИРНИТУ) и Иркутском государственном университете путей сообщения (ИрГУПС).

Программный комплекс для проектирования тепловых сетей внедрен в АО «Сибирский энергетический научно-технический центр».

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс ИРНИТУ для подготовки специалистов по направлению 270100 «Строительство» специальности 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы».

Апробация работы. Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Винеровские чтения, ИРНИТУ, Иркутск, 2005г.; Новые технологии в инвестиционно-строительной сфере и ЖКХ, Иркутск, 2005г.; Научно-практическая конференция «Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения», Хабаровск, 2006г.; 3-ей Российской школе – семинаре «Синтаксис и семантика логических систем», Иркутск, 2010; 5-ой Открытой конференции молодых специалистов ЗАО «Сибирский ЭНТЦ», Новосибирск, 2012; на семинарах кафедр «Автомобильные дороги», «Вычислительная техника» ИРНИТУ, в ИДСТУ СО РАН и ИГУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 печатных работ, в том числе 7 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 4 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ. В работах с соавторами соискателю принадлежат от 25 до 50% результатов. Положения, составляющие новизну и выносимые на защиту, получены лично автором.

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, 4 главы основного текста, заключение, библиографический список из 73 наименования. Общий объем диссертации 108 страниц, в тексте содержится 16 рисунков и 11 таблиц. В приложении приведены копии актов внедрения и сертификат соответствия разработанных программных комплексов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы и приведена общая характеристика диссертации с изложением основных положений и результатов работы, обозначена цель и задачи исследований.

Первая глава посвящена разработке качественных методов построения математических моделей, рассматриваемых предметных областей, и формализации методов организации производственных процессов.

В начале главы приведен краткий обзор моделей и экономико-математических методов организации функционирования сложных объектов и производственных процессов, таких как: линейное программирование; динамическое программирование; стохастическое программирование; многокритериальные модели; математическая статистика; управление запасами; эвристические методы.

Предлагаемые в диссертационной работе методы относятся к эвристическим. В первой главе подробно описаны методы сетевого планирования, используемые для логико-эвристического подхода к решению ресурсных задач.

В логико-эвристическом подходе начальная математическая модель задачи сетевого планирования задается как многоосновная алгебраическая система (а. с.):

$$M_{ini} = \langle A_1, \dots, A_s; f_1, \dots, f_n; p_1, \dots, p_k \rangle, \quad (1)$$

где A_i – основные множества, f_i – операции (функции) на основных множествах, p_i – предикаты (отношения) на основных множествах.

Отметим, что для конкретной прикладной задачи сетевого планирования многоосновные алгебраические системы реализуются реляционными базами данных, т.к. домены соответствуют основным множествам A_1, \dots, A_s , а реляционные таблицы соответствуют функциям f_1, \dots, f_n и отношениям p_1, \dots, p_k на основных множествах а. с. (1).

На неформальном уровне схему решения задач сетевого планирования в логико-эвристическом подходе можно представить, как комбинаторную задачу преобразования начальной (инициальной) многоосновной алгебраической системы M_{ini} (1), в конечную (финальную):

$$M_{fin} = \langle A_1, \dots, A_s; ff_1, \dots, ff_n; pp_1, \dots, pp_k \rangle, \quad (2)$$

удовлетворяющую ограничениям, причем функции f_1, \dots, f_n (отношения p_1, \dots, p_k) имеют такую же сигнатуру, как функции ff_1, \dots, ff_n (соответственно, как отношения pp_1, \dots, pp_k).

Таким образом, необходимо построить последовательность а. с.:

$$M_{ini}, M_2, \dots, M_{t-1}, M_{fin}, \quad (3)$$

причем а. с. M_{fin} (2) удовлетворяет ограничениям R , которые будут подробнее рассмотрены ниже.

Рассмотрены важнейшие технические приемы для повышения эффективности решения комбинаторной задачи построения последовательности (3). Оптимизация переборov сводится к возможно более быстрому решению в каждой точке пространства поиска трех фундаментальных задач:

- а) просмотру вперед (checking forward) для уменьшения количества применяемых преобразований;
- б) определению точки возврата для тупика (intelligent backtracking или глубокий возврат по принятой у ряда авторов в России терминологии);
- в) проверки выполнимости ограничений на многоосновной алгебраической системе, полученной после выполнения выбранного преобразования.

Для формализации процесса решения комбинаторных проблем определяется основа процесса (*ОП*), как тройка $\Omega = \langle M, \Psi, R \rangle$, где M - а. с., которая будет рассматриваться как начальные условия процесса решения, множество операторов преобразования а. с. $\Psi = \{ \psi_1, \dots, \psi_k \}$, множество ограничений $R = \{ \mu_1, \dots, \mu_m \}$, определенных на а. с. и принимающих значение истина или ложь. Слово $W = w_1 \dots w_v$ в алфавите Ψ называется решением комбинаторной проблемы, заданной *ОП*, если все ограничения R выполнены на а. с.

$$M_{fin} = W(M) = w_1(\dots (w_v(M)) \dots). \quad (4)$$

Если положить а. с. M равной $Mini$ и $t = v + 1$, то формула (4) позволяет представить последовательность (3) в форме

$$Mini, w_1(Mini), \dots, w_1(\dots (w_v(M)) \dots).$$

С позиции динамического программирования - решение W является допустимым управлением относительно (фазовых) ограничений R , т.е. без оптимизации целевой функции.

Во второй части главы рассмотрены вопросы применения информационных технологий, позволяющих реализовать численные методы решения задач сетевого планирования на основе логико-эвристического подхода. Приведено описание реляционных баз данных и языка SQL, как основных инструментов создания информационного обеспечения для программных комплексов, а также рассмотрены концепции построения реляционных баз данных, ориентированных на представление задач сетевого планирования для логико-эвристического подхода.

Приведена общая схема уточнения логико-эвристического подхода для решения классов задач сетевого планирования на уровне процедурной семантики, т.е. реализации численных методов (или алгоритмов решения задач сетевого планирования).

Отмечается, что разработка алгоритмов численного решения ресурсных задач (включая сетевое планирование) на основе логико-эвристического подхода имеет две основные особенности:

- 1) организация данных, структур управления, способов оптимизации переборов в общих чертах одинакова для практически всех задач рассматриваемых предметных областей;
- 2) проверка ограничений, генерация множества вариантов переборов, выбор типов стратегий управления решением достаточно индивидуальны и всегда специально настраиваются под конкретную задачу.

Отмечается также, что в программной реализации логико-эвристического подхода данные и структуры управления алгоритмами численного решения задач сетевого планирования представляются близкими типами данных, а именно, деревьями, что обеспечивает возможность применения «обратной связи», т.е. данные задачи могут легко преобразовываться в структуры управления и наоборот.

Остальные главы посвящены практическому применению логико-эвристического подхода в различных конкретных отраслях хозяйственной деятельности.

Во второй главе рассмотрены ресурсные задачи из дорожной отрасли, а также вопросы проектирования и разработки программного комплекса системы мониторинга и поддержки управления (СМПУ) сетью автомобильных дорог.

Для организации мониторинга и поддержки управления сетью автомобильных дорог подробно рассмотрены следующие три задачи:

- сетевое планирование работ по нормативному содержанию;
- нахождение областей обслуживания ресурсных баз для посыпки автомобильных дорог противогололедным материалом;
- автоматизация создания проектов организации дорожного движения.

Задача сетевого планирования работ по нормативному содержанию сети автомобильных дорог заключается в расчете стоимости и планировании сроков исполнения работ по содержанию сети автомобильных дорог с минимальными затратами (временными, ресурсными и стоимостными). Математическая модель для данной задачи аналогична модели планирования расписания занятий, приведенной ниже. Она рассматривается как задача построения рациональных сетевых графиков, удовлетворяющих бинарным ограничениям, связанных со стоимостью и временем проведения работ.

Также во второй главе рассмотрена задача нахождения областей обслуживания ресурсных баз для сети автодорог. Дислокация баз хранения противогололедного материала (*ПГМ*) относительно участков дорог представляется в виде множества расстояний от базы до некоторого адреса на дороге. Одним из важнейших моментов в задаче является то, что необходимо посыпать не всю дорогу, а только опасные участки. Нужно отметить, что поиск опасных участков дороги – это отдельная задача.

В общей постановке задачи нахождения областей обслуживания баз *ПГМ* задан неориентированный граф $G(V, E) = \langle V, E \rangle$, где V - множество вершин, $E \subseteq V \times V$ – множество ребер, $|V| = n$ – степень графа. Вершинами графа является множество опасных участков o_1, o_2, \dots, o_n , для посыпки каждого из которых требуется соответственно v_1, v_2, \dots, v_n m^3 материала, $v_i = p \cdot l_i \cdot w_i$, где p – норма посыпки, l_i и w_i – длина и ширина посыпаемого опасного участка. Зная расстояние от базы до дороги и дислокацию каждого из участков, получаем вектор расстояний до середины участков $d_{1j}, d_{2j}, \dots, d_{nj}$ для каждой базы, $j = 1, \dots, k$.

Введена матрица соответствия опасных участков и баз A , где элемент $a_{ij} = \{1, 0\}$ определяет обслуживается (1) или не обслуживается (0) i -ый участок j -ой базой. Нахождение матрицы A и будет решением задачи.

Учитывая, что требуется минимизировать затраты на доставку материала до участка, можно ввести функционал, учитывающий средние дальности возки и количества возок для каждой базы

$$F = \sum_j \left[\frac{\sum_i a_{ij} \cdot v_i}{v_0} \right]^+ \cdot \frac{\sum_i a_{ij} \cdot v_i \cdot d_{ij}}{\sum_i a_{ij} \cdot v_i} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где v_6 – объем бункера машины, а $[]^+$ - операция округления числа до большего целого. Функционал (5) определяется формулой средней дальности возки используется для вычисления стоимости работ по посыпке дороги ПГМ. Именно поэтому можно говорить, что данный функционал обеспечивает экономическую интерпретацию задачи.

В задаче наложены ограничения на кол-во материала и механизмов находящихся в распоряжении базы, на время проведения работ и др. Вопрос о минимизации затрат на доставку материалов можно рассматривать на основе рациональных сетевых графиков проведения работ по зимнему содержанию, удовлетворяющих ограничениям (бинарным отношениям).

Далее рассмотрена задача автоматизации создания проектов организации дорожного движения на основе применения правил, соответствующих положениям нормативных документов (ГОСТы, СНиПы и др.).

Для представления участка автомобильной дороги на отрезке $[a;b]$ используется система функций $g_i(x), x \in [a;b], i = \overline{1,n}$, где соответствует i -му свойству. Представление правил проектирования, удобное для автоматизации, имеет форму **Рисунок 1**.

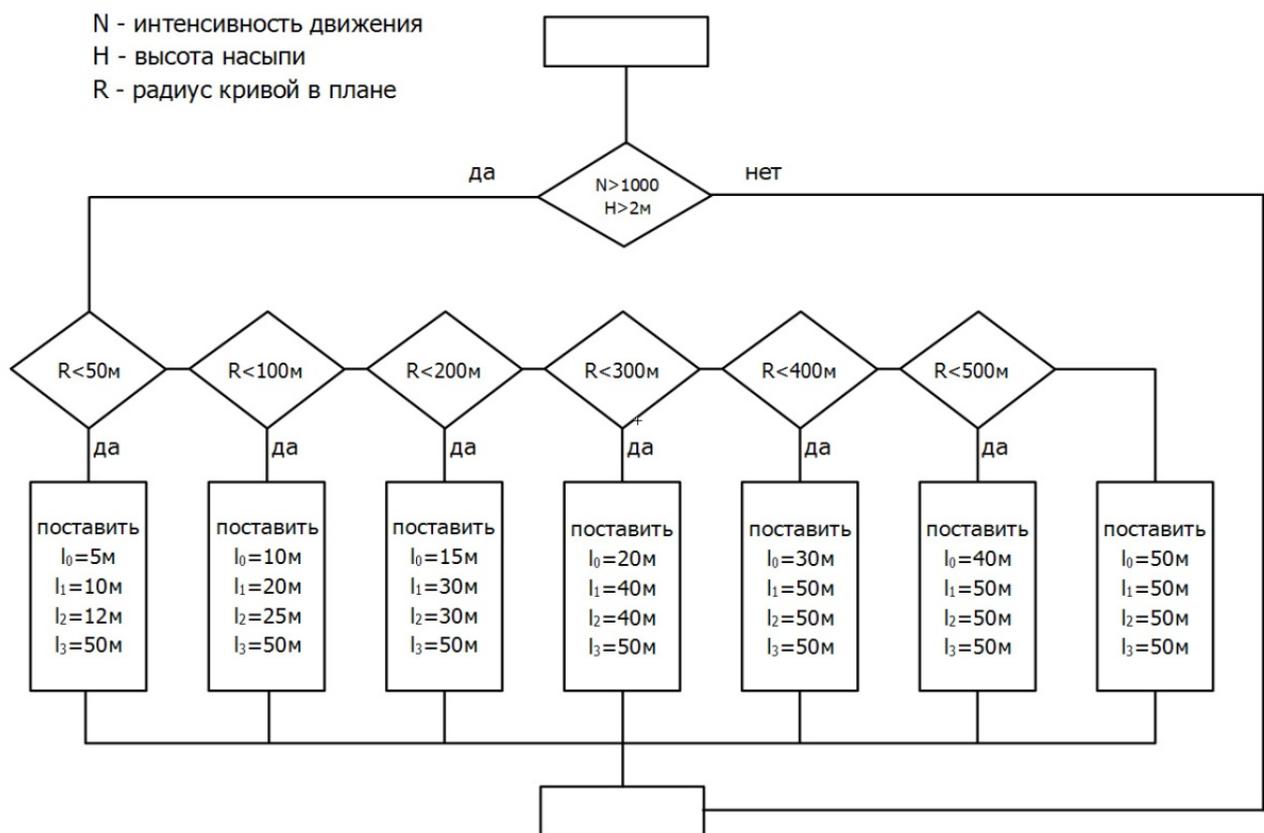


Рисунок 1

Математически работа алгоритма описывается следующим образом. Дорога представлена системой функций Obj

$$Obj = \left\{ \begin{array}{l} g_1(x), x \in [a; b] \\ g_2(x), x \in [a; b] \\ \dots \\ g_n(x), x \in [a; b] \end{array} \right\},$$

заданной в двумерном пространстве на промежутке $[a, b]$. Функции $g_i(x)$ будем называть свойствами объекта. Функции $g_i(x)$ являются непрерывными по X на промежутке $[a, b]$. Требуется найти промежутки из $[a, b]$, на которых Obj удовлетворяет ограничениям.

Построение математических моделей позволяет систематизировать знания о сложных процессах, протекающих на предприятии, а также избежать ошибок при проектировании и разработке программных средств, автоматизирующих процесс. На основании приведенных в главе моделей для системы мониторинга и поддержки управления сетью автомобильных дорог строится проект базы данных и программный комплекс СМПУ.

Для СМПУ выделены основные источники получения информации для системы поддержки управления: результаты видеопаспортизации дорог, электронная база данных инвентаризации дорог, электронные базы данных искусственных сооружений и др. (рисунок 2).

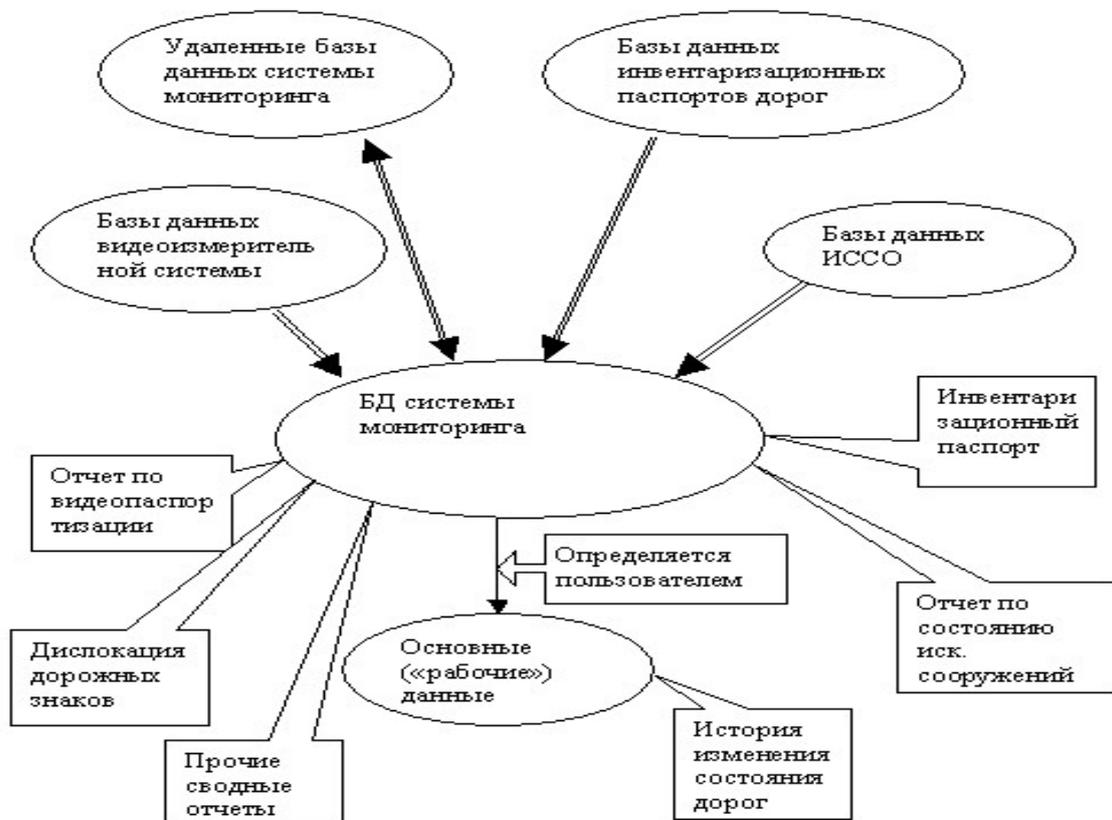


Рисунок 2

Вся информация интегрируется в единую базу данных и в дальнейшем доступна для получения всевозможных отчетов по каждому из информационных потоков в отдельности. Нужно сказать, что каждый из перечисленных источников практически всегда содержит в себе неполную картину состояния дороги. Такое разнообразие взаимодополняющей информации, необходимо реплицировать и интегрировать в единое хранилище данных.

Основным принципом проектирования СМПУ является понятие модульности. Каждый из логических компонентов, входящих в программную систему, должен был наделять определенными функциональными возможностями рабочее место того или иного специалиста. Поэтому была использована технология плагинов. Система состоит из основного модуля, который отвечает за загрузку всех плагинов и содержит в себе некоторые общепринятые функции.

Третья глава посвящена применению логико-эвристического подхода для решения задач организации учебного процесса (ОУП) в вузе.

Задано отображение $STAND: D \times S \rightarrow N$ – государственные образовательные стандарты специальностей учебного заведения, $U: D \times S \times T \rightarrow N$ называется учебным планом, где $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{kt}\}$ – множество семестров, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{ks}\}$ – множество специальностей, $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{kd}\}$ – множество учебных предметов (дисциплин), N – натуральные числа.

Норматив количества часов в неделю для учащихся:

$$C1 \leq \sum_{i=1}^{kd} U(d_i, s_j, t_k) \leq C2 \quad \forall j = 1 \dots ks, k = 1 \dots kt$$
, где $C1$ и $C2$ минимальное и максимальное количество учебных часов в однонедельном цикле.

Норматив возможного отклонения от государственного стандарта специальностей:

$$DMIN \cdot \sum_{i=1}^{kd} STAND(d_i, s_j) \leq \sum_{i=1}^{kd} \sum_{k=1}^{kt} U(d_i, s_j, t_k) \leq DMAX \cdot \sum_{i=1}^{kd} STAND(d_i, s_j) \quad \forall j = 1 \dots ds,$$

$DMIN$ и $DMAX$ – константы.

Отображение $NAGR: U \times P \rightarrow N$ называется нагрузкой преподавателей. Для построения отображения нам потребуется следующие множества: $\{Omin_1, \dots, Omin_i\}$ – минимально допустимая нагрузка для преподавателей; $\{Omax_1, \dots, Omax_i\}$ – максимально допустимая нагрузка для преподавателей.

Введено следующее ограничение на построение отображения NAGR:

$$O \min_k \leq \sum_i \sum_j NAGR(U(d_i, s_j, t_h), p_k) \leq O \max_k, \quad \forall k, h, \quad d_i \in D, s_i \in S, t_h \in T.$$

Основными объектами задачи планирования расписания (по дневной форме обучения) являются множества: преподавателей $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{kp}\}$, контингентов учащихся $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{kc}\}$, предметов $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{kd}\}$, аудиторий $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{ka}\}$, «пар» (двухнедельный цикл) $M = \{m_1, m_2, \dots, m_{km}\}$.

Совокупность планируемых занятий $ZZ \subseteq P \times C \times D$. Расписание занятий Sh – инъективное отображение $ZZ \rightarrow R$, где $R: A \times M$ – ресурс. Расписание занятий Sh должно удовлетворять ограничениям, как по типам объектов

(смены для контингентов учащихся, сбалансированность учебной недели и др.), так и по ограничениям для конкретных объектов (для преподавателей: освобожденные дни или «пары», максимальное количество занятий в день, причем количество лекций из них и др.).

Для заочной формы обучения требуются существенные уточнения. Необходимо задать множество сессий $TT = \{tt_1, tt_2, \dots, tt_{ktt}\}$, проводимых для соответствующих потоков учащихся $SS = \{ss_1, ss_2, \dots, ss_{kss}\}$.

Каждый поток учащихся имеет определенную специальность и количество групп, т.е. заданы отображения $WS1 : SS \rightarrow S$; $WS2 : SS \rightarrow N$. Соответствие между сессиями определяется отображением $WT : TT \rightarrow SS$.

Построение рабочего графика учебного процесса (*РГУП*) будет сводиться к определению этих сроков проведения, удовлетворяющих определенным ограничениям, т.е. фактическому построению отображения $WG : TT \rightarrow N \times N$, где $WG(tt) = (n1, n2)$ означает: $n1$ ($n2$) первый (соответственно, последний день) сессии $tt \in TT$.

Другие важные ограничения, используемые при построении *РГУП*, вводятся на основании рабочего учебного плана, определяемого, как частичное отображение $RU : D \times SS \times TT \rightarrow N$. Основные требования ограничений связаны с равномерностью загрузки специализированного аудиторного фонда и преподавателей. Объемы такой загрузки (количество пар) определяются рабочим учебным планом.

Определено одно из основных ограничений, которому должен удовлетворять *РГУП*. Для каждого календарного дня множество потоков учащихся $DaySS(i) = \{ss \mid \text{где } ss \in SS \text{ такие, что календарный день } i \text{ включен в период } WG(tt), \text{ причем } WT(tt) = ss\}$.

Количество групп (определяемое отображением $WS2 : SS \rightarrow N$) в множестве потоков учащихся $DaySS(i)$ для каждого календарного дня i должно быть в некотором заранее определенном интервале (должна быть обеспечена равномерность количества учащихся по заочной форме обучения на весь учебный год).

В третьей главе также рассмотрены вопросы реализации программного комплекса для поддержки ОУП. Выделены основные последовательно выполняемые этапы ОУП:

- формирование учебных планов на основе государственного стандарта;
- формирование рабочего учебного плана на текущий учебный год;
- формирование рабочего графика учебного процесса на текущий уч. год;
- формирование объединения и реформирования административного деления контингента;
- расчет нагрузки;
- распределение нагрузки между преподавателями;
- формирование данных для системы проектирования расписания;
- проектирование расписания занятий.

Четвертая глава посвящена применению логико-эвристического подхода для создания программного комплекса, предназначенного для определения параметров тепловых сетей на стадии проектирования.

Пусть тепловая сеть задана графом исходных данных $\{V, E, \delta\}$, где V – множество вершин (потребители, источники тепловой энергии, тепловые пункты, регуляторы давления), E – ребра (участки сети, включая новые и существующие), δ – совокупность отношений и операций, определенных на вершинах и ребрах графа, задающих их связность. В каждой из вершин задается кортеж $\langle h, \Delta H, \Delta P \rangle$, где h – отметка земли, ΔH – потери тепла (для потребителей) или мощность (для источников), а ΔP – изменение напора (для насосных станций). Для существующих участков в ребрах заданы множества трубопроводов T , каждый элемент которого

$$t_i = \langle D, h, k\varepsilon \rangle, \quad (6)$$

где D – внешний диаметр трубопровода, h – толщина стенки, $k\varepsilon$ – коэффициент шероховатости.

Результатом определения параметров тепловой сети будет граф $\{V, VR, ER, \delta R\}$,

где VR – добавленные насосные станции и узлы дросселирования, δR – изменения связности графа, в связи с добавлением множества узлов VR , а ER – ребра участков сети, на которых определены кортежи из (6). При этом на результат налагаются ограничения на расчетные значения тепловых потерь, расходы сетевой воды, потери давления в подающем и обратном трубопроводах на каждом из участков и др. Оптимизация производится по минимуму расчетных затрат:

$$Z_{\text{сум}} = \sum Z_{\text{уч}i} + \sum Z_{\text{нс}i} \rightarrow \min \quad (8),$$

где $Z_{\text{уч}i}$ – затраты на реконструкцию (для существующих) или строительство (для новых) трубопроводов на участке, а $Z_{\text{нс}i}$ – затраты на строительство насосной станции.

Опираясь на описанную модель определения параметров теплосети, был разработан программный комплекс «КЕДР», который позволяет автоматизировать определение оптимальных параметров тупиковых и кольцевых тепловых сетей с учетом обеспечения работы в аварийных ситуациях, а также способствует снижению трудозатрат по разработке проектной документации и в целом улучшает технологию проектирования.

Как уже говорилось ранее, при моделировании и проектировании программного комплекса, а также алгоритмизации решения задачи использовался подход, описанный в первой главе работы, что показывает универсальность предложенного подхода.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

На основе проведенных исследований решены актуальные проблемы математического моделирования и решения ресурсных задач для таких предметных областей как содержание региональной сети автомобильных дорог, организация учебного процесса ВУЗов, проектирования (реконструкция) тепловых сетей.

В процессе исследований получены следующие научные результаты.

1. Проверено, что логико-эвристический подход может быть использован для построения математических моделей ресурсных задач. Подтверждена возможность численного решения ресурсных задач, как итерационное построение многоосновных алгебраических систем, удовлетворяющих ограничениям. Показана возможность использования построенных моделей на основе логико-эвристического подхода при реализации программных комплексов.

2. Применен логико-эвристический подход для решения задач

2.А) в дорожной отрасли:

- планирование работ по нормативному содержанию сети автодорог,
- формирование областей обслуживания ресурсных баз для сети автодорог,
- формирование проектов организации дорожного движения;

2.Б) при организации учебного процесса:

- проектирование рабочего графика учебного процесса по заочной форме обучения,
- распределение аудиторного фонда,
- организации выездов преподавателей по филиалам,
- проектирования расписания занятий;

2.В) определения параметров тепловых сетей на стадии схемы теплоснабжения и проектов тепловых сетей.

3. Реализованы и внедрены программные комплексы, решающие вышеуказанные, а также большое количество других, информационных задач:

3.А) программный комплекс мониторинга и поддержки управления дорожной сети;

3.Б) программный комплекс поддержки организации учебного процесса;

3.В) программный комплекс определения параметров тепловой сети «КЕДР».

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Пахомов Д.В.** Поддержка информационной составляющей технологии организации учебного процесса// Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск, №4 (28), 2006, С. 42-44.

2. Мартьянов В.И., **Пахомов Д.В.** Математические вопросы и программная реализация поддержки организации учебного процесса// Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск, №1 (29), 2007, С. 143-147.

3. Мартьянов В.И., **Пахомов Д.В.**, Архипов В.В. Организация рационального управления содержанием региональной сети автомобильных дорог// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. – 2009. №2(22).

4. Мартьянов В.И., Архипов В.В., Каташевцев М.Д., **Пахомов Д.В.** Обзор приложений логико-эвристических методов решения комбинаторных задач

высокой сложности// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. – 2010. №4(28) , С. 73-79.

5. **Пахомов Д.В.**, Каташевцев М.Д., Мартьянов В.И., Степаненко А.А. Автоматизация создания проектов организации дорожного движения для автомобильных дорог// Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. ИрГУПС. – 2012. №3(35). С. 56-61.

6. Кулик Н.С., Мартьянов В.И., **Пахомов Д.В.** Проект системы управления региональной сетью автомобильных дорог (СУРАД) Иркутской области. //Вестник ИрГТУ. 2014. №4 (74). С. 150-155.

7. Кулик Н.С., Мартьянов В.И., **Пахомов Д.В.** Построение графа автомобильных дорог для системы взимания платы с большегрузного транспорта. // Вестник ИрГТУ. – 2016. №4(111). - С. 96-101.

Авторские свидетельства и патенты:

8. **Пахомов Д.В.** Программа ведения учебных планов по дневной, заочной и ускоренной формам обучения// Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005611863, Москва: РОСПАТЕНТ, 2005.

9. **Пахомов Д.В.** Программа подготовки данных для системы проектирования расписания// Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005611861, Москва: РОСПАТЕНТ, 2005.

10. **Пахомов Д.В.** Программа обработки и интеграции данных видеопаспортизации для мониторинга сети автомобильных дорог // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2010613302, Москва: РОСПАТЕНТ, 2010.

11. **Пахомов Д.В.**, Тонгалюк В.С., Московских А. С., Бочкарев А. С. Программный комплекс для определения оптимальных параметров тепловых сетей "КЕДР"// Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013612462, Москва: РОСПАТЕНТ, 2013.

В других изданиях:

12. Мартьянов В.И., **Пахомов Д.В.**, Архипов В.В. Сетевое планирование содержания сети автомобильных дорог Иркутской области// Новые технологии в инвестиционно-строительной сфере и ЖКХ. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005, с. 123–129.

13. Мартьянов В.И., Самбаров Н.Н., **Пахомов Д.В.**, Симонов А. С. Проект системы мониторинга и поддержки управления сетью автомобильных дорог общего пользования Иркутской области// Винеровские чтения, Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2005, с. 137–138.

14. Самбаров Н.Н., Мартьянов В.И., **Пахомов Д.В.**, Симонов А. С. О состоянии автомобильных дорог Иркутской области// Автомобильные дороги и безопасность движения. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2006-№6-С.167-170.

15. Мартьянов В.И., Архипов В.В., Каташевцев М.Д., **Пахомов Д.В.**, Симонов А. С. Обзор приложений логико-эвристических методов решения комбинаторных задач// Материалы 3-ей Российской школы – семинара «Синтаксис и семантика логических систем».- Иркутск, 2010.- С. 60-64.

Подписано в печать 27.11.2017.
Формат 60 × 84 1/16. Бумага офсетная.
Печать трафаретная. Печ. л. 1. Заказ _____. Тираж 130 экз.
Отпечатано с готового оригинал-макета в ИПО ФГБОУ ВО
«Байкальский государственный университет»
664074, г. Иркутск, ул. Ленина, 11.