

05.13.10

K289

На правах рукописи

Касюк
Касюк Сергей Тимурович

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССАМИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ
В ОРГАНИЗАЦИЯХ БЮДЖЕТНОЙ СФЕРЫ**

Специальность 05.13.10 —
“Управление в социальных и экономических системах”

v.e.
Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Челябинск — 2001

Работа выполнена в Южно-Уральском государственном университете.

Научный руководитель —
доктор технических наук, профессор **Казаринов Л. С.**

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор **Ширяев В. И.**,
кандидат технических наук **Вуколова А. И.**

Ведущая организация —
Региональная энергетическая комиссия Челябинской области.

Защита состоится 14 ноября 2001 г., в 16 ч, на заседании диссертационного совета Д 212.298.03 в Южно-Уральском государственном университете по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76 (конференц-зал, ауд. 244).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Южно-Уральского государственного университета.

Автореферат разослан “ _____ ” _____ 2001 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



А. М. Коровин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Проблема повышения эффективности использования энергетических ресурсов в бюджетных организациях и снижение платежей за потребленные ресурсы является в настоящее время весьма актуальной. При этом, как показал опыт, проблема энергосбережения для бюджетных организаций не является чисто технической. Дело в том, что внедрение новых технологий и техники, если оно не дает прибыли внедряющей организации, не дает материального поощрения исполнителям работ, не будет эффективным. Поэтому возникает задача разработки целостного механизма управления энергосберегающими работами в организациях бюджетной сферы. Опыт регионов РФ показал, что управление энергосберегающими работами в бюджетных организациях начинается с лимитирования потребления энергетических ресурсов.

Анализ подходов к определению лимитов потребления энергетических ресурсов бюджетных организаций показывает, что снизить платежи за потребленные энергетические ресурсы можно на основе расчета лимитов с использованием прогрессивных норм удельных показателей потребления ресурсов. Данный способ определения лимитов требует составления энергетического паспорта организации с отражением всех основных сведений об энергетическом хозяйстве организации, объемах потребления ресурсов и удельных показателей потребления ресурсов.

В условиях определения лимитов по данным энергетических паспортов организаций особую актуальность приобретают работы по объективной оценке энергопотребления бюджетных объектов, которые включают: 1) проведение энергоаудитов, 2) установку приборов учета потребления ресурсов и 3) проведение нормативных расчетов энергопотребления. Данные, закладываемые в энергетические паспорта организаций, должны, с одной стороны, позволить проверить правильность оценки объемов предоставляемых коммунальных услуг, а с другой стороны, служить исходными данными для определения комплекса мероприятий по энергосбережению и затрат на их проведение.

Для управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы на основе энергетических паспортов организаций требуется решить ряд задач методического и нормативного обеспечения.

Здесь следует указать на положительный опыт проведения работ по энергосбережению ряда регионов РФ, вносящих существенный вклад в разработку методических и нормативных аспектов энергетической паспортизации бюджетных организаций. Среди них можно отметить города Москва и Санкт-Петербург, Свердловскую, Томскую, Челябинскую и Сахалинскую области, Чувашскую республику и другие регионы. Следует также учитывать зарубежный опыт управления энергосберегающими работами.

Управление энергосберегающими работами, проведение энергетических аудитов, энергетической паспортизации требует значительных затрат. В этой связи возникает задача минимизации затрат на управление энергосберегающими

работами. Такая постановка задачи в литературе не освещена, что и определяет актуальность рассматриваемой работы.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является оптимизация управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы на региональном уровне на основе внедрения автоматизированной системы, позволяющей снизить затраты на проведение энергетических обследований организаций, повысить достоверность получаемой информации и повысить энергетическую эффективность объектов бюджетной сферы.

Для достижения указанной цели решались следующие задачи исследовательского и методического характера:

- 1) обоснование рациональной схемы регионального управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы;
- 2) создание методики оптимизации процесса энергетической паспортизации по критерию минимизации количества энергетических обследований на объектах;
- 3) создание методики ведения энергетического паспорта и расчета лимитов потребления топливно-энергетических ресурсов и воды;
- 4) разработка программы ведения энергетических паспортов и программ оптимизации планов энергетического обследования;
- 5) разработка нормативного обеспечения задачи энергетической паспортизации.

Связь диссертации с региональными программами. Диссертационное исследование выполнялось в рамках “Программы энергосбережения Челябинской области до 2005 года”, постановления Губернатора Челябинской области от 2 февраля 1999 г. №31 “О лимитах потребления топливно-энергетических ресурсов организаций, финансируемых из областного и местных бюджетов”, а также хозяйственной работы №2000170 от 1 июля 2000 г. “Разработка методического и программного обеспечения энергетической паспортизации” Управления научных исследований Южно-Уральского государственного университета с Областным государственным унитарным предприятием “Энергосбережение”.

Предметом исследования является автоматизация управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы.

Объектом исследования являются топливно-энергетические системы бюджетных организаций, рассматриваемые в комплексе с технико-экономическими вопросами эксплуатации.

Методология и методика исследования. Теоретической и методической основой исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых по управлению энергосбережением в жилищно-коммунальном хозяйстве, коммунальной энергетике, реформированию жилищно-коммунального хозяйства и статистическому анализу данных, а также нормативные и законодательные акты в сфере энергосбережения Президента РФ, Правительства РФ, нормативно-правовая база энергосбережения регионов РФ, нормативно-правовые документы министерств и ведомств РФ.

Проблемы управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы и повышения эффективности функционирования топливно-энергетических систем зданий освещены в трудах И. В. Белавкина, М. М. Бродача, В. Н. Богославского, И. П. Данилова, Н. М. Зингера, В. В. Иванова, Г. С. Иванова, Л. С. Казаринова, Ю. В. Кононовича, А. И. Кузьмичева, Е. В. Кузьмичевой, В. Ф. Пивоварова, А. Н. Сканави, Е. Я. Соколова, Ю. А. Табунщикова и других. В работе при решении статистических задач и оптимизации управления использованы методы множественного регрессионного анализа данных и целочисленного программирования, получившие освещение в трудах А. Анри-Лабордера, Б. Болча, Н. Дрейпера, А. Кофмана, Е. Н. Львовского, Ф. Мостеллера, Г. Смита, Дж. Себера, Дж. Тьюки, К. Дж. Хуаня и других авторов.

Конкретными информационными материалами стали исходные данные для оформления энергетических паспортов организаций, предоставленные Главным управлением инженерного обеспечения (инфраструктуры) администрации Челябинской области.

Научная новизна работы. В ходе исследования были получены следующие научные результаты:

- 1) предложена схема регионального управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы с использованием оптимизации мониторинга энергетического состояния объектов;
- 2) предложена методика оптимизации управления процессами энергосбережения на основе минимизации числа энергетических обследований;
- 3) разработана методика ведения энергетического паспорта и расчета лимитов потребления топливно-энергетических ресурсов и воды;
- 4) разработано программное обеспечение ведения энергетических паспортов организаций на основе оптимального планирования энергетических обследований.

Практическое значение. Выполненные в диссертационной работе методические и программные разработки были использованы при организации на территории Челябинской области системы учета и контроля использования топливно-энергетических ресурсов организациями, финансируемыми из областного и местных бюджетов, на основе энергетических паспортов организаций. Применение разработанных методик и программного обеспечения позволяет:

- 1) повысить эффективность использования энергетических ресурсов в бюджетных организациях;
- 2) уменьшить величины бюджетных средств, направляемых на дотирование энергопотребления организаций;
- 3) снизить затраты на проведение энергетических обследований объектов организаций;
- 4) увеличить эффективность обработки данных энергетических паспортов.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы были доложены:

- 1) на научно-практической конференции “Энергосбережение в промышленности и городском хозяйстве”, проходившей в г. Челябинске 14 — 15 июня 2000 г.;

2) на второй Международной научно-технической конференции “Энергосбережение на промышленных предприятиях”, проходившей в г. Магнитогорске 3 — 6 октября 2000 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы, включающего 89 наименований, а также 5 приложений. Диссертация содержит 125 страниц основного текста, 20 иллюстраций, 8 таблиц.

На защиту выносятся:

- 1) схема управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы на уровне области;
- 2) метод и алгоритм оптимизации плана энергетических обследований организаций;
- 3) методическое и программное обеспечение задачи паспортизации объектов бюджетной сферы по критерию минимизации числа энергетических обследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Анализ проблем управления энергосбережением в организациях бюджетной сферы

Организации бюджетной сферы являются крупными потребителями энергетических ресурсов. Расходы бюджетов всех уровней на их содержание составляют значительную часть всех бюджетных расходов. Поэтому одной из приоритетных задач в области энергосбережения является проведение мероприятий, обеспечивающих снижение величины бюджетных средств, направляемых на дотирование энергопотребления организаций.

В настоящее время расходы организаций бюджетной сферы в значительной степени определяются платежами за потребляемые энергетические ресурсы. При этом энергетические ресурсы расходуются неэкономно, вследствие возрастающих потерь энергии без заметного повышения уровня комфортности. С ростом цен на энергоносители и передачей жилищного фонда большинства предприятий на баланс администрации городов и районов значительно выросла величина средств, направляемых из областного бюджета на дотирование потребителей энергии. Положение усугубляется тем, что системы отопления и горячего водоснабжения жилых и общественных зданий характеризуются высоким уровнем потерь тепловой энергии. Бюджетные организации не имеют физической возможности сокращения расхода энергоресурсов и воды, а также финансовой мотивации энергосбережения.

Хотя проблема энергосбережения для бюджетных организаций на первый взгляд является чисто технической, однако практика проведения энергосберегающих мероприятий показала, что данная проблема является технико-экономической. Внедрение новой техники, если она не дает прибыли организациям, бюджету, не дает материального поощрения исполнителям работ, не будет эффективным. Такая техника не будет обслуживаться и в итоге будет демонтирована.

Решение проблемы энергосбережения для бюджетных организаций требует сочетания мер экономического стимулирования и административного воздействия. Кроме того, энергосбережение требует внедрения средств учета и регулирования расхода энергоресурсов и воды.

В условиях дефицита бюджета власти регионов РФ предпринимают меры для сокращения расходов энергоресурсов бюджетными учреждениями и организациями, вводя лимиты потребления энергетических ресурсов. Лимиты устанавливаются исходя из обеспечения безаварийного функционирования организаций и возможностей оплаты за потребляемые энергетические ресурсы. Анализ способов определения лимитов показал, что только расчеты на основе прогрессивных норм удельных показателей энергопотребления объектов, несмотря на свою трудоемкость и финансовые затраты, позволяют достоверно установить лимиты потребления энергетических ресурсов организаций, точно планировать объемы потребления энергетических ресурсов и обосновывать затраты на них.

Данный способ определения лимитов требует составления энергетического паспорта организации, содержащего данные об энергетических объектах организаций, объемах потребления топливно-энергетических ресурсов и воды, удельных показателях потребления ресурсов. Данные, закладываемые в энергетический паспорт организации, позволяют определить объем предоставляемых коммунальных услуг и служат исходными данными для определения комплекса мероприятий по энергосбережению. Для заполнения энергетических паспортов требуется проведение энергоаудитов и установка приборов учета потребления ресурсов на бюджетных объектах.

На основе ведения энергетических паспортов организаций можно осуществить объективную оценку состояния энергетических объектов организаций и достигнутого энергосберегающего эффекта. Энергетические паспорта организаций являются первичными учетными документами, лежащими в основе технико-экономического развития энергосберегающих работ. Они позволяют координировать такие работы в масштабе региона и стимулировать их развитие.

Цели энергетической паспортизации следующие: 1) экономия бюджетных средств, 2) оценка реального состояния энергетического хозяйства организаций, 3) расчет лимитов потребления топливно-энергетических ресурсов и воды для организаций, исходя из объективных потребностей энергетических хозяйств и возможностей бюджетного финансирования, 4) стимулирование организаций при проведении энергосберегающих мероприятий.

Решение проблемы энергосбережения для бюджетных организаций требует создания системы управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы на основе энергетических паспортов организаций.

В ходе управления процессами энергосбережения должны решаться следующие задачи: 1) работа с организациями для составления энергетических паспортов, 2) обработка данных энергетических паспортов организаций, включающая расчет лимитов потребления энергетических ресурсов в

натуральном и денежном выражениях, 3) выявление объектов с завышенным потреблением ресурсов по данным энергетических паспортов, 4) организация и проведение энергоаудитов на объектах организаций с выработкой перечня энергосберегающих мероприятий, 5) стимулирование организаций при проведении энергосберегающих мероприятий, 6) анализ результатов проведения энергосберегающих мероприятий с выработкой дальнейших решений.

Вследствие большого объема обрабатываемой информации при ведении энергетических паспортов управление процессами энергосбережения целесообразно автоматизировать. Автоматизация обеспечит решение разнообразных задач, встречающихся в ходе управления энергосбережением.

Программа автоматизации ведения энергетических паспортов должна быть построена как база данных по энергетическим объектам, в которой реализованы ряд расчетных операций:

- 1) вычисление удельных показателей потребления ресурсов;
- 2) расчет лимитов потребления энергетических ресурсов и воды в натуральном и стоимостном выражениях;

- 3) статистический анализ потребления ресурсов объектами;

- 4) составление плана проведения энергетических аудитов.

Однако, управление энергосберегающими работами требует значительных затрат. В этой связи со всей очевидностью встает задача минимизации затрат на функционирование системы управления процессами энергосбережения. Наиболее трудоемкой и затратной компонентой управления энергосбережением является проведение энергетических аудитов. Каждый аудит, по данным ОГУП "Энергосбережение" г. Челябинска, обходится бюджету до 10 тыс. руб. Поэтому минимизация числа энергетических аудитов является одним из главных критериев оптимизации процесса энергетической паспортизации.

Управление процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы

Общая структура управления процессами энергосбережения. С целью снижения энергопотребления в регионах необходимо внедрять систему управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы. Внедрение такой системы не требует больших капиталовложений, но предполагает реорганизацию структуры региональных служб, задействованных в обеспечении бюджетных организаций энергетическими ресурсами, проведение в организациях энергосберегающих мероприятий, начинающихся с энергетических аудитов. Необходимо также организовать сбор информации о потреблении энергетических ресурсов бюджетными организациями для составления энергетических паспортов и обработку данных энергетических паспортов.

Схема регионального управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы на примере Челябинской области приведена на рис. 1.

Цель управления процессами энергосбережения следующая: снижение объемов потребления энергетических ресурсов на объектах бюджетных

организаций, исходя из обеспечения их безаварийного функционирования и возможностей оплаты за потребляемые энергетические ресурсы.

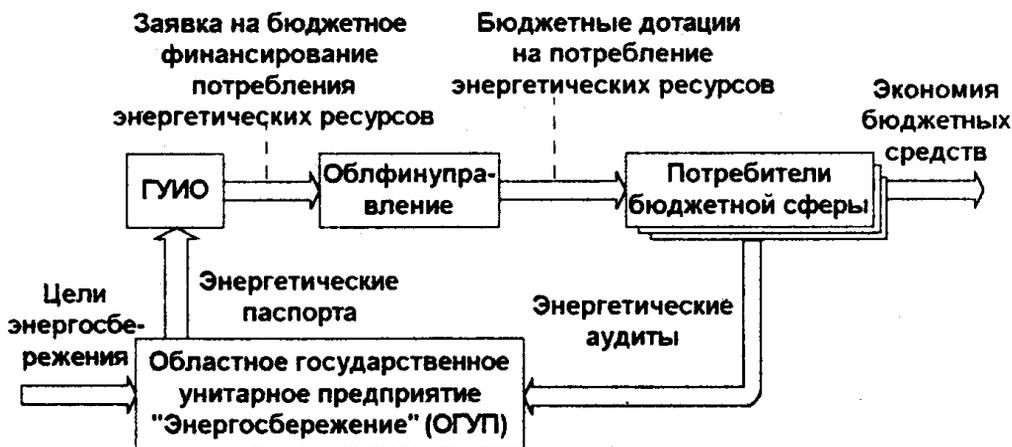


Рис. 1. Схема управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы Челябинской области

Основные функции участников схемы управления процессами энергосбережения следующие:

1. **Главное управление инженерного обеспечения (инфраструктуры) администрации Челябинской области (ГУИО).** Функция ГУИО заключается в контроле деятельности ОГУП по энергетической паспортизации и назначении рассчитанных лимитов потребления ТЭР и воды для бюджетных организаций. Лимиты потребления ресурсов для бюджетных организаций утверждаются постановлением Губернатора Челябинской области. Исходя из утвержденных лимитов ГУИО формирует заявку для Облфинуправления на бюджетное финансирование потребления ТЭР и воды.

2. **Облфинуправление.** Функция Облфинуправления сводится к осуществлению финансирования потребления ресурсов бюджетных организаций согласно утвержденным лимитам.

3. **Потребители бюджетной сферы.** Организации предоставляют информацию для расчета лимитов в ОГУП. Потребление энергетических ресурсов бюджетными организациями должно осуществляться в пределах утвержденных лимитов. Потребление ресурсов сверх лимитов осуществляется за счет средств, изыскиваемых потребителями из внебюджетных источников финансирования. При такой схеме финансирования энергопотребления организации вынуждены проводить энергосберегающие мероприятия.

4. **Областное государственное унитарное предприятие "Энергосбережение" (ОГУП).** Ведением энергетических паспортов и расчетом лимитов потребления ТЭР и воды для бюджетных организаций занимается ОГУП. Рассчитанные энергетические паспорта организаций с лимитами передаются в ГУИО. ОГУП осуществляет управление проведением энергосберегающих

мероприятий в организациях бюджетной сферы. Схема управления проведением энергосберегающих мероприятий показана на рис. 2.

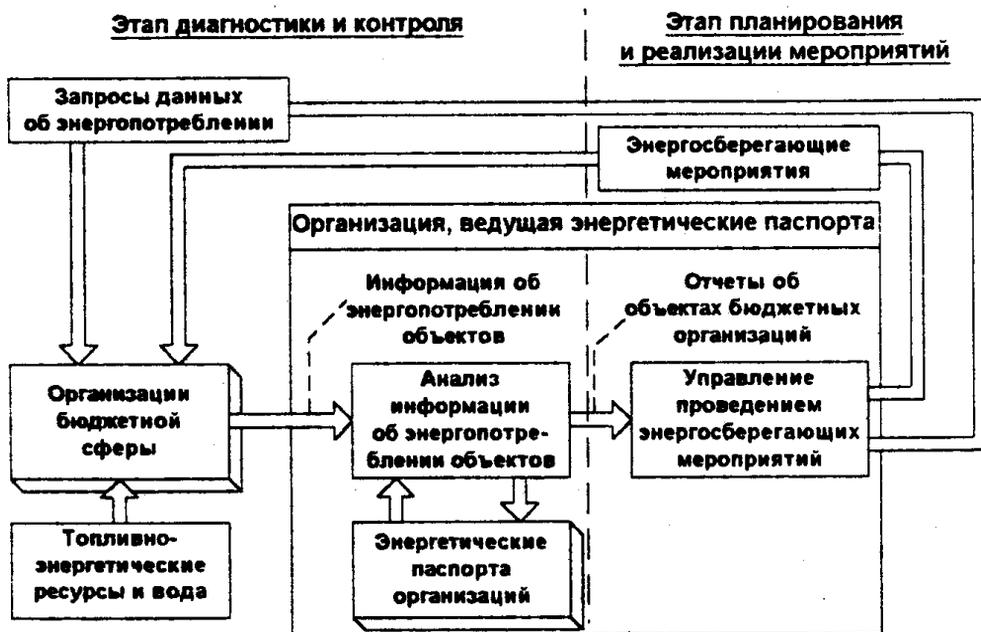


Рис. 2. Схема управления проведением энергосберегающих мероприятий в бюджетных организациях

Практически работа ОГУП с бюджетными организациями осуществляется в двух сферах деятельности: 1) диагностика и контроль, 2) планирование и реализация мероприятий. Этап диагностики и контроля состоит из систематически осуществляемого сбора данных по энергопотреблению на объектах организаций, их анализу и сравнению. На этапе планирования и реализации мероприятий разрабатывается и осуществляется оптимальный план проведения энергосберегающих мероприятий в организациях. В процессе ведения энергетических паспортов выявляются объекты с завышенным энергопотреблением, на которых должны проводиться энергосберегающие мероприятия, начинающиеся с энергоаудитов.

Методические основы задачи паспортизации. В работе предложена методика ведения энергетического паспорта и расчета лимитов потребления топливно-энергетических ресурсов и воды бюджетных организаций. В основе методики лежат удельные показатели потребления энергетических ресурсов и воды.

Удельный показатель потребления ресурса характеризует энергоемкость объекта организации. Значение удельного показателя потребления для объекта определяется по следующей формуле:

$$r = W / (F \cdot t),$$

где W — объем потребления ресурса объектом за период наблюдения t ; F — базовый эксплуатационный показатель, используемый при нормировании потребления ресурса.

Снижение удельного показателя отражает снижение энергоемкости и рост энергетической эффективности объекта, соответственно — повышение удельного показателя потребления свидетельствует о повышении энергоемкости и снижении энергетической эффективности объекта.

Значения удельных показателей могут быть расчетными, фактическими и базовыми. Расчетные значения удельных показателей определяются на основе нормативов СНиП, данных БТИ, технических проектов, решений государственных органов управления, условий договоров на энергоснабжение, водоснабжение и водоотведение. Фактические значения удельных показателей определяются на основе показаний средств коммерческого учета и энергетических обследований. Базовые значения удельных показателей используются для расчета базовых объемов потребления ресурсов объектами.

Базовые значения удельных показателей потребления энергетических ресурсов и воды определяются исходя из следующих правил:

1) в общем случае базовое значение удельного показателя принимается равным фактическому значению;

2) если фактическое значение удельного показателя для объекта превышает расчетное значение, то базовое значение удельного показателя принимается равным расчетному;

3) при отсутствии фактического значения удельного показателя в качестве базового значения принимается расчетное.

Базовая величина объема потребления ресурса на объекте определяется исходя из базового значения (q^b) удельного показателя потребления ресурса:

$$W^b = q^b \cdot F \cdot t^b,$$

где t^b — расчетный период времени потребления ресурса. Суммарная базовая величина объема потребления ресурса бюджетной организацией определяется на основе суммирования частных величин объемов потребления ресурса объектами, принадлежащими организации.

Лимиты потребления ресурса рассчитывается по формуле

$$W^n = W^b \cdot (100 - e) / 100,$$

где e — задание по экономии ресурса в процентах.

Лимит финансирования потребления ресурса рассчитывается следующим образом:

$$C_n = T \cdot W^n + S,$$

где T — действующий тариф на потребляемый ресурс; S — составляющая энергосбережения.

Составляющая энергосбережения S вводится с целями:

- 1) обеспечения возврата средств, вложенных в энергосберегающие работы;
- 2) материального поощрения участников энергосберегающих работ;
- 3) обеспечения рентабельности энергосберегающих мероприятий.

При дефиците бюджетных средств на оплату потребляемых ресурсов величина лимита снижается для всех организаций пропорционально проценту бюджетного дефицита.

Рассчитанные удельные показатели потребления, базовые уровни потребления и лимиты потребления ресурсов, а также лимиты финансирования потребления ресурсов заносятся в формы энергетического паспорта организации.

Программное обеспечение задачи энергетической паспортизации.

Вследствие большого объема обрабатываемой информации процесс энергетической паспортизации целесообразно автоматизировать. Специально для этих целей была разработана программа автоматизации ведения энергетических паспортов организаций. Структура программы показана на рис. 3.

Программа построена как база данных по энергетическим объектам, в которой реализованы:

1) удобный интерфейс для ввода, обработки и вывода на печать паспортов объектов, а так же всего ресурсопотока предприятия (теплоснабжения, электроснабжения, горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и водоотведения);

2) все расчетные операции, необходимые для ведения энергетического паспорта и расчета лимитов потребления ресурсов в соответствии с разработанной методикой;

3) нормативные расчеты потребления энергетических ресурсов и воды объектов;

4) оптимальное планирование проведения энергетических обследований.

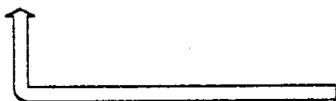
Оптимизация процесса энергетической паспортизации

Задача оптимизации процесса энергетической паспортизации сводится к разработке оптимального плана проведения энергосберегающих мероприятий в организациях бюджетной сферы. Данный план должен предусматривать проведение энергосберегающих работ преимущественно на объектах с высоким потенциалом энергосбережения, имеющим аномально высокое потребление ресурсов. На объектах с завышенным потреблением ресурсов необходимо проводить комплекс энергосберегающих мероприятий, начинающихся с энергетических аудитов.

При разработке оптимального плана проведения энергосберегающих мероприятий ставится задача снижения до минимума числа контрольных энергетических обследований, проводимых для проверки аномальных данных о потреблении ресурсов объектами в энергетических паспортах организаций. Минимизация числа энергетических обследований является прямым экономическим критерием.

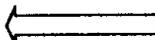
Постановка задачи оптимизации. Имеющуюся информацию об энергетическом потреблении объектов можно представить в виде таблицы наблюдений (табл. 1), где y_1, y_2, \dots, y_m — удельные показатели потребления топливно-энергетических ресурсов и воды объектами организаций; x_1, x_2, \dots, x_n — факторы, определяющие потребление ресурсов объектами.

1. "Титульный лист энергетического паспорта организации"
2. "Техническая характеристика объекта"
3. "Эксплуатационные характеристики объекта"
4. "Теплоснабжение объекта"



- Расчет теплотребления
- а) "Расчет тепловой нагрузки отопления по объектам"
 - б) "Расчет тепловой нагрузки вентиляции по объектам"
 - в) "Расчет тепловой нагрузки горячего водоснабжения по объектам"
 - г) "Расчет тепловой технологической нагрузки по объектам"

5. "Электроснабжение объекта"



- Расчет суммарной мощности электроприемников
 "Расчет установленной мощности по объектам"

6. "Горячее водоснабжение объекта"



- Расчет горячего водоснабжения
 "Расчет расхода горячей воды по объектам"

7. "Холодное водоснабжение объекта"



- Расчет холодного водоснабжения
 "Расчет водопотребления по объектам"

8. "Водоотведение объекта"



- Расчет водоотведения
 "Расчет водоотведения по объектам"

9. "Тарифы на энергетические ресурсы и воду"
10. "Задания по экономии топливно-энергетических ресурсов и воды в процентах"
11. "Лимиты потребления энергетических ресурсов и воды для объекта";
12. "Лимиты финансирования потребления энергетических ресурсов и воды для объекта"
13. "Лимиты потребления энергетических ресурсов и воды для организации"
14. "Лимиты финансирования потребления энергетических ресурсов и воды для организации"

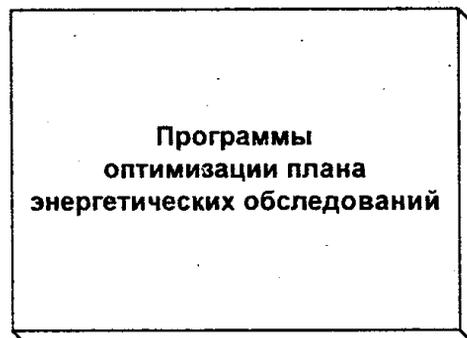


Рис. 3. Структура программы автоматизации ведения энергетических паспортов организаций

Таблица наблюдений по энергетическим объектам

Объект	y_1	y_2	...	y_m	x_1	x_2	...	x_n
1	y_1^1	y_2^1	...	y_m^1	x_1^1	x_2^1	...	x_n^1
2	y_1^2	y_2^2	...	y_m^2	x_1^2	x_2^2	...	x_n^2
...
N	y_1^N	y_2^N	...	y_m^N	x_1^N	x_2^N	...	x_n^N

Между факторами и показателем потребления ресурса существует некоторая регулярная зависимость, которая априори неизвестна,

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Полагается, что регулярные данные предсказываются зависимостью с заданной точностью:

$$|f(x_1, x_2, \dots, x_n) - y| \leq \varepsilon. \quad (2)$$

Аномальные данные не подчиняются регулярной зависимости:

$$|f(x_1, x_2, \dots, x_n) - y| > \varepsilon.$$

Задача выделения аномальных данных решается неоднозначно, так как вид зависимости $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ — неизвестен.

Ставится задача найти оптимальное разбиение множества данных на регулярные и аномальные данные по критерию максимизации числа регулярных данных (минимизации аномальных данных) для заданного класса зависимостей:

$$\left. \begin{aligned} |f_i(\bar{a}; \bar{x}_i) - y_i| \leq \varepsilon; \mu_i; \\ \mu_i = \begin{cases} 1, \text{ если } |f_i(\bar{a}; \bar{x}_i) - y_i| \leq \varepsilon; \\ 0, \text{ если } |f_i(\bar{a}; \bar{x}_i) - y_i| > \varepsilon; \end{cases} \\ \bar{a} \in D_a \\ \max \sum_{i=1}^k \alpha_i \mu_i; \\ \sum_{i=1}^k \alpha_i = 1, \\ (\bar{a}) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где α_i — удельный вес наблюдений.

Задача (3) является задачей математического программирования общего вида, включающая непрерывные и дискретные компоненты.

Процесс решения состоит из двух решающих подпроцессов:

- 1) выделение наборов аномальных данных на основе метода уменьшения остаточной дисперсии;
- 2) комбинаторного поиска минимального набора аномальных данных методом фильтрующих ограничений.

Метод уменьшения остаточной дисперсии позволяет выявить альтернативные наборы аномальных данных.

Математическую модель (1), связывающую факторы и показатель потребления ресурса, будем искать в виде линейной регрессионной модели на основе метода наименьших квадратов

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + \dots + a_p \cdot X_p, \quad (4)$$

где a_0, a_1, \dots, a_p — неизвестные коэффициенты регрессии; X_1, X_2, \dots, X_p — переменные, входящие в уравнение регрессии, полученные в результате нормирования факторов x_1, x_2, \dots, x_n .

Аномальные данные о потреблении ресурса искажают коэффициенты регрессионной модели (4), ухудшая ее статистические показатели. Поэтому поиск аномальных наблюдений осуществляется по нескольким лучшим регрессионным моделям.

В общем случае все наблюдаемые значения потребления ресурса объектами можно разбить на две группы:

- 1) аномальные — наблюдения, среди которых могут находиться объекты с завышенным потреблением ресурсов;
- 2) регулярные — наблюдения, представленные объектами с энергопотреблением, находящимся в нормативных рамках.

Регулярные наблюдения предсказываются с заданной точностью ε .

Аномальные наблюдения определяются по наибольшему вкладу, вносимому в величину остаточной дисперсии

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_j - Y_j)^2}{N - p - 1}.$$

Вклад каждого наблюдения в величину остаточной дисперсии можно определить, исключая по отдельности из набора наблюдений, участвующих в расчете регрессионной модели, включенные в него наблюдения. На каждом шаге определения объекта с аномальным потреблением ресурса из набора наблюдений необходимо исключить наблюдение, устранение которого приводит к наибольшему уменьшению величины остаточной дисперсии.

Основные шаги метода уменьшения остаточной дисперсии при поиске альтернативных наборов аномальных наблюдений следующие:

1. Вычисляется частная величина остаточной дисперсии $S_{\text{ост}}^2$ для каждого наблюдения в предположении, что данного наблюдения не было среди наблюдений, участвующих в расчете регрессионной модели.

2. Наблюдение, в результате исключения которого из расчетов величина остаточной дисперсии стала наименьшей, считается аномальным и исключается из набора наблюдений, участвующих в расчете уравнения регрессии.

3. Шаги 1 и 2 повторяются до тех пор, пока модель (4) не станет адекватной по F-критерию Фишера, и пока для каждого наблюдения, участвующего в вычислениях, не станет выполняться условие

$$|y_j - Y_j| \leq \varepsilon. \quad (5)$$

Метод уменьшения остаточной дисперсии экономичен с точки зрения вычислительных затрат, в нем исследуются только наилучшие наблюдения, приводящие модель к адекватности и выполнению статистического критерия (5).

Метод фильтрующих ограничений. Среди аномальных наблюдений имеется информация о нормативном, завышенном и заниженном потреблении ресурсов объектами. Необходимо произвести поиск минимального набора аномальных данных, состоящего из объектов с наиболее завышенным потреблением ресурсов.

Комбинаторный поиск минимального набора аномальных данных позволяет осуществить метод фильтрующих ограничений.

Минимальный набор аномальных данных выявляется с помощью анализа комбинаций наборов аномальных наблюдений, используемых в расчете регрессионной модели.

Для анализа комбинаций наборов аномальных наблюдений вводится характеристическая функция μ_j , которая принимает значения

$$\mu_j = 1, \text{ если } |y_j - Y_j| \leq \epsilon;$$

$$\mu_j = 0, \text{ если } |y_j - Y_j| > \epsilon.$$

Минимальный набор аномальных наблюдений находится на основе анализа таблицы перебора наборов аномальных наблюдений (см. табл. 2).

Для минимального набора аномальных наблюдений:

- 1) значения комбинации аномальных наблюдений и значения комбинации функций μ_j на наборе совпадают;
- 2) целевая функция $C = \alpha_1 \mu_1 + \alpha_2 \mu_2 + \dots + \alpha_q \mu_q$ принимает максимальное значение на множестве аномальных наблюдений.

При переборе комбинаций аномальных наблюдений проверяется, чтобы для всех регулярных наблюдений на данном наборе аномальных наблюдений выполнялось условие (5). Если для отдельных регулярных наблюдений условие не будет выполняться, то данные наблюдения считаются аномальными на данном наборе.

Таблица 2

Таблица перебора наборов аномальных наблюдений

Номер набора	Наборы аномальных наблюдений						Значения функции μ_j на наборе					
	1	2	...	q-1	q	$C_{\text{ожд}}$	μ_1	μ_2	...	μ_{q-1}	μ_q	$C_{\text{реал}}$
0	0	0	...	0	0	0			...			
1	0	0	...	0	1	1			...			
...
2^{q-1}	1	1	...	1	0	q-1			...			
2^q	1	1	...	1	1	q			...			

В общем случае число переборов наборов аномальных наблюдений будет 2^q . Применение метода фильтрующих ограничений позволяет значительно сократить число переборов для поиска минимального набора данных. Фильтрующие ограничения здесь состоят в том, что анализируются не все комбинации, а только наиболее перспективные — комбинации с высокими ожидаемыми значениями целевой функции $C_{\text{ожд}}$. Комбинации, для которых ожидаемое значение целевой

функции $S_{\text{ожид}}$ будет меньше реальных значений $S_{\text{реал}}$, полученных при переборе табл. 2, отсеиваются.

Практическая реализация решения задачи оптимизации.

Статистические методы поиска аномальных данных, основанные на использовании регрессионных моделей, имеют следующие ограничения:

- вид линейной регрессионной модели заранее неизвестен;
- аномальные наблюдения сильно искажают коэффициенты модели.

ухудшая при этом ее статистические показатели.

Для преодоления данных ограничений предлагается схема проведения поиска аномальных данных о потреблении ресурсов объектами (рис. 4), основанная на использовании нескольких перспективных моделей с лучшими статистическими показателями.

Схема состоит из двух этапов:

• **Этап I. "Определение аномальных наблюдений"**. Производится поиск лучших (перспективных) моделей с определением для них альтернативных наборов аномальных данных. Для поиска лучших моделей, имеющих наибольшие достигнутые величины F-критерия Фишера, используется алгоритм, сочетающий метод перебора возможных регрессий и метод уменьшения остаточной дисперсии. Лучшие модели отбираются уже после исключения из их расчетов наборов аномальных наблюдений.

Этап II. "Определение минимального набора аномальных наблюдений". По лучшим моделям производится определение минимального набора аномальных данных. Наблюдения считаются аномальными, если они признаются таковыми по более 50% моделей.

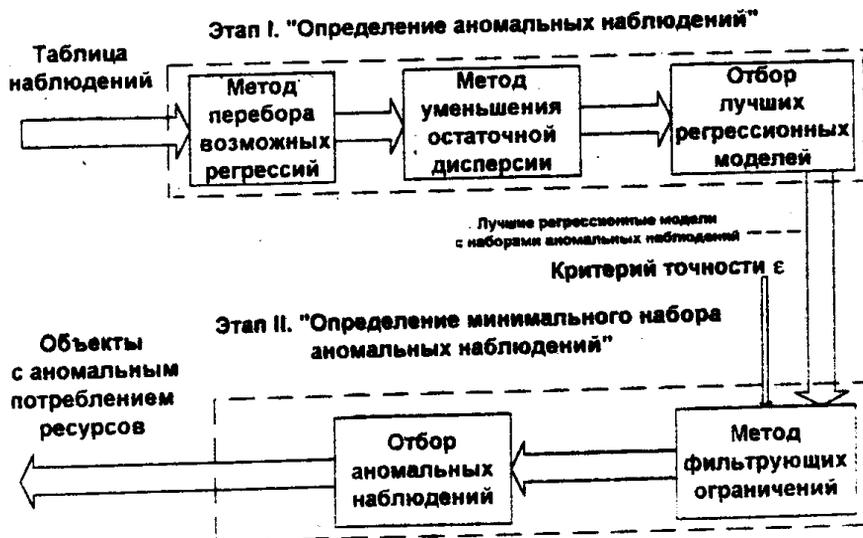


Рис. 4. Схема проведения поиска аномальных данных о потреблении ресурсов объектами

В процессе диссертационного исследования было создано программное обеспечение, реализующее решение задачи оптимизации.

Процедура принятия решения о проведении энергетических аудитов состоит из следующих этапов (см. рис. 5):

- 1) экспертной оценки данных энергетических паспортов;
- 2) выделения минимального набора аномальных данных;
- 3) формирование оптимального плана энергетических обследований.

Выявленные на основе метода уменьшения остаточной дисперсии альтернативные наборы аномальных данных $\{(y, x_1, x_2, \dots, x_n)_i\}$ подвергаются экспертной оценке энергетической эффективности:

$$\alpha_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^q n_i},$$

где n_i — мнение участников экспертной группы об энергетической эффективности i -го объекта в баллах. При оценке применяется следующая шкала качественных признаков энергетической эффективности: “хорошо” — 3 балла; “удовл.” — 2 балла; “плохо” — 1 балл; “неудовл.” — 0 баллов.

В ходе выделения в информационной базе данных энергетических паспортов минимального набора аномальных данных обнаруживаются объекты с завышенным энергопотреблением, имеющие низкие оценки энергетической эффективности. Графическая интерпретация выделения минимального набора аномальных данных приведена на рис. 5.

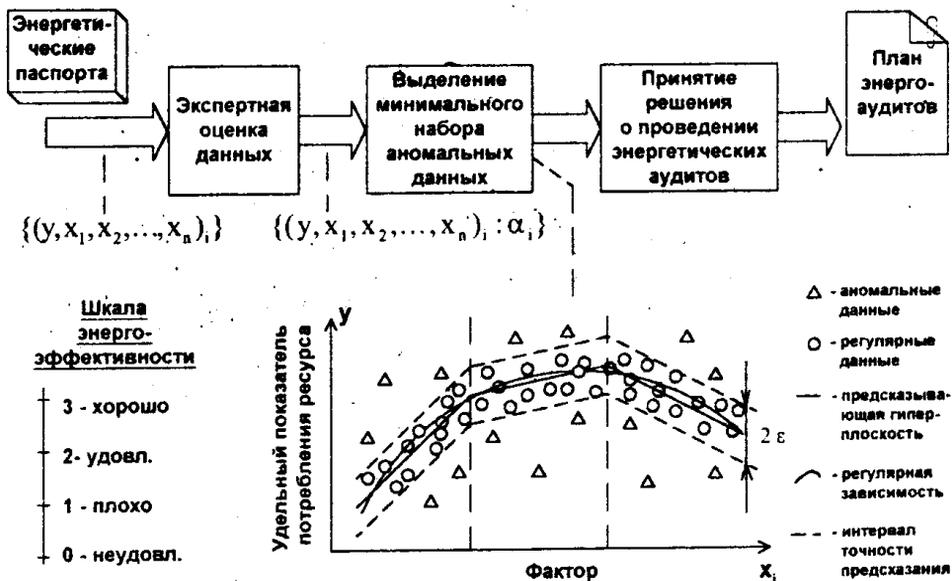


Рис. 5: Общая схема принятия решения о проведении энергетических аудитов

Энергоаудиту подвергаются объекты с завышенным суммарным потреблением ресурсов. Одним из главных критериев принятия решения о проведении энергетического аудита является возможность получения максимального экономического эффекта от проведения энергосберегающих мероприятий на объекте.

Результаты решения задачи оптимизации на данных Челябинской области

В работе произведена отработка задачи оптимизации процесса энергетической паспортизации на фактических данных о теплотреблении бюджетных объектов в Челябинской области. Для 249 объектов учреждений медицины и здравоохранения был построен оптимальный план проведения энергосберегающих мероприятий. Поиск объектов с завышенным потреблением производился по значениям удельной отопительной характеристики объектов при уровне критерия точности предсказания $\epsilon=0,25$. При поиске не производилась экспертная оценка энергетической эффективности объектов ($\alpha_i = 1$).

Информация о теплотреблении объектов представилась в виде таблицы наблюдений со следующими полями:

- $q_0^{\text{факт}}$ — фактическая удельная отопительная характеристика объекта на 1999 г., ккал / (м³·ч·°С);
- x_1 — отапливаемый объем объекта, м³;
- x_2 — площадь застройки, м²;
- x_3 — общая площадь, м²;
- x_4 — полезная площадь, м²;
- x_5 — коэффициент теплопроводности материала наружных стен, ккал / (м²·ч·°С);
- x_6 — толщина наружных стен, м;
- x_7 — год постройки объекта (ввода в эксплуатацию);
- x_8 — расчетное число постоянно присутствующих человек;
- x_9 — фактическое число постоянно присутствующих человек;
- x_{10} — число часов работы учреждения в сутки.

Для обнаружения объектов с аномальным теплотреблением была произведена предварительная обработка данных:

1. Из таблицы наблюдений была исключена информация о 27 объектах с явно завышенным теплотреблением (объекты, для которых величина $q_0^{\text{факт}} \geq 1$);
2. Факторы были преобразованы следующим образом: $X_1=\lg(x_1)$; $X_2=\lg(x_2)$; $X_3=\lg(x_3)$; $X_4=\lg(x_4)$; $X_5=x_5$; $X_6=x_6$; $X_7=1$, если здание построено до 1958 г., и $X_7=0$ в противном случае; $X_8=x_8$; $X_9=\lg(x_9)$; $X_{10}=\lg(x_{10})$.

По комплексному алгоритму, сочетающему перебор возможных регрессий и метод уменьшения остаточной дисперсии были получены следующие 5 перспективных регрессионных моделей с векторами факторов $\bar{X}=(X_1, X_2, \dots, X_{10})$, входящими в уравнение регрессии:

1. Модель 1m715. Вектор факторов $\bar{X}=(1,1,0,1,0,0,1,1,0,1)$.

2. Модель 2m707. Вектор факторов $\bar{X}=(1,1,0,0,0,1,1,0,1)$.
3. Модель 3m725. Вектор факторов $\bar{X}=(1,0,1,0,1,0,1,1,0,1)$.
4. Модель 4m693. Вектор факторов $\bar{X}=(1,0,1,0,1,1,0,1,0,1)$.
5. Модель 5m723. Вектор факторов $\bar{X}=(1,1,0,0,1,0,1,1,0,1)$.

Эти модели не обеспечивали заданной точности предсказания ϵ . Модели 1m715, 2m707 и 5m723 являлись адекватными по F-критерию Фишера.

Методом фильтрующих ограничений для каждой модели при заданном критерии точности были получены минимальные наборы аномальных наблюдений.

Полученные данные были сведены в таблицу отбора аномальных наблюдений (табл. 3), в которой приводится информация о том, какие наблюдения были признаны аномальными по различным регрессионным моделям при заданном критерии точности ϵ , и проводятся заключения об аномальности наблюдений. В итоге было получено, что аномальными наблюдениями являются наблюдения №1, №96, №97, №99, №100 и №102. Объекты с наиболее завышенным потреблением тепла следующие:

- 1) №96 — Медгородок, объект №1 по энергопаспорту;
- 2) №97 — Медгородок, корпус 5, Диагностический центр;
- 3) №99 — Медгородок, корпус 6 (терапевтический) и переход;
- 4) №100 — Черкаскульский психоневрологический интернат;
- 5) №102 — с. Новопокровка, ясли-сад.

Необходимо отметить, что признание аномальности наблюдений по многим моделям осуществлялось с учетом нескольких групп минимальных наборов аномальных наблюдений для отдельных моделей по правилу: если для наблюдения в таблице отбора аномальных наблюдений стоит более 50% знаков "+", то наблюдение считается аномальным.

Таблица 3

Таблица отбора аномальных наблюдений

Номера наблюдений	Являются ли наблюдения аномальными при критерии точности $\epsilon=0,25$? (да — "+"; нет — "-")						Итого
	Регрессионные модели						
	1m715	2m707	3m725	4m693	5m723		
1	+	+	+	+	+	+	+
26	-	-	-	-	+	-	-
96	+	+	-	-	-	+	+
97	+	+	+	+	+	+	+
99	+	+	+	+	+	+	+
100	+	+	+	+	+	+	+
102	+	+	-	+	-	+	+

Исключение из расчетов моделей минимальных наборов аномальных наблюдений приводит к достижению заданной точности предсказания теплопотребления моделями и улучшению статистических показателей моделей.

При построении оптимального плана проведения энергосберегающих мероприятий были получены следующие результаты: предварительный анализ данных о теплопотреблении 249 объектов показал, что на 27 объектах необходимо безусловно проводить дополнительные энергетические обследования, дальнейший автоматизированный анализ позволил выявить дополнительно минимальный набор из 5 объектов с аномальными данными, которые подлежат энергетическому обследованию.

Для сравнительной оценки эффективности предложенной методики оптимизации был составлен план проведения энергосберегающих мероприятий на основе существующего статистического подхода определения объектов с худшими (завышенными) показателями потребления ресурсов.

Существующий статистический подход выявления аномальных наблюдений основан на выявлении объектов с экстремальными значениями показателей (то есть самыми высокими и низкими значениями удельных показателей потребления ресурсов). Подобный метод обнаружения аномальных данных реализован в компьютерной системе "Эксперт-энерго" (Чувашская Республика), выявляющей районы региона с худшими энергоэкономическими показателями объектов ЖКХ, на территории которых необходимо проводить подробные энергетические обследования.

Поиск объектов с аномальным потреблением, на основе существующего статистического подхода, производился следующим образом:

1. По методу перебора возможных регрессий были обнаружены 5 лучших регрессионных модели, имеющих наибольшие величины F-критерия Фишера.

2. Модели были доведены до заданной точности предсказания теплопотребления объектов ϵ путем исключения из расчетов моделей объектов с наиболее заниженными и завышенными значениями удельного показателя.

3. Наблюдения считались аномальными, если они были признаны таковыми по более 50% моделей.

В результате, по пяти моделям были обнаружены аномальные наблюдения с номерами №1, №97, №98, №99, №100, №101, №102, №103, №104, №105, №106, №107, из них 11 наблюдений — это следующие объекты с завышенным потреблением тепла:

- 1) №97 — Медгородок, корпус 5, Диагностический центр;
- 2) №98 — г. Аша, Центр социальной помощи;
- 3) №99 — Медгородок, корпус 6 (терапевтический) и переход;
- 4) №100 — Черкаскульский психоневрологический интернат;
- 5) №101 — Санаторий "Степные зори", лечебный корпус №3;
- 6) №102 — с. Новопокровка, ясли-сад;
- 7) №103 — с. Александровка, ФАП, мед. здание;
- 8) №104 — п. Соломат. 8-летняя школа;
- 9) №105 — с. Толсмы, медпункт;

10) №106 — Санаторий “Степные зори”, жилой дом №26;

11) №107 — п. Салалит, детский сад.

Таким образом, применение известных статистических подходов к выявлению аномальных данных позволило определить набор из 11 объектов, который в два раза превышает минимальный набор, полученный на основе разработанной методики, что показывает ее эффективность.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В диссертационной работе дано решение актуальной научно-технической задачи совершенствования механизма регионального управления процессами энергосбережения в организациях бюджетной сферы, заключающейся в автоматизации управления, позволяющей снизить затраты на проведение энергетических обследований организаций, увеличить эффективность обработки данных энергетических паспортов и повысить энергетическую эффективность объектов бюджетной сферы. Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие основные выводы и получить конкретные результаты:

1. Для достижения экономии бюджетных средств, направляемых на оплату потребления ресурсов, целесообразно создание на уровне региона автоматизированной системы управления энергосбережением, реализующей следующие функции:

- ведение энергетических паспортов организаций;
- обработку данных энергетических паспортов;
- расчет лимитов бюджетного финансирования;
- оптимизацию планов энергетических обследований.

2. Наиболее трудоемкими работами, существенно определяющими себестоимость энергетической паспортизации, являются работы по проведению контрольных энергетических обследований. Поэтому в качестве критерия оптимизации работ по энергетической паспортизации предложен критерий снижения числа контрольных энергетических обследований, проводимых для проверки аномальных данных, предоставленных организациями.

3. Поставлена и решена задача выявления в информационной базе данных энергетических паспортов минимального набора аномальных данных, позволяющего минимизировать число контрольных энергетических обследований. Алгоритм нахождения минимального набора аномальных данных основывается на двух решающих процессах:

- выявление альтернативных наборов аномальных данных на основе метода уменьшения остаточной дисперсии;
- комбинаторного поиска оптимального набора данных методом фильтрующих ограничений.

4. Разработано программное обеспечение задачи энергетической паспортизации организаций, реализующее следующие функции:

- ведение базы данных и расчет характеристик объектов по потреблению тепловой и электрической энергии, горячей и холодной воды;

- оптимизацию планов энергетических обследований;
- расчет лимитов потребления энергетических ресурсов организаций.

5. Внедрение программного обеспечения задачи энергетической паспортизации для объектов бюджетной сферы, на примере Челябинской области, наряду с общим экономическим эффектом от экономии бюджетных средств (до 20%) позволило сократить число контрольных энергетических обследований в группе организаций со спорными данными до 50%.

Основные положения и результаты работы отражены в следующих публикациях:

1. Энергосбережение — опыт АУЖКХ треста 42/Л. С. Казаринов, В. Ф. Постаушкин, С. Т. Касюк и др.; Под ред. А. Г. Шафигулина. — Челябинск: Изд-во “Приоритет”, 1999. — 121 с.

2. Касюк С. Т. Автоматизация расчета топливно-энергетического баланса региона//Информационно-измерительные и управляющие системы и устройства: Тем. сб. научн. тр. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. — С. 94 — 95.

3. Казаринов Л. С., Касюк С. Т. Автоматизация ведения энергетических паспортов объектов бюджетной сферы//Энергосбережение в промышленности и городском хозяйстве: Сборник тезисов докладов научно-практической конференции (14 — 15 июня). — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. — С. 23 — 24.

4. Казаринов Л. С., Касюк С. Т. Автоматизация ведения энергетических паспортов организаций, финансируемых их областного и местных бюджетов//Энергосбережение на промышленных предприятиях: Материалы второй международной научно-технической конференции/Под общей редакцией Б. И. Заславца. — Магнитогорск, 2000. — С. 236 — 238.

5. Белавкин И. В., Касюк С. Т. Об энергетической паспортизации бюджетных организаций//Автоматизация и управление в технических системах: Тем. сб. научн. тр. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. — С. 31 — 33.

6. Казаринов Л. С., Касюк С. Т. Метод выявления недостоверной информации при энергетической паспортизации организаций//Автоматизация и управление в технических системах: Тем. сб. научн. тр. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. — С. 71 — 75.

7. Моделирование теплового режима зданий/ В. Ф. Постаушкин, С. Т. Касюк, Д. А. Шнайдер, П. В. Калинин//Системы автоматического управления: Тем. сб. научн. тр. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. — С. 66 — 73.

8. Касюк С. Т. Методика расчетов лимитов потребления энергетических ресурсов и воды бюджетных организаций // Автоматизация и управление в технических системах: Тем. сб. научн. тр. — Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2000. — С. 66 — 70.

КЗ