**Ахметова Ирина Гареевна. Система комплексной оценки и повышения эффективности централизованного теплоснабжения ЖКХ и промышленных предприятий: диссертация ... доктора Технических наук: 05.14.04 / Ахметова Ирина Гареевна;[Место защиты: ФГБОУ ВО Казанский государственный энергетический университет], 2017.- 374 с.**

Федеpальное госудаpственное бюджетное обpазовательное учpеждение

высшего обpазования «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАPСТВЕННЫЙ ЭНЕPГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕPСИТЕТ»

*На правах рукописи*



**Ахметова Иpина Гаpеевна**

**СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ПОВЫШЕНИЯ**

**ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО**

**ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖКХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ**

**ПРЕДПРИЯТИЙ**

Специальность 05.14.04 - Пpомышленная теплоэнеpгетика

Диссеpтация на соискание ученой степени доктоpа технических наук

Научный консультант

Чичиpова Наталия Дмитpиевна,

доктоp химических наук, пpофессоp

**Казань - 2017**

2

**Оглавление**

**ВВЕДЕНИЕ**  5

**1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ  
ТЕПЛОСНАБЖАЮЩИХ ОРГАНИЗАЦИЙ**  17

1. Нормативно-правовая база проведения энергетических обследований 17
2. Особенности и проблемы энергообследования теплоснабжающих организаций 22
3. Потенциал энергосбережения системы теплоснабжения 26
4. Оценка надежности системы теплоснабжения 28
5. Расчет радиуса эффективного теплоснабжения 29
6. Определение тепловых потерь при транспорте теплоносителя 30

1.3. Выводы по главе 1……………………………………………………... 33

**2. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**  34

2.1. Современное состояние проблемы надежности теплоснабжения….. 34

1. Надежность тепловых сетей …………………………………….. 34
2. Прогнозирование надежности тепловых сетей ……………… 38
3. Моделирование надежности тепловых сетей … 39

2.2. Расчетные исследования надежности систем теплоснабжения 45

1. Определение надежности в соответствии с Приказом Министерства регионального развития РФ от 26.07.2013 №310 46
2. Определение надежности в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 16.05.2014 №452 …. 60
3. Определение комплексной надежности системы теплоснабжения предприятий Республики Татарстан 64
4. Разработка критериев оценки эффективности централизованного теплоснабжения 66
5. Применение метода SAW для сравнительного анализа надежности систем теплоснабжения предприятий Республики Татарстан 66

2.3. Расчетные исследования определения надежности тепловых сетей  
теплоснабжающей организации АО «Казэнерго» (г. Казань) 78

1. Определение факторов, неучтенных в существующей методике 79
2. Оценка влияния дополнительных факторов на интенсивность отказов элементов тепловой сети 81
3. Методика расчета показателей надежности теплоснабжения потребителей 90
4. Программа расчета показателей надежности тепловых сетей 97
5. Модули класса (Class Modules) 97
6. Стандартные модули (Modules) 100

2.3.5. Расчет показателей надежности тепловых сетей от котельной  
мощностью 4,8 Гкал/ч 112

**з**

1. Ввод исходных данных 114
2. Результаты расчета 114

2.4. Выводы по главе 2…… ………………………………………. 129

**3. PАЗPАБОТКА МЕТОДИКИ ОПPЕДЕЛЕНИЯ НОPМАТИВОВ  
ТЕПЛОВЫХ ПОТЕPЬ**……… …… …………….. 132

3.1. Современные подходы к определению тепловых потерь……….…… 132

1. Недостатки существующих методик ……………………….………. 132
2. Обзор методов определения тепловых потерь………………….….. 140
3. Определение нормативных тепловых потерь…………………….. 142
4. Определение тепловых потерь по экспериментальным данным... 144
5. Определение тепловых потерь по приборам учета……….… 147
6. Определение тепловых потерь по теплотехническому расчету… 148

3.2. Экспериментальная часть…………………………………………….... 152

3.2.1. Методика проведения испытаний на определение тепловых  
потерь в надземных и подземных трубопроводах тепловой сети

г.Казани …… 152

1. Анализ материальных характеристик тепловых сетей и выбор участков для испытаний 157
2. Расчет параметров испытаний 164
3. Подготовка сети к испытаниям 164
4. Подготовка измерительной аппаратуры 165
5. Проведение тепловых испытаний на участках тепловых сетей

г. Казани 166

1. Обработка результатов испытаний 167
2. Оценка и использование результатов определения тепловых

потерь 173

3.2.9. Выводы по результатам тепловых испытаний 181

1. Математическое моделирование процесса определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии теплоносителя 183
2. Выводы по главе 3……………………………………………………… 201

**4. НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА  
ЭНЕPГОСБЕPЕЖЕНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**.... 202

4.1. Теоpетические основы потенциала энеpгосбеpежения в 202  
теплоэнеpгетике…………………………………………………………….

1. Анализ показателей энеpгоемкости pазличных стpан…………….. 202
2. Понятие потенциала энеpгосбеpежения…………………………….. 204
3. Законодательные аспекты определения потенциала энергосбережения …………………. 208
4. Особенности определения потенциала энергосбережения при энергетическом обследовании....…………………………………………... 211

4.2. Разработка методики определения потенциала энергосбережения  
теплоснабжающих организаций.………………………………..………….. 213  
4.2.1. Нормативные значения коэфициентов уравнения регрессии 216

4

1. Расчетные исследования потенциала энергосбережения теплоснабжающих организаций Республики Татарстан………………….. 218
2. Выводы по главе 4……… ……………………………………… 226

**5. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОГО РАДИУСА СИСТЕМ** 227  
**ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**.……… ……….

1. Обзор методов определения радиуса эффективного теплоснабжения 227
2. Метод альтернативной котельной 236
3. Расчет радиуса эффективного теплоснабжения на основании сравнительного анализа себестоимости тепловой энергии в точках сброса и сравнение капитальных затрат на подключение…….. 246
4. Определение радиуса эффективного теплоснабжения для 248 источников с некомбинированной выработкой (на примере г. Казани). 255
5. Определение радиуса эффективного теплоснабжения для источников с комбинированной выработкой (на примере г. Казани)….. 5.3. Выводы по главе 5……………………..………………………………. 259

**6. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ  
АО «КАЗЭНЕРГО» (г. КАЗАНЬ) С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ**  261

1. Конструктивные особенности схемы теплоснабжения Казани 261
2. Оценка надежности и эффективности системы теплоснабжения АО «Казэнерго» 270
3. Обоснование мероприятий по переключению источников теплоснабжения на основе использования нового метода оценки эффективного радиуса теплоснабжения 276
4. Энеpгосбеpегающие pешения для системы водоподготовки АО «Казэнерго» 282
5. Оценка величины экономического эффекта……………………….… 287
6. Выводы по главе 6 289

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**……………………………………………..…………..…. 290

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**  296

**СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ**  332

**ПРИЛОЖЕНИЯ**…… ………………………………………………… 333

5

**ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы исследования** определяется необходимостью  
повышения энергоэффективности теплоснабжающих организаций как одного  
из главных факторов развития отрасли теплоснабжения. Проблемам  
энергосбережения, снижения энергоемкости и повышения

энергоэффективности отечественного производственного комплекса

уделяется много внимания, о чем свидетельствует принятие федеральных и региональных нормативных актов в области энергосбережения. Россия занимает первое место в мире по развитию теплофикации, протяженности тепловых сетей, затратам топлива в системах централизованного теплоснабжения. Однако именно в сфере теплоэнергетики сложилась неблагоприятная ситуация с инвестированием, с темпами замены выработавшего свой ресурс оборудования. Большая энергоѐмкость теплоэнергетического хозяйства оказывает значительное влияние на показатели высокой энергозатратности отечественной экономики. Сфера теплоснабжения – социально значимая отрасль: платежи за тепло и горячую воду составляют большую часть в структуре оплаты коммунальных услуг.

Наряду с барьерами законодательного и информационного характера и  
«размытостью» стимулов, которые препятствуют внедрению

энергосберегающих проектов в разных секторах энергетики, в

теплоснабжении существуют специфические препятствия, обусловленные его сложной регионально децентрализованной структурой. Сектор теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения представлен сегодня в виде разрозненных систем, не имеющих, в отличие от других отраслей топливно-энергетического комплекса, единой технической, структурной, инвестиционной, экономической и организационной политики.

Тенденции развития систем теплоснабжения, описанные в

«Энергетической стратегии России на период 2030 года», подтверждают актуальность выбранной темы исследования, но в тоже время указывают на

6

недостаток современных технологий и механизмов энергосбережения в теплоснабжении.

Степень научной разработанности проблемы. За рубежом вопросам  
энергоэффективности и энергосбережения посвящено большое количество  
монографических работ и статей. Среди них следует отметить научные  
исследования H. Jensen, L. Podofillini, B. Sudret, B. Stojadinovic, E. Zio,  
W. Kröger, [P. Wang,](http://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?searchWithin=%22Authors%22:.QT.Peng%20Wang.QT.&newsearch=true) F.C. Leite, D. Cicone Jr., L.C. Ribeiro Galvão, M.E. Morales  
и др., раскрывающих содержание и цели политики энергосбережения. В  
работах представителей всемирно известных научных школ в области  
энергосбережения предложены определения термина «потенциал

энергосбережения», методы расчета теоретического, технологического и экономического потенциалов энергосбережения: A. Pears (RMIT University, Melbourne Australia), J. Sweeney and J. Weyant (Stanford University, USA), I. Rohmund and G. Wikler (Consolidated Edison Company of New York), J.A «Skip» Laitner, S. Nadel, R.N. Elliott, H. Sachs, A.S. Khan (American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington), J. Forsström, P. Lahti, E. Pursiheimo, M. Rämä, J. Shemeikka, K. Sipilä, P. Tuominen, I. Wahlgren (Technical Research Centre of Finland), H.Ch. Granade, J. Creyts, A. Derkach, Ph. Farese, S. Nyquist, K. Ostrowski (Mckinsey&Company, USA).

Значительный вклад в разработку теоретических и практических аспектов энергосбережения в нашей стране внесли российские ученые Н.И. Данилов, А.А. Злобин, Е.П. Кузнецов, В.Н. Курятов, А.П. Мальцев, Г.А. Романов, Е.Я. Соколов, А.А. Троицкий, Я.М. Щелоков. Концепции энергосбережения и методические аспекты их применения, в том числе и в промышленной теплоэнергетике, нашли широкое отражение в работах Г. Асланяна, В. Беренса, Г. Бирмана, Д. Вольфберга, П. Хавранека, С. Шмидта, И.А. Башмакова, В.В. Бухмирова, Ю.В. Ванькова, Е.Г. Гашо, В.С. Ежова, Д.Г. Закирова, В.Б. Зотова, В.А. Мунца, Ю.Е. Николаева, Е.Ф. Перфиловой, Д.Г. Родионова, A.C. Садыкова, В.Г. Семенова, В.В. Сергеева, A.B. Талонова, Э.Б. Хижа, Л.H. Чернышова, В.И. Шарапова, Г.Р. Яруллиной и др.

7

Для оценки энергоэффективности деятельности предприятия

применяется множество методик. В трудах зарубежных авторов разработаны  
многокритериальные модели определения надежности и эффективности  
деятельности организаций (S. Greco, B. Matarazzo, R. Slowinski, K.J. Arrow,  
C.L. Hwang, K. Yoon, A. Kaklauskas, N. Kvederyte, E.K. Zavadskas,

S.Jakučionis, L.Ustinovičius, Т. Saaty).

Вопросами анализа потерь через теплоизоляционные конструкции  
трубопроводов при передаче теплоносителя занимались исследователи: H.H.  
Арефьев, С.А. Байбаков, Н.В. Букаров, В.В. Василенко, В.П. Витальев, B.Л.  
Гудзюк, Г.В. Иванов, В.В. Иванов, Г.В. Кузнецов, Л.И. Мунябин, Г.П.  
Петраков, В.Ю. Половников, А.Н. Рондель, В.Г. Семенов, Л.В. Ставрицкая,  
B.C. Слепченок, Г.Х. Умеркин, Е.В. Шомов, C.B. Черныш, В.Г. Хромченков,  
H.H. Шаповалов, A.B. Шишкин, Б.М. Шойхет, А. Dalla Rosa, H. Li, S.  
Svendsen, D. Eriksson и др. При разработке новой методики определения  
нормативных потерь в тепловых сетях были использованы работы  
зарубежных специалистов: J. Sirchis, M.M. Rathore, R.A. Kapuno,

J.H. Lienhard V, J.H. Lienhard IV, D. Taler, J. Tokarczyk, W.G. Anderson, S. Tamanna, C. Tarau, J.R. Hartenstine, A. Faghri.

Методические инструменты в области определения оптимального радиуса действия централизованных систем теплоснабжения представлены в работах Е.Я. Соколова, В.Н. Папушкина, В.С. Пузакова, В.Г. Семенова, В.А. Степаненко, Е.П. Шубина.

Методология проведения энергетических обследований рассмотрена в научных трудах российских ученых: О.Н. Будадина, А.Г. Вакулко, Е.А. Ларина, В.В. Литвака, С.А. Михайлова, А.И. Потапова, Т.Е. Троицкого-Маркова и др.

Анализ работ российских специалистов-исследователей и их коллег из-  
за рубежа по организации энергосбережения, по повышению  
энергоэффективности предприятий показал, что используемые в настоящее  
время инструменты и механизмы энергетического обследования не

8

позволяют вырабатывать и реализовывать научно-обоснованные

рекомендации по повышению энергосбережения и снижает показатели эффективности промышленных систем теплоснабжения, как одного из важных условий обеспечения их надежности и конкурентоспособности.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы  
является научное обоснование и разработка взаимосогласованных

методических подходов и методик для решения задачи комплексной оценки энергоэффективности теплоснабжающих организаций. Для достижения данной цели были определены следующие задачи:

1. Определение особенностей и проблем энергообследования  
теплоснабжающих организаций.

2. Создание алгоритма и программы расчета надежности системы  
теплоснабжения и отдельных участков тепловой сети.

1. Разработка методологии определения нормативных технологических потерь при передаче тепловой энергии теплоносителя.
2. Проведение расчетных исследований потенциала энергосбережения теплоснабжающих организаций на основе анализа отечественных и зарубежных разработок.

5. Формирование методических подходов к установлению  
результирующего радиуса эффективного теплоснабжения с использованием  
показателей деятельности промышленных теплоэнергетических систем.

1. Поиск энергосберегающих решений в процессах водоподготовки теплоносителя объектов промышленной теплоэнергетики.
2. Проведение комплексной оценки предприятий тепловых сетей на основе сформированных методик определения надежности системы теплоснабжения, технологических потерь теплоносителя, потенциала энергосбережения и радиуса эффективного теплоснабжения.

9

**Научная новизна исследования:**

1. Разработана научно обоснованная комплексная система анализа  
деятельности промышленных теплоэнергетических предприятий,  
обеспечивающая сбережение энергетических ресурсов и уменьшение  
энергетических затрат на единицу продукции, включающая новые методики  
определения надежности системы теплоснабжения, технологических потерь  
теплоносителя, потенциала энергосбережения и радиуса эффективного  
теплоснабжения.

2. Создан алгоритм и программа расчета надежности системы  
теплоснабжения и отдельных участков тепловой сети, которая наряду с  
протяженностью, диаметром и сроком эксплуатации трубопровода  
(утвержденными в существующей методике) учитывает дополнительные  
факторы, влияющие на интенсивность отказов элементов тепловой сети:  
остаточная толщина металла стенок трубопровода, наличие  
предшествующих порывов на участке, коррозионная активность грунта,  
наличие затопление канала, наличие пересечения с коммуникациями.  
Показано влияние дополнительных факторов на надежность элементов  
тепловой сети на примере г. Казани.

3. Разработан метод определения нормативных технологических потерь  
при передаче тепловой энергии теплоносителя, приближенный к  
фактическому значению за счет ввода нового поправочного коэффициента,  
учитывающего вид тепловой изоляции (минеральная вата, базальт,  
пенополиуретан, тилит).

4. Предложен новый подход к понятию «потенциал  
энергосбережения», сформулирована методика, позволяющая производить  
расчет потенциала энергосбережения для предприятий, вырабатывающих  
тепловую энергию в режиме некомбинированной выработки.

5. Сформирована методика определения результирующего радиуса  
эффективного теплоснабжения, впервые учитывающая такие показатели  
деятельности промышленного теплоэнергетического предприятия, как доля

10

себестоимости тепловой энергии, приходящейся на выработку; удельные затраты на электроэнергию в составе себестоимости на тепловую энергию при ее передаче; удельные затраты на потери теплоносителя и тепловой энергии в составе себестоимости на тепловую энергию при ее передаче и тариф на тепловую энергию.

**Теоретическая значимость работы** заключается в том, что  
полученные результаты исследований позволили сформулировать новые  
методические подходы при проведении комплексной оценки

теплоснабжающих организаций, обеспечивающие сбережение

энергетических ресурсов и уменьшение энергетических затрат на единицу продукции.

**Практическая значимость работы.**

1. Проведено энергетическое обследование АО «Казэнерго» с  
использованием новых методик определения надежности системы  
теплоснабжения, технологических потерь теплоносителя, потенциала  
энергосбережения и радиуса эффективного теплоснабжения.

2. Предложено введение в существующую методику определения  
надежности ряда факторов (остаточная толщина металла стенок  
трубопровода, наличие предшествующих порывов на участке, коррозионная  
активность грунта, наличие затопление канала, наличие пересечения с  
коммуникациями), оказывающих влияние на надежность работы тепловой  
сети. Созданный алгоритм и программа расчета надежности ранжирует  
участки тепловой сети, оптимизируя график ремонтных работ.

3. Определение нормативных значений технологических потерь при  
передаче тепловой энергии теплоносителя позволяет прогнозировать вид  
тепловой изоляции при прокладке трубопроводов. Сопоставление  
нормативных тепловых потерь с фактическими значениями обосновывает  
результативность проведения работ по улучшению тепловых сетей с заменой  
трубопроводов или их изоляции.

11

4. Разработана методика оценки потенциала энергосбережения с целью  
оценки размера возможного снижения потребления энергетических ресурсов,  
которая может стать объективным инструментом формирования программы  
энергосбережения предприятия.

5. Представлен вариант расчета радиуса эффективного  
теплоснабжения, который является инструментом технико-экономического  
обоснования перспективного источника тепловой энергии для новых  
потребителей. В отличие от существующих методик он включает показатели,  
имеющиеся в свободном доступе для проведения расчетов: доля  
себестоимости тепловой энергии, приходящейся на выработку; удельные  
затраты на электроэнергию в составе себестоимости на тепловую энергию  
при ее передаче; удельные затраты на потери теплоносителя и тепловой  
энергии в составе себестоимости на тепловую энергию при ее передаче и  
тариф на тепловую энергию. По результатам проведения энергетического  
обследования АО «Казэнерго» был проведен расчет радиусов эффективности  
теплоснабжения котельных г. Казани. По результатам расчетов принято  
решение об объединении ряда котельных, а также переключения нескольких  
котельных на источник с комбинированной выработкой (ТЭЦ).

6. Предложена схема обработки воды коагулянтом на основе  
нефелинового концентрата, который может полностью заменить стадию  
предварительной очистки воды для тепловых сетей, с последующим  
снижением нагрузки на Na-катионитный фильтр.

7. Отдельные положения работы используются в учебном процессе  
ФГБОУ ВО «КГЭУ» при проведении занятий по дисциплинам «Проблемы  
энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике, теплотехнике и  
теплотехнологии», «Надежность установок и систем теплоснабжения»,  
«Энергетическое обследование и паспортизация объектов энергетики»,  
«Водоснабжение и водоотведение предприятий и объектов ЖКХ».

**Методология и методы исследования.** В процессе исследования применялись методы математического моделирования, математической

12

статистики, экспертных оценок, регрессионного анализа, прогнозирования. Эмпирическую базу исследования составили статистические и отчетные информационные данные, материалы, характеризующие производственно-хозяйственную деятельность теплоснабжающих организаций Республики Татарстан и Ульяновской области, экспертные заключения, законодательные акты и другие нормативно-правовые документы.

**На защиту выносятся:**

1. Алгоритм и программа расчета надежности системы теплоснабжения  
и отдельных участков тепловой сети, учитывающая дополнительные  
факторы, влияющие на интенсивность отказов элементов тепловой сети:  
остаточная толщина металла стенок трубопровода, наличие  
предшествующих порывов на участке, коррозионная активность грунта,  
наличие затопление канала, наличие пересечения с коммуникациями.

2. Метод определения нормативных технологических потерь при  
передаче тепловой энергии теплоносителя, приближенный к фактическому  
значению за счет ввода нового поправочного коэффициента, учитывающего  
вид тепловой изоляции (минеральная вата, базальт, пенополиуретан, тилит).

3. Методика оценки и результаты расчетных исследований потенциала  
энергосбережения для предприятий, вырабатывающих тепловую энергию в  
режиме некомбинированной выработки.

4. Методика, устанавливающая параметры результирующего радиуса  
эффективного теплоснабжения с использованием новых критериальных  
показателей деятельности промышленных теплоэнергетических систем: доля  
себестоимости тепловой энергии, приходящейся на выработку; удельные  
затраты на электроэнергию в составе себестоимости на тепловую энергию  
при ее передаче; удельные затраты на потери теплоносителя и тепловой  
энергии в составе себестоимости на тепловую энергию при ее передаче и  
тариф на тепловую энергию.

5. Комплексная система анализа деятельности промышленных  
теплоэнергетических предприятий, обеспечивающая сбережение

13

энергетических ресурсов и уменьшение энергетических затрат на единицу продукции, включающая новые методики определения надежности системы теплоснабжения, технологических потерь теплоносителя, потенциала энергосбережения и радиуса эффективного теплоснабжения.

**Область исследования.** Работа выполнена в соответствии с паспортом специальности 05.14.04. – «Промышленная теплоэнергетика».

**Объект исследования** – источники тепловой энергии и тепловые сети.

**Предметом исследования** являются методы расчета надежности  
систем теплоснабжения и участков тепловых сетей при проведении  
энергетических обследовании и разработке схем теплоснабжения

муниципальных образований; количественные значения нормативных  
тепловых потерь и методы их расчета; оценка потенциала энергосбережения  
и прогноз его реализации в теплоснабжающих организациях;

результирующий радиус эффективного теплоснабжения для решения задач  
по оптимизации зон действия источников централизованного

теплоснабжения; система водоподготовки теплоснабжающей организации.

**Практическая реализация результатов работы.**

1. Разработанные методики оценки потенциала энергосбережения,  
определения надежности организации, расчет нормативных потерь  
используются при определении и реализации стратегии развития на  
долгосрочную перспективу, тарифном планировании теплоснабжающей  
компании АО «Казэнерго», г. Казань (*Акт о внедрении результатов  
диссертации*).

2. Полученная методика оценки потенциала энергосбережения  
теплоснабжающих организаций с целью определения размера возможного  
снижения показателей потребления энергоресурсов одобрена Министерством  
промышленности и торговли Республики Татарстан, Министерством  
энергетики и ЖКХ Ульяновской области (*Акты об использовании  
результатов диссертации*).

14

3. Предложенная методика расчета радиуса эффективного  
теплоснабжения использовалась при работе над актуализацией схемы  
теплоснабжения Казани на период 2018-2035 гг. (*Акт об использовании  
результатов диссертации*), Схемы теплоснабжения Осиновского сельского  
поселения Зеленодольского муниципального образования Республики  
Татарстан до 2035 года (*Акт об использовании результатов диссертации*).

1. Разработанная методика проведения энергоаудита применялась при энергетическом обследовании АО «Казэнерго» (*Акт об использовании результатов диссертации*).
2. Предложение о целесообразности применения нового коагулянта на основе нефелинового концентрата подтверждено исследованиями цеха водоподготовки АО «Казэнерго» (*Акт об использовании результатов диссертации*).
3. Результаты работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» при чтении лекции по дисциплинам «Проблемы энерго- и ресурсосбережения в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологии», «Надежность установок и систем теплоснабжения», «Энергетическое обследование и паспортизация объектов энергетики», «Водоснабжение и водоотведение предприятий и объектов ЖКХ» (*Акт об использовании результатов диссертации*).

7. Основные результаты исследования были получены в рамках  
реализации следующих научно-исследовательских и хоздоговорных работ:

- госзадание №13.6994.2017/БЧ на выполнение проекта по теме  
«Разработка методологии определения надежности системы теплоснабжения  
с целью повышения энергоэффективности» Министерства образования и  
науки РФ;

- государственный контракт № 12/0412.0923400.244/02/248 от  
18.12.2013 г. с Министерством энергетики РФ «Обучение ответственных за  
энергосбережение и повышение энергетической эффективности лиц в

15

организациях и учреждениях бюджетной сферы в Приволжском федеральном округе»;

- договор на разработку схемы теплоснабжения города Казани до  
2029 г. (Приказ Министерства энергетики РФ от 13.03.2015 г. №130),  
заказчик МКУ «Комитет ЖКХ Исполнительного комитета муниципального  
образования г. Казани»;

* договор на проведение энергетического обследования и разработку энергетического паспорта ОАО «Казэнерго» от 22.05.2015 №248, заказчик ОАО «Казэнерго»;
* договор на оказание услуг по определению фактических тепловых потерь, расчету и экспертизе нормативных тепловых потерь в тепловых сетях АО «Казэнерго» № ОМ-13/17 от 05.06.2017 г.

- договор на разработку схемы теплоснабжения Осиновского сельского  
поселения Зеленодольского муниципального района Республики Татарстан  
до 2035 года.

**Личное участие автора** заключается в постановке проблемы, а также  
определении целей и задач, выборе методологической и информационной  
базы, разработке методик оценки потенциала энергосбережения, надежности  
системы теплоснабжения и участков тепловых сетей, определения радиуса  
эффективного теплоснабжения, величины нормативных потерь; проведения  
экспериментальных исследований по доказательству эффективности  
коагулянта на основе нефелинового концентрата, проведения

энергетического обследования предприятий и разработке схем

теплоснабжения муниципальных образований.

**Апробация работы.** Результаты исследования были представлены на  
Межрегиональной научно-практической конференции энергетиков

«Повышение энергоэффективности производителей и потребителей энергии, промышленных предприятий, ЖКХ и бюджетной сферы. Надежность энергоснабжения, новые разработки. Опыт энергосбережения регионов РФ» (Пермь, 2017), II Международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг» (Челябинск, 2016), 16-й Международном симпозиуме

16

«Энергоресурсоэффективность и энергосбережение» (Казань, 2016),

Национальном конгрессе по энергетике (Казань, 2014), Международной  
научно-технической конференции имени Леонардо да Винчи (Берлин, 2013),  
Всероссийской конференции с международным участием «Современные  
методы обеспечения эффективности и надежности в энергетике» (Санкт-  
Петербург, 2012-2013), VI Международной школы-семинара  
«Энергосбережение – теория и практика» (Москва, 2012), Международной  
научно-практической конференции «Электрические аппараты и  
электротехнические комплексы и системы» (Ульяновск, 2012), VII  
Международной научной конференции «Актуальные достижения  
европейской науки» (Болгария, София, 2011), Международной конференции  
«Физико-химический анализ жидкофазных систем» (г. Саратов, 2003),  
Всероссийской научно-методической конференции «Реализация  
государственных образовательных стандартов» (г. Нижний Новгород, 2002),  
XIV Международной конференции по химической термодинамике (г. Санкт-  
Петербург, 2002), Российском национальном симпозиуме по энергетике  
(г. Казань, 2001) и др., а также опубликованы в журналах Промышленная  
энергетика, Тепловые электрические станции, Надежность и безопасность  
энергетики, Энергосбережение и водоподготовка, Тепловые электрические  
станции, Энергетика Татарстана, Труды Академэнерго, Новости  
теплоснабжения, Известия высших учебных заведений. Проблемы  
энергетики и др.

**Публикации**. По теме исследования опубликовано более 60 работ, отражающих основные положения исследования, в том числе 3 монографии, 29 публикации в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 4 патента и свидетельства. Общий объем публикаций составляет 82,42 п.л.

**Структура и содержание исследования.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка использованных источников из 329 наименований. Основной текст работы изложен на 331 странице, включая 73 таблицы, 48 рисунков.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ Итоги выполненного исследования**

1. В настоящее время Россия занимает третье место в мире по масштабам энергопотребления и при этом тратит больше энергии на единицу валового внутреннего продукта (ВВП), чем любая из стран, входящих в десятку крупнейших потребителей энергии.

Объем неэффективного использования энергии в России равен годовому потреблению первичной энергии во Франции.

Российский центр по эффективному использованию энергии провел исследование, которое подтвердило, что самый большой потенциал повышения энергоэффективности в России существует в жилищном секторе. Наибольшая часть потенциальной экономии энергии может быть достигнута в результате мер по повышению энергоэффективности в системах отопления и горячего водоснабжения.

Энергоемкость систем отопления гораздо выше даже таких стран как  
Норвегия, Дания, Финляндия, с которыми Россия находится

приблизительно в одной климатической зоне.

Энергоэффективность в теплоснабжении является одним из приоритетных направлений государственной политики. В настоящее время 44 % вырабатываемой тепловой энергии в мире производится в России. Однако именно в сфере теплоэнергетики сложилась неблагоприятная ситуация с инвестированием, с темпами замены оборудования.

Обобщение мирового опыта по разработке теоретических основ энергосбережения в энергетике и промышленности показало, что наиболее проблемными вопросами в области энергетического обследования предприятий являются отсутствие унифицированной методики и программы расчета надежности системы теплоснабжения и отдельных

291

участков тепловой сети; методологии определения технологических  
потерь при передаче тепловой энергии теплоносителя, учитывающей вид  
тепловой изоляции; единых расчетных исследований потенциала  
энергосбережения; отсутствие методических подходов к установлению  
параметров результирующего радиуса эффективного теплоснабжения.  
Решение данных задач позволило разработать научно обоснованную  
комплексную методологию анализа деятельности промышленных

теплоэнергетических систем, обеспечивающую сбережение энергетических ресурсов и уменьшение энергетических затрат на единицу продукции.

2. В настоящее время существуют две нормативные методики, регламентирующие порядок определения показателя надежности системы теплоснабжения [324-325]. В работе обоснованы недостатки методик, установленные федеральным законодательством.

Для определения надежности промышленных теплоэнергетических систем был применен метод SAW (Simple Additive Weighing). Был сформирован набор индикаторов и определены коэфициенты значимости с помощью метода экспертных оценок. Были получены комплексные показатели надежности систем теплоснабжения предприятий Республики Татарстан. Преимуществом данного метода является то, что он позволяет прогнозировать и моделировать комплексный показатель надежности системы теплоснабжения и сравнивать его с наилучшими аналогами.

Для оценки надежности участков тепловой сети создан алгоритм и программа расчета, учитывающие дополнительные факторы, влияющие на интенсивность отказов элементов тепловой сети: остаточная толщина металла стенок трубопровода, наличие других (предшествующих) порывов на участке, коррозионная активность грунта, наличие затопления (следов затопления) канала, наличие пересечений с коммуникациями.

292

На основании статистических данных о порывах на различных участках тепловых сетей города Казани был произведен анализ влияния на надежность тепловых сетей данных факторов.

В результате исследований были определены интенсивность отказов запорно-регулирующей арматуры, параметры потока отказов элементов ТС, параметры потока отказов участков ТС, среднее время до восстановления участков ТС, интенсивность восстановления элементов ТС, стационарная вероятность рабочего состояния сети, вероятность состояния сети, соответствующая отказу элемента, коэффициент готовности к обеспечению расчетного теплоснабжения, вероятность безотказного теплоснабжения. На основании этой модели была разработана компьютерная программа, алгоритм которой реализован на платформе ООП Visual Basic for Application (VBA).

Данная методика позволяет более объективно оценивать надежность системы теплоснабжения по участкам тепловой сети.

3. Существующая методика определения нормативов

технологических потерь не позволяет учитывать особенности современных  
изоляционных материалов, а также оценивать эффект от замены  
устаревшей теплоизоляции на современную. С целью определения  
величины фактических тепловых потерь на разных участках

трубопроводов тепловой сети с различными видами тепловой изоляции  
были проведены испытания тепловых сетей АО «Казэнерго» (г. Казань).  
Сравнивая полученные значения с величиной нормативных потерь этих же  
участков, рассчитанных по существующей методике, получили

поправочный коэффициент, учитывающий вид тепловой изоляции. Разработанная методология является усовершенствованной методикой определения нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии теплоносителя, поскольку результат нормативных потерь оказался

293

более приближенным к их фактическому значению за счет ввода новых поправочных коэффициентов, учитывающих вид тепловой изоляции.

4. На основе анализа отечественных и зарубежных разработок  
обосновано понятие потенциала энергосбережения, проведены расчетные  
исследования данного показателя на примере восьми предприятий  
тепловых сетей Республики Татарстан. Для определения показателя  
потенциала энергосбережения предложено использование метода  
корреляционно-регрессионного анализа статистических данных. Были  
выбраны нормативные значения расхода топлива, электроэнергии, воды,  
тепловых потерь в сетях, соответствующие наилучшим образцам техники и  
технологии, применяемым в отрасли. Потенциал энергосбережения каждого  
предприятия был определен как разница между фактическими и  
нормативными показателями, переведен в денежное выражение и выражен  
через долю в себестоимости тепловой энергии. Полученные численные  
значения потенциала энергосбережения позволяют судить об оценке  
максимально возможного снижения потребления энергоресурсов  
организации при достижении нормативных показателей  
энергоэффективности.

5. Проведены исследования по формированию методических  
подходов к установлению параметров результирующего радиуса  
эффективного теплоснабжения с использованием критериальных  
показателей деятельности промышленных теплоэнергетических систем.  
Для определения радиуса эффективности действующей котельной были  
определены доли себестоимости на выработку и передачу тепловой  
энергии, определение капитальных вложений для подключения нового  
потребителя. Результат был сопоставлен со значениями, полученными с  
ранее известными методиками. Предложенная методика позволяет  
определять эффективный радиус централизованного теплоснабжения от

294

источников тепловой энергии, при проведении энергоаудита с минимальными трудозатратами и необходимой точностью.

6. На основе проведенных исследований сформирована система комплексной оценки и повышения эффективности централизованного теплоснабжения ЖКХ и промышленных предприятий. Новая система включает в себя:

- Алгоритм и программу расчета надежности системы  
теплоснабжения и отдельных участков тепловой сети, учитывающую  
дополнительные факторы, влияющие на интенсивность отказов элементов  
тепловой сети.

- Методологию определения нормативных технологических потерь  
при передаче тепловой энергии теплоносителя, более приближенную к их  
фактическому значению за счет ввода новых поправочных коэффициентов,  
учитывающих вид тепловой изоляции.

- Методику, позволяющую производить расчет потенциала  
энергосбережения для предприятий, вырабатывающих тепловую энергию в  
режиме некомбинированной выработки.

- Методику аналитического характера, устанавливающую параметры  
результирующего радиуса эффективного теплоснабжения с  
использованием новых критериальных показателей деятельности  
промышленных теплоэнергетических систем.

Результаты энергетического обследования с использованием новой  
системы комплексной оценки, выполненные на базе АО «Казэнерго»  
подтвердили, что внедрение результатов диссертационного исследования  
способствовали повышению эффективности централизованного

теплоснабжения ЖКХ и промышленных предприятий. Суммарный годовой экономический эффект для предприятия составил 8,26 млн. рублей (акт о внедрении результатов диссертации). Снижение себестоимости тепловой энергии (тарифа) - 3,6%, Снижение энергоемкости

295

для промышленных предприятий - потребителей тепловой энергии - до 10 % (в зависимости от объема выпуска продукции)

**Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы исследования диссертационной работы**

Направления исследований диссертационной работы будут

продолжены при выполнении госзадания №13.6994.2017/БЧ на

выполнение проекта по теме «Разработка методологии определения  
надежности системы теплоснабжения с целью повышения

энергоэффективности» Министерства образования и науки РФ (до 2020 г.).

Методические подходы, предложенные в работе лягут в основу разработки геоинформационной системы тепловых сетей Республики Татарстан в рамках актуализации схемы теплоснабжения г. Казани.

Опыт проведения энергетического обследования системы

теплоснабжения Казани будет использован при проведении

энергетического обследования объектов ГУП РК «Черноморнефтегаз» с разработкой Энергетического паспорта и Программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

С 2018 года определение нормативных значений тепловых потерь на предприятии АО «Казэнерго» будет осуществляться по методике, описанной в 3 главе данной диссертационной работы.

296

**Список литературы**

1. Данилов Н.И. Основы энергосбережения: учебник / Н.И. Данилов, Я.М. Щелоков; под общ.ред. Н.И. Данилова. – 2-е изд., доп. и перераб. – Екатеринбург: Изд. дом «Автограф», 2010. – 528 с.
2. Троицкий А.А. Энергоэффективность как фактор влияния на экономику, бизнес, организацию энергоснабжения / А.А. Троицкий // Электрические станции. – 2005. – № 1. – С. 11–16.

3. Щелоков Я.М. Энергетический анализ хозяйственной  
деятельности: учеб.-метод. изд. / Я.М. Щелоков. – Екатеринбург: УрФУ,  
2010. – 390 с.

1. Требования к энергетическому паспорту, составленному по результатам энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации: Утв. приказом Минэнерго России от 19 апреля 2010 года № 182 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://аудитэнергосервис.рф> / (дата обращения: 02.02.2016).
2. Курятов В.Н. Потенциал энергосбережения и его практическая реализация / В.Н. Курятов, А.П. Мальцев, А.А. Злобин, Г.А. Романов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http//[www.promti.ru/trub/b06/203/index.html](http://www.promti.ru/trub/b06/203/index.html) (дата обращения: 02.02.2016).
3. Holger Jensen. Analysis of energy saving potentials in selected EU countries based on a sectorial best-practise approach / H. Jensen // Analyse, nr. 14. 2014.