

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОУ ВПО ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Гавей Ольга Фёдоровна

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ И УПРАВЛЕНИЕ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ СИСТЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Специальность 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами»

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
проф., д.т.н. Панферов В.И.

Челябинск
2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ТЕМЕ И ВЫБОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	9
Выводы по главе 1.....	37
ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПРОЕКТНО-РАСЧЕТНЫМИ МЕТОДАМИ.....	38
2.1 Расчёт эффективности различных температур теплоносителя для жилого здания.....	38
2.1.1. Определение нагрузок на отопление при различных условиях.....	39
2.1.2. Расчёт количества секций для отопительных приборов.....	41
2.1.3. Гидравлический расчет вариантов сетей теплоснабжения.....	43
2.1.4. Оценка тепловых потерь сетей теплоснабжения.....	46
2.2 Поиск оптимальной температуры с точки зрения минимизации тепловых потерь при транспортировке.....	48
Выводы по главе 2.....	59
ГЛАВА 3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ СНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ.....	60
3.1 Оценка необходимой степени увеличения расхода теплоносителя и диаметра теплопроводов.....	61
3.2 Оценка изменения удельных потерь давления в зависимости от температуры теплоносителя.....	67
3.3 Оценка изменения плотности теплового потока при изменении температуры теплоносителя.....	70
3.4 Управление расходом теплоносителя при изменении его температуры.....	73

Выводы по главе 3.....	77
ГЛАВА 4. ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ И РАСХОДОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ.....	78
4.1 Задача оптимального управления температурой и расходом теплоносителя без учета характеристик теплопотребляющего объекта .	78
4.2 Задача оптимального управления температурой и расходом теплоносителя с учетом характеристик теплопотребляющего объекта .	91
4.3 Описание программного комплекса по вычислению оптимальных температуры и расхода теплоносителя в системах теплоснабжения.....	96
4.4 Управление теплоснабжением объекта по разработанной процедуре с ее адаптацией на основе экспериментальных данных.....	97
4.4.1. Набор экспериментальных данных для расчёта.....	97
4.4.2. Алгоритм идентификации произведения параметров KF.....	100
4.4.3. Построение оптимальных температурного графика и расхода теплоносителя	101
4.5. Работа системы теплоснабжения объекта при реализации оптимального управления температурой и расходом	104
4.6 Оценка экономической эффективности оптимального управления теплоснабжением АБК ККЦ ОАО "ММК".....	106
Выводы по главе 4.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	120
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	132

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в работе систем управления централизованным теплоснабжением на базе теплофикации возникли определенные сложности. Помимо разрегулированности сетей, огромного количества утечек теплоносителя и тепловых потерь при транспортировке, актуальна проблема несоответствия фактических и проектных температурных параметров теплоносителя.

Приведение фактических температурных графиков регулирования процесса теплоснабжения к их проектным значениям является зачастую невыполнимой задачей ввиду отсутствия технической возможности на источниках выработки теплоты. Энергосберегающая политика последних лет, повышение цен на топливо, устаревшее оборудование также вызывают снижение параметров теплоносителя. Анализ сложившейся ситуации в полной мере проведен специалистами: Гагариным В.Г., Гершковичем В.Ф., Казариновым Л.С., Ливчаком И.Ф., Родионовым В.Г., Табунщиковым Ю.А., Хавановым П.П., Чистовичем С.А., Шараповым В.И. и др.

Приняв во внимание все влияющие аспекты, большинство исследователей сходятся во мнении, что характерный для середины прошлого столетия высокотемпературный график регулирования процесса теплоснабжения «150-70°C» в современных условиях уже не является актуальным. В связи с этим возрастает интерес к применению низкотемпературных параметров теплоносителя: «105-70°C», «95-70 °C» и даже «70-50 °C».

По оценкам специалистов [44, 46, 63, 80] такие параметры теплоносителя могут быть применимы для современных систем, однако необходимо разрабатывать новые алгоритмы регулирования тепловой нагрузки, обосновывать выбор параметров для каждого конкретного случая, проводить адаптацию всех структурных частей систем теплоснабжения, которые были спроектированы для высоких параметров теплоносителя.

На сегодняшний день известны наработки по регулированию систем теплоснабжения с низкотемпературными параметрами теплоносителя, а также

некоторые исследования, показывающие их преимущество перед высокотемпературными [16, 63, 80]. Однако до сих пор отсутствуют исследования, регламентирующие выбор параметров теплоносителя для конкретных условий. Методики регулирования тепловой нагрузки при использовании низкотемпературных графиков разработаны в основном для новых тепловых сетей, спроектированных для новых параметров. Основными рекомендациями для управления старыми тепловыми сетями являются: замена теплопроводов с увеличением их диаметров, установка автоматизированных тепловых пунктов для стабилизации температурных и гидравлических режимов, повышение теплозащитных свойств ограждений объектов-потребителей. Однако, на практике эти мероприятия зачастую не проводятся, т.к. либо являются весьма затратными, либо недостаточными для достижения запланированного эффекта.

В связи с этим назревает необходимость поиска таких температурных параметров теплоносителя, при которых было бы возможно осуществлять эффективное (как с точки зрения экономичности, так и с точки зрения обеспечения комфортных условий) управление системами теплоснабжения в условиях устаревших тепловых сетей и оборудования, которые были спроектированы для параметров «150-70°C». Также необходимо разработать методы регулирования данных параметров.

Вышеизложенное позволяет сформулировать основную цель диссертационной работы: сокращение затрат энергоресурсов при управлении процессом теплоснабжения и удовлетворительное обеспечение потребителей теплом путём выбора оптимальных температурных параметров и их регулирования в системе теплоснабжения.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- 1) анализ современного состояния изучаемой задачи и основных тенденций, характерных для настоящего времени;
- 2) анализ эффективности применяемых в настоящее время температурных графиков регулирования процесса теплоснабжения с точки зрения

- обеспечения комфортных условий у потребителей и уменьшения затрат тепловой и электрической энергии при транспортировке теплоносителя;
- 3) разработка алгоритмов управления гидравлическим режимом системы теплоснабжения при изменении (снижении) температуры теплоносителя;
 - 4) разработка алгоритмов оптимального управления процессом теплоснабжения с целью минимизации затрат электрической энергии и тепловых потерь при транспортировке теплоносителя.

В первой главе представлен обзор современного состояния систем теплоснабжения в России, основные проблемы в управлении и причины их проблемного состояния, а также краткий обзор состояния централизованного теплоснабжения в странах Европы. Рассмотрены основные методы регулирования тепловой нагрузки и автоматизации систем теплоснабжения. На примере промышленного предприятия показаны последствия перевода систем теплоснабжения с высокотемпературных параметров регулирования на низкотемпературные.

Научная новизна работы состоит в следующем:

- 1) определена эффективность низкотемпературного теплоснабжения, его достоинства и недостатки по сравнению с высокотемпературным процессом;
- 2) получены зависимости, указывающие, как следует изменить характеристики системы теплоснабжения (диаметры теплопроводов, расходы теплоносителя) при изменении (снижении) температуры теплоносителя;
- 3) решена задача оптимального управления температурой и расходом теплоносителя, при которых наименьшими будут тепловые потери при транспортировке и расход электрической энергии на перекачку;
- 4) разработана методика расчета оптимального управления температурой и расходом теплоносителя для конкретных условий.

На защиту выносятся следующие положения:

- 1) результаты анализа эффективности применяемых в настоящее время температурных графиков регулирования процесса теплоснабжения;
- 2) алгоритмы управления гидравлическим режимом системы теплоснабжения при изменении (снижении) температуры теплоносителя;
- 3) алгоритмы оптимального управления температурой и расходом теплоносителя с целью минимизации затрат электрической энергии и тепловых потерь при транспортировке теплоносителя;
- 4) рекомендации по расчету оптимального управления температурой и расходом теплоносителя для конкретных условий.

Практическая ценность работы состоит в том, что полученные результаты могут применяться как на стадии проектирования новых объектов, так и при реконструкции уже существующих систем теплоснабжения, либо для проверки эффективности их работы. Представленный способ управления тепловой нагрузкой можно использовать в качестве энергоэффективного мероприятия, что в условиях повсеместной экономии теплоэнергетических ресурсов является весьма актуальным. При грамотной организации работы тепловых станций и котельных, а также систем отопления и вентиляции в зданиях, регулирование тепловой нагрузки предложенным способом может привести не только к существенному экономическому эффекту, но и улучшить работу системы теплоснабжения с точки зрения создания комфортных условий у потребителей.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на четвертой международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции» (г. Москва, 2011 г), 13-й всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и специалистов (г. Магнитогорск, 2012 г), Международной научно-практической конференции «Архитектура. Строительство. Образование» (г. Магнитогорск, 2013 г), «Актуальные проблемы автоматизации и управления» (г. Челябинск, 2013 г), пятой международной научно-технической конференции "Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции" (г. Москва, 2013 г).

Основные положения диссертации отражены в 5 печатных статьях, рекомендуемых ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы из 119 наименований и приложений. Объем работы составляет 183 страницы.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ТЕМЕ И ВЫБОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ

Теплоснабжение – это система обеспечения теплом зданий и сооружений. Теплоснабжение бывает централизованным, когда источник тепла (теплофикация или центральная котельная) обеспечивает группу зданий и связан с ними транспортными сетями и приборами потребления, или местным (автономным), когда и потребитель и источник тепловой энергии (котел) находятся в одном помещении [1, 2, 3]. Традиционно сложилось так, что в России наиболее распространено централизованное теплоснабжение, а основным источником тепла является теплофикация – совместное производство тепловой и электрической энергии на Тепловых электрических станциях (ТЭС) или Теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Как известно, любая система теплоснабжения состоит из трех элементов: теплового источника, который вырабатывает тепло, тепловых сетей, по которым это тепло передается, и потребителей тепла [1, 2]. Одной из самых важных характеристик системы управления теплоснабжением является температурный график регулирования тепловой нагрузки.

Температурный график регулирования тепловой нагрузки в системах теплоснабжения – это зависимость температур теплоносителя в подающем и обратном теплопроводах от температуры наружного воздуха [16].

Параметры температурного графика регулирования тепловой нагрузки оказывают влияние на работу всей системы. В зависимости от температурного режима тепловой сети определяются уровни максимально и минимально допустимых напоров в теплопроводах, удельный расход сетевой воды на абонентскую установку, тепловые потери в тепловой сети, осуществляется подбор оборудования и т.д. Другими словами, температурные параметры регулирования определяют экономичность всей системы теплоснабжения, поэтому при разработке алгоритмов управления в системах теплоснабжения крайне важно грамотное построение температурного графика.

Температурный график регулирования систем теплоснабжения называется отопительным или нормальным, если он строится по отопительной нагрузке объекта. Если температурный график строится по суммарной нагрузке отопления и горячего водоснабжения, то в закрытой системе он называется повышенным графиком, а в открытой – скорректированным [17]. Особенности построения температурного графика регулирования тепловой нагрузки подробно рассмотрены в литературе [7, 16, 17, 18] и достаточно детально проанализированы некоторыми специалистами [19].

Как известно, тепловая нагрузка объектов не постоянна и меняется в зависимости от погодных условий, режимов работы оборудования, потребления горячей воды и т.п. [16]. Основным фактором, влияющим на изменение тепловой нагрузки в процессах теплоснабжения, является температура наружного воздуха [16, 17].

В результате регулирования температурных и гидравлических параметров систем теплоснабжения обеспечивается оптимальный или допустимый температурный режим отапливаемых помещений в зависимости от температуры наружного воздуха.

В советское время наибольшее применение получил способ центрального качественного регулирования тепловой нагрузки, при котором изменяется температура поступающей сетевой воды и остается неизменным ее расход [16]. Этот метод широко применяется в системах централизованного теплоснабжения и в наше время. Он обеспечивает наиболее благоприятные гидравлические режимы на всех участках теплотрассы и позволяет работать с малым давлением пара в водоподогревателях ТЭЦ, поэтому дает при теплофикации значительную экономию топлива [1, 2, 7, 16, 20, 21]. Однако для двухтрубных систем теплоснабжения, которые являются наиболее распространенными в нашей стране, существует ограничение по температуре прямого теплоносителя. Согласно санитарным нормам, она должна быть не ниже, чем 65 °С для обеспечения горячего водоснабжения. При качественном регулировании данное ограничение нередко приводит к так называемым «перетопам» в периоды межсезонья.

Количественное регулирование реализуется за счет изменения расхода теплоносителя в системе теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха [1, 2, 16, 20, 21].

Количественное регулирование чаще всего применяют при наладке систем теплоснабжения и отопления. Также этот метод регулирования широко применяется в небольших частных, общественных и производственных зданиях, где потребители имеют доступ к тепловому пункту и возможность уменьшить или увеличить отопительную нагрузку.

Количественное регулирование получило широкое применение в зарубежной практике теплоснабжения, в России оно нашло частичное использование при групповом и местном регулировании систем и отдельных приборов, но оно оказывает самое неблагоприятное воздействие на тепловые сети, нередко приводя к их разрегулировке.

В последние годы получил распространение комбинированный метод качественно-количественного регулирования [16, 20, 21, 22], который заключается в одновременном изменении и температуры и расхода теплоносителя.

Еще один способ регулирования тепловой нагрузки в теплый период отопительного сезона – регулирование временем натопа (или регулирование пропусками) – получил ограниченное применение из-за сложности реализации и недостаточной разработанности зависимостей, показывающих, через какое время начнет снижаться температура внутреннего воздуха [23, 24, 25, 26]. Специалисты занимались изучением данного вопроса еще с 30-х годов прошлого века [27]. Исследования по изучению температурного режима объекта при прерывистом отоплении актуальны и по сей день, поскольку при групповом и местном регулировании этот способ позволяет получать существенную экономию теплоты [22, 23].

Необходимо отметить, что, поскольку при проектировании тепловых сетей невозможно учесть все возможные факторы, влияющие на их работу, в последнее

время повышается значимость автоматизации управления процессами теплоснабжения в тепловых сетях и тепловых пунктах.

Применение систем автоматизации, т.е. использования регулирующих технических средств и математических методов в процессах теплоснабжения, началось в середине прошлого века. Сегодня вопросы автоматизации активно изучаются и развиваются, т.к. распределение и регулирование тепловой энергии между потребителями в соответствии с их потребностью является одним из основополагающих подходов энергосбережения [28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37]. Кроме того, автоматическое регулирование систем теплоснабжения и отопления способно устранить некоторые неточности и ошибки при проектировании объектов [29].

На первых этапах основной задачей автоматизации было поддержание постоянного расхода и температуры теплоносителя на вводе в тепловые пункты [31]. Однако позже наметилась тенденция управления отпуском теплоты не только на тепловом источнике и у потребителей, но и по пути к потребителю, т.е. на тепловых сетях.

Для регулирования температуры или расхода теплоносителя применяются автоматические регуляторы различного принципа действия и назначения. В тепловом пункте регулирование, как правило, производится с учётом изменения температуры наружного воздуха и называется регулированием «по возмущению». Регулирование теплоотдачи отопительного прибора производится с учётом температуры внутреннего воздуха и называется регулированием «по отклонению» [28].

На сегодняшний день широкое распространение получают автоматизированные модульные тепловые пункты, позволяющие осуществлять программируемое потребление тепла в зависимости от температуры наружного воздуха, а также поддерживать заданную циркуляцию в системе теплоснабжения здания [38]. При этом улучшается распределение тепловой нагрузки в сети, снижается расход энергоресурсов, управление системой теплоснабжения становится более простым.

Типовая схема автоматизированного теплового пункта для системы отопления с независимым присоединением системы горячего водоснабжения приведена на рис. 1.1. [39].

На рис. 1.1: ECL 210/310 – электронный регулятор, S1 и S2 – датчики температуры наружного и внутреннего воздуха соответственно, S3 и S4 – датчики температуры теплоносителя в подающем теплопроводе для контуров 1 и 2 соответственно, S5 и S6 – датчики температуры теплоносителя в обратном теплопроводе для контуров 1 и 2 соответственно, S7 – расходомер, P1 и P2 – циркуляционные насосы для контуров 2 и 1 соответственно, M1 и M2 – регулирующие клапаны для контуров 2 и 1 соответственно.

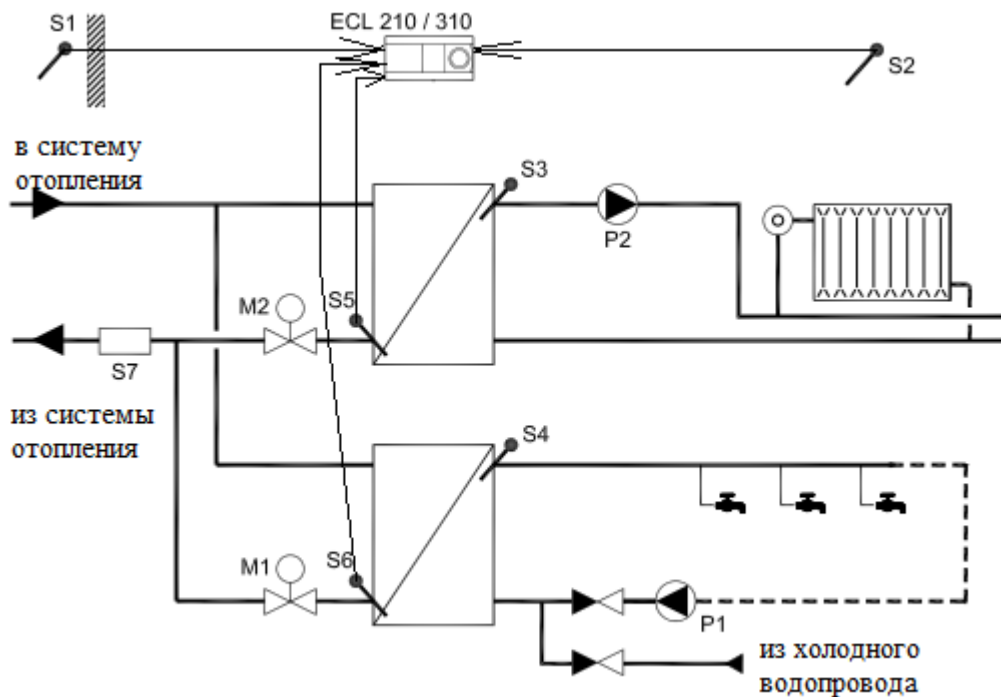


Рис. 1.1. Принципиальная схема автоматизированного теплового пункта системы отопления и ГВС, присоединенных по независимой схеме

На данной схеме первый контур – контур системы отопления, второй контур – контур системы горячего водоснабжения. Для системы отопления температура внутреннего воздуха задаётся потребителем, а температура теплоносителя в подающем теплопроводе системы отопления вычисляется в электронном регуляторе в зависимости от температуры наружного воздуха и заданной комнатной температуры. Регулирование температуры подающего

теплоносителя на отопление происходит при автоматическом открытии или закрытии клапана М2. Температура обратного теплоносителя также может быть ограничена. Если температура наружного воздуха достигает заданного значения, отопление может отключаться.

В системе горячего водоснабжения регулирование температуры горячей воды осуществляется при помощи клапана М1. Если заданная температура горячей воды не достигается, контур отопления постепенно закрывается для увеличения подачи тепловой энергии на контур горячего водоснабжения [39].

Несмотря на постоянные разработки в сфере автоматизации, в функционировании систем управления теплоснабжением имеется ряд существенных проблем, решить которые не всегда возможно известными методами. Например, мероприятия по автоматизации тепловых пунктов и сетей редко полностью устраняют разрегулированность системы и часто не перекрывают нехватку тепловой энергии. Тепловые потери и утечки теплоносителя также не сокращаются.

Для получения наиболее полного представления об уровне развития систем управления в централизованном теплоснабжении и для оценки их состояния в настоящее время, а также для поиска соответственных решений, целесообразно обратиться к истории.

В конце 19-ого и начале 20-ого веков отопление большинства зданий осуществлялось посредством отопительных печей, работавших на твердом (древесном) топливе [11], поэтому вопросам печного отопления уделялось большое внимание: конструировались новые типы печей, применялись новые виды топлива и т.п. Однако, попытки внедрения систем парового и водяного отопления предпринимались уже в начале 19-ого века. Так, в 1834 году академик П.Г. Соболевский предложил несколько конструкций систем водяного отопления [11]. Большой вклад в развитие водяного теплоснабжения также внёс В. М. Чаплин. Благодаря его разработкам, в начале 20-ого века в России уже использовались первые установки с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии [40].

Официально днем рождения теплофикации в нашей стране считается 1925 год. Первая теплофикационная система была построена в Санкт-Петербурге (бывший Ленинград) на базе 3-й Ленинградской электростанции [6, 11, 13, 15]. Присоединение теплосети к объектам теплоснабжения осуществлялось в основном по зависимой схеме, когда сетевая вода из тепловой сети поступала непосредственно в теплопотребляющие приборы. Регулировалась тепловая нагрузка качественным способом, т.е. изменением температуры теплоносителя в тепловых сетях [1, 2, 13, 15]. Температура воды в подающем трубопроводе достигала 100°C, доходя до 115 °C в периоды особенно низких температур.

Экономический эффект от централизованного теплоснабжения на базе теплофикации оказался весьма существенным, поэтому с 1931 года на государственном уровне было принято решение о дальнейшем развитии теплофикации и централизованного теплоснабжения [6, 10, 13, 14, 15].

В дальнейшем температуру теплоносителя удалось повысить, и в период до 50-х годов прошлого века преобладающим стал температурный график регулирования тепловой нагрузки «130-70°C».

В военное время большая часть теплоснабжающего оборудования была разрушена или демонтирована, но, с начала 50-х годов, в период восстановления и масштабного гражданского строительства, количество ТЭЦ начало стремительно расти [10].

К 1955 году повсеместно была достигнута температура подающей воды 150°C [1, 2, 6, 10, 13, 14, 15]. Был принят высокотемпературный график регулирования процесса теплоснабжения «150-70°C». Согласно данным работы [16], такой график принимался, исходя из технико-экономических расчетов, а позднее был регламентирован СНиП [41] как наиболее эффективный для качественного регулирования и стал расчетным при проектировании большинства отечественных систем управления теплоснабжением.

Выбор такого температурного графика регулирования тепловой нагрузки технико-экономически обосновывался тем, что при его использовании достигалась наибольшая величина выработки электроэнергии при

комбинированном способе. В зависимости от различных условий, на ТЭЦ применялся (и иногда применяется до сих пор) температурный график «150-70°С» со срезкой при 120, 130, 135 или 140 °С [16].

Как было отмечено выше, температурные параметры «150-70 °С» оставались наиболее распространенными при регулировании тепловой нагрузки вплоть до 90-х годов прошлого века.

Также в 60-80-е годы прошлого столетия в технической литературе обсуждался вопрос о переводе систем теплоснабжения на работу по температурному графику регулирования с повышенными параметрами [42, 43, 44, 45, 46].

В отдельных случаях при достаточном обосновании применялись температурные графики «180-70°С», а в проектах закладывались температуры теплоносителя «200-70°С».

Специалисты того времени считали, что применение высокотемпературных параметров регулирования в системах управления теплоснабжением позволяет повысить качество и надежность систем теплоснабжения в закрытых системах при независимых схемах присоединения абонентов. В этом случае система регулирования температуры теплоносителя по балансовому графику, учитывающему неравномерность суточного графика горячего водоснабжения, позволяла снизить затраты во внутриквартальные и транзитные сети, уменьшить площадь поверхности теплообменников и, следовательно, снизить затраты на абонентские вводы. При этом снижение комбинированной выработки электроэнергии на тепловом потреблении компенсировалось снижением капиталовложений в тепловые сети.

Высокотемпературные параметры регулирования процесса теплоснабжения с расчетными температурами воды в подающем теплопроводе 160, 170 и даже 210°С к тому времени широко применялось и в странах Европы, однако, только в системах, получающих тепло от районных котельных, т.к. теплофикация там была недостаточно развитой [44].

Вопросами изучения и исследования температурных графиков регулирования процессов теплоснабжения в советское время активно занимался профессор С. Ф. Копьев. В его трудах при помощи различных экономических расчетов доказывалось, что для наиболее эффективной работы систем управления централизованным теплоснабжением и для экономии затрат на энергетические ресурсы необходимо повышать параметры подающего теплоносителя вплоть до 240°C в зависимости от длины теплотрассы [47]. При этом С. Ф. Копьев при определении оптимальной расчетной температуры теплоносителя опирался на такой критерий оптимальности:

$$z_{ген} + z_c + z_a \rightarrow \min ,$$

где: $z_{ген}$ – удельные расчетные затраты на выработку тепловой энергии в системе теплоснабжения, z_c – удельные расчетные затраты на тепловые сети и транспортировку теплоносителя, z_a – удельные расчетные затраты на абонентские вводы.

Основными факторами, влияющими на значение искомой температуры, являлись: поверхность подогревателей, характеристики турбоагрегатов станции, расход сетевой воды, длина тепловых трасс и т.п.

Аналогичные результаты получались и у инженеров-современников С. Ф. Копьева, а именно: М. М. Пика, И. А. Смирнова и Р. Л. Ермакова [44], в трудах которых также обосновывалось, что график регулирования теплоснабжения «150-70°C» не является оптимальным, и что существует необходимость выбора температурного графика регулирования для каждого конкретного случая на основе технико-экономических расчетов.

Согласно расчетам советских инженеров, оптимальная температура теплоносителя в подающем теплопроводе зависит от таких факторов как климатические условия, расчетная тепловая нагрузка, доля нагрузки на горячее водоснабжение, состав основного оборудования ТЭЦ, количество пиковых котельных, диаметры и протяженность тепловых сетей, способ их прокладки, цена на топливо.

В трудах С. Ф. Копьева также подчеркивалось, что оптимальный перепад температур прямой и обратной сетевой воды должен находиться в пределах 60-80°C [43]. При этом, в его более ранних трудах говорилось [47], что основными составляющими расходов, которые должны учитываться при обосновании температурных параметров систем теплоснабжения, являются: амортизационные расходы, тепловые потери и затраты электрической энергии на перекачку теплоносителя.

Таким образом, результаты исследований советских специалистов в области температурных режимов систем теплоснабжения, указывают на то, что для каждой начальной условий необходимо выбирать отдельный температурный график регулирования. Для советских условий при стоимости топлива 20 руб/т.у.т наиболее выгодными температурными режимами были высокотемпературные, причём, чем больше протяженность тепловой сети, тем выше должна была быть температура теплоносителя (от 165°C и выше). Также предполагалось, что совместная работа нескольких источников тепла также может существенно повысить экономичность городских систем теплоснабжения [47].

Однако, теоретические исследования так и не нашли практического применения. Хотя в некоторых проектах систем теплоснабжения (Иркутск, Минск, Москва и т.п.) закладывались повышенные температуры теплоносителя в подающей магистрали (от 180 до 200°C на транзитных теплопроводах), на практике, чаще всего, в водяных тепловых сетях циркулировала вода с параметрами «150-70°C» [1, 2, 3, 7, 16, 44, 48, 49].

Это объяснялось тем, что для работы системы управления теплоснабжением с высокотемпературными параметрами необходимо обеспечить механическую прочность оборудования систем (теплопроводов, арматуры, насосов, отопительных приборов и т.п.). Затруднялось обеспечение надлежащих гидравлических условий работы сетей: для поддержания высокотемпературных параметров теплоносителя необходимо было разработать новые схемы теплоснабжения, разработать режимы регулирования водогрейных котлов и т.п. [44].

Кроме того, в системах управления теплоснабжением при зависимом присоединении абонентов применение высокотемпературного графика регулирования ограничивалось условиями безопасной эксплуатации теплового оборудования: существовала необходимость поддержания высокого давления сетевой воды во избежание ее вскипания.

Также, согласно информации [16], советским специалистам не удалось решить и такие проблемы как повышенные тепловые потери, перегрев помещений потребителей и т.п.

Не достаточно исследовано было и влияние повышения температуры сетевой воды в подающей магистрали тепловой сети на режим работы теплофикационного оборудования, а также на тепловую экономичность электрических станций. Например, согласно материалам [16], при повышении температуры теплоносителя до 180-200°C, необходимо ужесточить требования к качеству подпиточной воды, тем самым увеличив затраты на водоподготовку.

Необходимо также отметить, что исследования С. Ф. Копьева были ориентированы на низкую стоимость топлива (в его расчетах в качестве источника теплоснабжения рассматривались атомные электростанции), и под экономичностью систем управления теплоснабжением в этом случае понималось прежде всего снижение капиталовложений в строительство тепловых сетей, их эксплуатацию и пусконаладочные работы. [43].

Доля централизованного теплоснабжения на базе теплофикации в нашей стране достаточно высока и сегодня и составляет около 70 % [50, 51, 52, 53]. Основными потребителями тепла от ТЭЦ являются предприятия бюджетной сферы и жилищный фонд [52].

Теплофикация до настоящего времени является самым эффективным способом экономии топлива и оказывает минимальное негативное воздействие на окружающую среду [6, 8, 9, 10, 14, 15, 54].

Самое главное её преимущество перед автономными котельными заключается в более высоком КПД ТЭЦ. Основной принцип работы ТЭЦ состоит в том, что некоторая часть отработанного пара передает свою оставшуюся

энергию теплоносителю, необходимому для нужд теплоснабжения. При необходимости, теплоноситель догревается на пиковых котельных. Таким образом, получение горячей сетевой воды является в определенной степени побочным эффектом, поэтому получение теплоты в ТЭЦ наиболее экономично [1, 2, 4, 7]. Согласно [8], себестоимость тепловой энергии от ТЭЦ составляет 50-60 % от себестоимости тепловой энергии, вырабатываемой районной котельной посредством сжигания топлива.

Сторонники автономного теплоснабжения ссылаются на большую экономию капитальных затрат из-за отсутствия протяженных тепловых сетей, улучшение комфортных условий, возможное улучшение экологической обстановки из-за уменьшения выбросов от ТЭЦ и ТЭС, возможность местного регулирования [12, 55, 56, 57]. Автономные источники теплоснабжения, как правило, вырабатывают теплоноситель с низкотемпературными параметрами. Параметры теплоносителя от центральной, местной или внутридомовой котельной в подающем теплопроводе обычно колеблются в районе 80-95°C, что в первую очередь объясняется экономией топлива.

Однако, после реализации на некоторых объектах систем автономного теплоснабжения, были выявлены и такие недостатки, как наличие в жилых зданиях неотапливаемых зон, сложности в эксплуатации котельного оборудования, сложности в проектировании зданий, низкая эффективность котлов и повышенный расход топлива, разрегулировка сетей централизованного теплоснабжения, путаница в тарифах и т.п. [55].

Некоторые специалисты прогнозируют в ближайшее время по всему миру существенное повышение цен на природный газ, поэтому вероятно, что в будущем для энергетики предпочтительным станет твердое топливо. В этом случае управление системами децентрализованного теплоснабжения сильно затруднится, поскольку твердотопливные котлы по габаритным размерам больше газовых, а также более сложны в обслуживании. При этом возврат индивидуальных потребителей к централизации потребует огромных затрат [55, 58, 59].

Таким образом, всё больше специалистов склоняется к тому, что автономное теплоснабжение не должно полностью заменять централизованное и не должно быть ему альтернативой. Автономное теплоснабжение имеет ряд достоинств, но его выгоднее использовать в таких зданиях как частные дома, в некоторых общественных зданиях или зданиях, слишком удаленных от централизованного источника теплоты. Также при выборе необходимо учитывать и экологический фактор, ценовую политику и степень развития теплофикации в регионе [55].

В европейских странах системы централизованного теплоснабжения и теплофикация получили широкое развитие в 70-80х годах прошлого века. При этом учитывался опыт Советского союза в развитии теплофикации. Особенно широко теплофикация применяется по сей день в Финляндии, Дании, Румынии, Франции, Китае, Германии, Венгрии, Чехии, Хорватии, Болгарии, и т.д. [60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69]. Согласно статистическим данным, доля централизованного теплоснабжения в этих странах достигает 60-85 % [53, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69].

Основное отличие в управлении централизованным теплоснабжением Западной Европы от управления в отечественных системах состоит в том, что в 1970-80-е гг. в ряде европейских стран наметилась тенденция не к повышению, а к снижению температуры теплоносителя в подающей магистрали теплосети [16, 66, 67, 68, 70]. Такой подход позволил значительно снизить тепловые потери теплоносителя при транспортировке, что дало существенную экономию даже несмотря на необходимость увеличения расхода сетевой воды.

Главной особенностью зарубежных методов управления низкотемпературным теплоснабжением являлось постоянство температуры сетевой воды в подающем теплопроводе в течение всего отопительного сезона. Это достигалось путем полного оснащения отопительных приборов потребителей регуляторами температуры в целях осуществления местного количественного регулирования [16, 71, 72]. Центральное регулирование тепловой нагрузки осуществлялось количественным или реже качественно-количественным методом.

Как показывает опыт зарубежных стран, перевод систем управления процессами теплоснабжения на количественное и качественно-количественное регулирование тепловой нагрузки стал достаточно эффективным энергосберегающим мероприятием [16]. Известно, что принятые технические меры по энергосбережению на тепловых источниках, на сетях теплоснабжения и на объектах-потребителях позволили радикально снизить затраты топливно-энергетических ресурсов на управление теплоснабжением населенных пунктов и промышленных предприятий и, в то же время, повысить уровень комфортности жилых, общественных и производственных зданий.

В настоящее время температура сетевой воды в системах теплоснабжения России поддерживается значительно ниже расчетной. Обследование систем теплоснабжения ряда городов нашей страны показало, что иногда недогрев сетевой воды до расчетных значений (недотоп) может достигать 70°C . При работе теплоисточников с недотопом существенно снижается качество теплоснабжения, что вынуждает потребителей компенсировать некачественную работу систем теплоснабжения различными способами [16, 73, 74, 75, 76, 77, 78].

Специалисты видят несколько причин возникновения данной тенденции.

Поскольку Россия является самой большой по площади страной в мире с довольно суровым климатом, из-за низких температур наружного воздуха, тепловые потери при транспортировке теплоты, которые тем больше, чем выше разность температуры наружного воздуха и температуры теплоносителя, очень высоки [50]. Усугубляет ситуацию и то, что для транспортировки тепла потребителям зачастую используются теплотрассы большой протяженности и больших диаметров [52, 79, 80]. Известно, что потери тепла при транспортировке по магистральным и распределительным теплотрассам достигают 40 % и более [50, 52, 81].

Для предотвращения тепловых потерь необходимо применять в большом количестве качественную тепловую изоляцию теплопроводов. Однако, согласно источникам [82, 83, 84], ни один вид теплоизоляционных материалов, применяющихся сегодня для утепления теплопроводов, не является

оптимальным. Органическая теплоизоляция недолговечна, пожароопасна и химически нестабильна. Распространенные неорганические теплоизоляционные материалы, такие как минераловатные блоки, стекловолокно, обладают очень высоким влагопоглощением, а использование органического связующего резко снижает максимальную температуру их применения.

Отсутствие финансирования и тщательного контроля эксплуатации тепловых сетей привели к тому, что износ основного оборудования ТЭЦ и районных котельных на всей территории нашей страны по разным оценкам составляет 50-80 %. Средний износ тепловых сетей по России достигает 60-70 %, из них 25-30 % находятся в аварийном состоянии [50, 51, 52, 81]. Из-за плохого состояния тепловых сетей возникает большое количество аварий, в результате чего возрастают тепловые потери и разрегулированность систем.

Таким образом, огромное количество потерь теплоты и утечек теплоносителя, изношенность тепловых трасс, использование устаревшего оборудования привели к тому, что соблюдать проектные высокотемпературные параметры теплоносителя при управлении процессами теплоснабжения в настоящее время крайне сложно.

В качестве еще одной причины ухода от высокотемпературных параметров регулирования тепловой нагрузки можно отметить и проводимую сейчас энергосберегающую политику, направленную в первую очередь на ограничение потребления природного газа и повышение выработки электрической энергии [78], поэтому на некоторых предприятиях низкотемпературные параметры при регулировании тепловой нагрузки применяются, как вынужденная мера. Такая ситуация сложилась, например, на металлургическом предприятии ОАО «ММК», где большинство технологических объектов были спроектированы для высокотемпературных параметров регулирования «150-70°C».

На сегодняшний момент для большинства объектов промышленной площадки ОАО «ММК» принят температурный график регулирования «95-70°C». Согласно принятому графику, в диапазоне нагрузок от +8 до -21°C осуществляется местное количественное регулирование тепловой нагрузки.

Температура теплоносителя в подающем теплопроводе равна 80 °С. При этом анализ системы теплоснабжения специалистами [85] показал, что центральное количественное регулирование на предприятии не применяется ввиду возможности нарушения гидравлического режима и возникновения аварийных ситуаций. Таким образом, предполагалось, что регулирование тепловой нагрузки будет осуществляться непосредственно у потребителей при помощи автоматических регуляторов, автоматизированных модульных тепловых пунктов и т.п.

На рис. 1.2. приведена схема автоматизированного модульного теплового пункта ЛПЦ-10. Модульный тепловой пункт – это полностью законченное заводское изделие, которое позволяет регулировать температуру прямой и обратной воды в соответствии с температурным графиком, т.е. в зависимости от погодных условий. На пульте управления ПУ задается температурный график регулирования (в зависимости от температуры наружного воздуха). Установлен датчик температуры наружного воздуха dT , а также датчики давления в теплопроводах dP . Прямой и обратный магистральные трубопроводы соединены между собой перемычкой с установленным на ней регулирующим клапаном РУ2, который, в зависимости от температуры наружного воздуха, и в зависимости от заданных условий, открывается или закрывается для того, чтобы вода из обратного трубопровода поступала к прямому трубопроводу и смешивалась с подающей водой. Это обеспечивает понижение температуры обратной воды, в том случае, если она слишком высока и не соответствует заданным параметрам. Если температура обратной воды соответствует заданным параметрам, регулирующий клапан РУ2 закрывается и обратная вода поступает в обратную магистраль тепловой сети. Иногда приходится задавать степень открытия или закрытия клапанов вручную. На прямом теплопроводе также установлен регулирующий клапан РУ1, обеспечивающий оптимальный гидравлический режим в зависимости от показаний датчиков давления.

На рис. 1.2: ПУ – пульт управления, dT – датчик температуры наружного воздуха, dP – датчик давления на прямом и обратном теплопроводе, РУ1 и РУ2 –

регулирующие клапаны для прямого теплопровода и переключки, соединяющий прямой и обратный теплопровод соответственно.

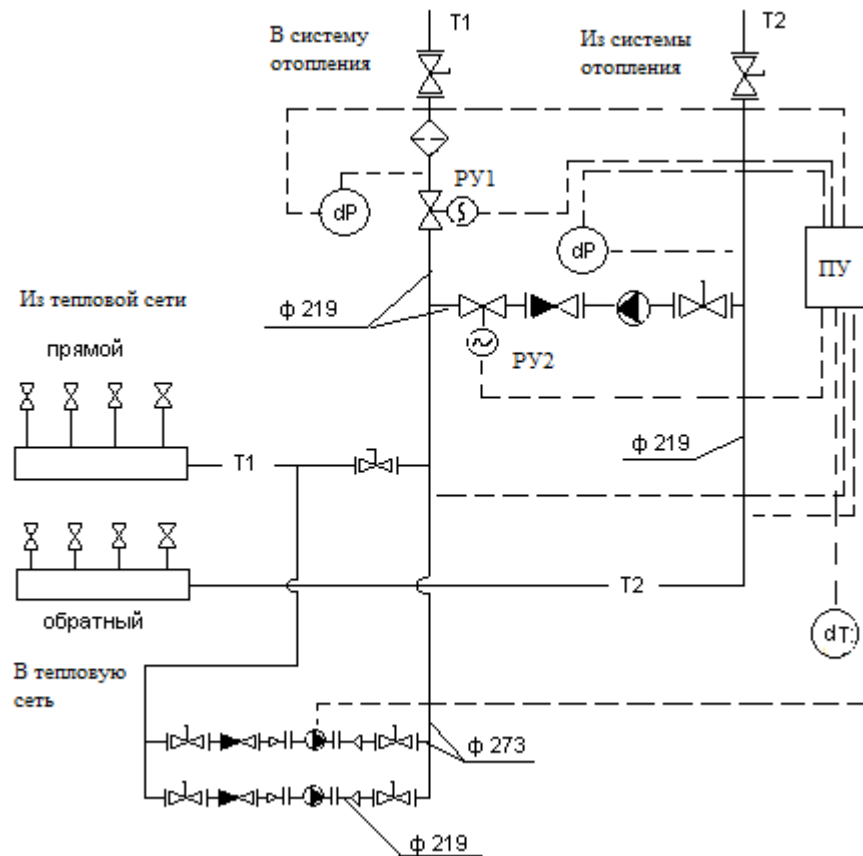


Рис. 1.2. Схема автоматизированного теплового пункта ЛПЦ-10 ОАО «ММК»

Основная проблема подобных тепловых пунктов, установленных в некоторых объектах ОАО «ММК» в том, что температурный график регулирования задан, как правило, не корректно, по двум точкам, контроллер запрограммирован без учета реальных условий, теплопотребляющее оборудование (калориферы, тепловые завесы, отопительные приборы) устарело и требует замены.

Наряду с мероприятиями по переводу систем теплоснабжения на низкотемпературные параметры на ОАО «ММК» (анализ выработки и потребления тепловой нагрузки, установка автоматизированных тепловых пунктов и т.п.), был так же проведен ряд мероприятий по экономии и уменьшению потребления тепловой нагрузки.

Так, при анализе статистических данных (рис. 1.3 и 1.4) ОАО «ММК» можно увидеть, как изменялись выработка тепла станциями и потребление тепла.

За период с 1996 по 2013 гг. потребление теплофикационной воды уменьшалось, несмотря на то, что возводились новые технологические объекты, и росла общая выработка продукции. Наиболее существенное падение потребления теплофикационной воды пришлось на период с 1996 по 2003 гг.

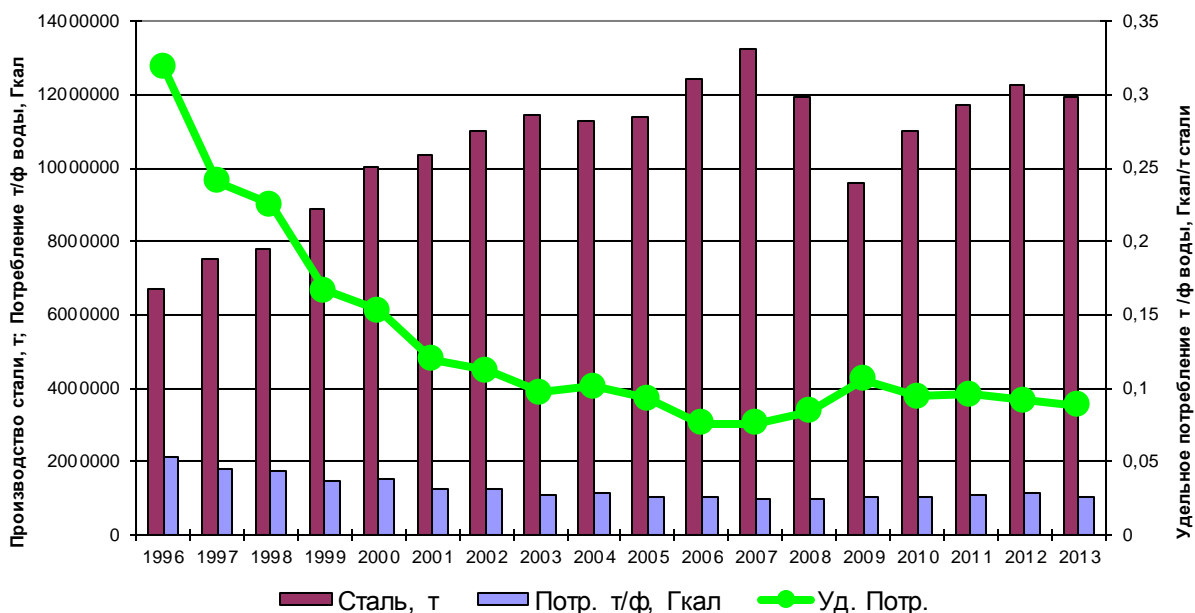


Рис. 1.3. Зависимости потребления теплофикационной воды от выработки стали на промплощадке ОАО «ММК»

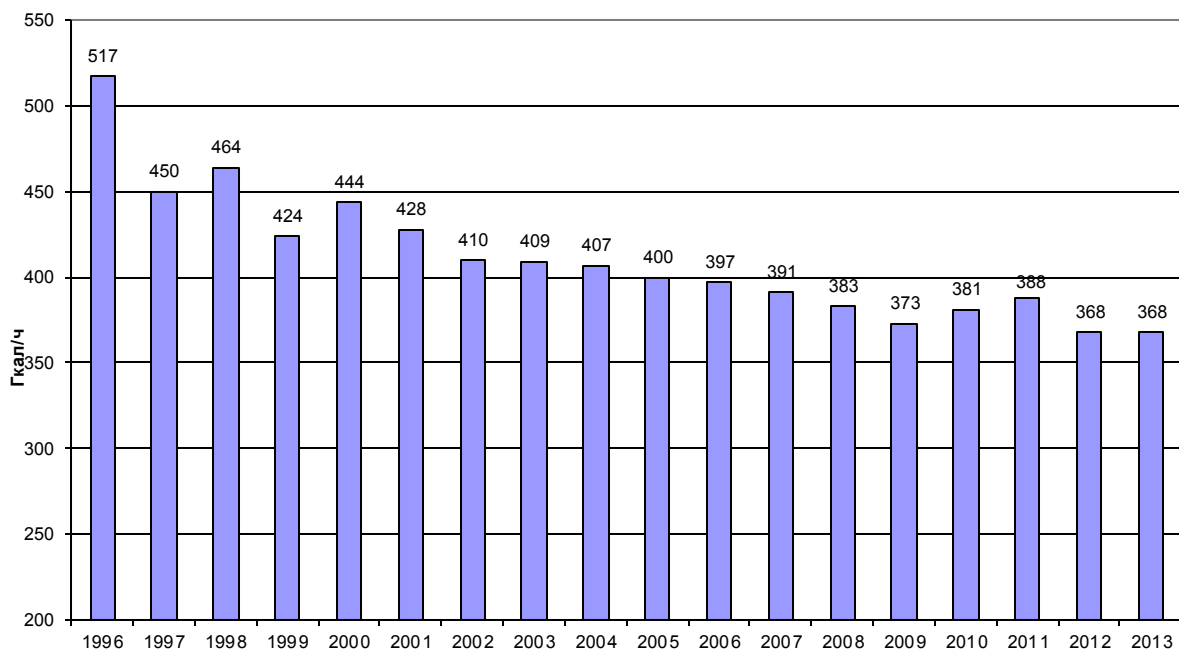


Рис. 1.4. Суммарный отпуск тепла станциями ОАО «ММК» на промплощадку и городу

Отпуск тепловой энергии на промплощадку и на нужды города также снижался. В таблице 1.1. представлены данные об отпуске тепловой энергии отдельным наиболее крупным потребителям.

Таблица 1.1. Отпуск тепловой энергии ОАО «ММК» потребителям

Потребитель	Отпуск теплоты, Гкал		% снижения
	2001 г	2013 г	
ЛПЦ-4	65 629	61 796	5,8
ККЦ	86 383	50 540	41,5
Цех покрытий	45 646	34 359	24,7
ЛПЦ-10	149 909	48 165	67,9
Город	2 310 517	2 023 340	12,4

Необходимо отметить, что значительное снижение потребления тепловой энергии на некоторых объектах (например, ККЦ и ЛПЦ-10) обосновано не только проведением энергосберегающих мероприятий, но и проблемами в теплоснабжении. При этом наиболее частой проблемой является низкий тепловой напор в системах отопления, вызванный, в основном, разрегулированностью систем теплоснабжения вследствие перехода на низкотемпературные параметры теплоносителя, а также износ оборудования. На некоторых объектах подобные проблемы не решены до сих пор.

Еще одна причина снижения потребления тепловой нагрузки – это невозможность системы теплоснабжения, спроектированной для высокотемпературных параметров регулирования тепловой нагрузки, переносить необходимое количество тепловой энергии с более низкими температурами. Этот факт означает, что в некоторых случаях мероприятий по энергосбережению, а также наладке и замене оборудования недостаточно, и потребители не получают тепло в полной мере. Например, хозяйственные службы г. Магнитогорска регулярно посылают запросы предприятию с просьбой повысить температуру теплоносителя в системах теплоснабжения.

Всё это говорит о том, что проблемы десятилетней давности по переводу систем теплоснабжения на низкотемпературные параметры частично не решены до сих пор.

На некоторых объектах предпринимаются попытки внедрения тепловых насосов, работающих за счёт низкопотенциальных источников энергии, но, в основном, такая тенденция оправдана для отдельно стоящих зданий, не подключенных к системам централизованного теплоснабжения [51, 52, 86, 87, 88, 89, 90]. Как правило, тепловые насосы не внедряют в районах с суровым климатом, опасаясь, что их тепловая мощность будет недостаточной для покрытия требуемых нагрузок теплоснабжения. Для работы тепловых насосов затрачивается существенное количество электроэнергии, поэтому тепловые насосы редко внедряются и в районах с недостаточно развитым электроснабжением.

Поскольку температура теплоносителя, который нагревается посредством теплового насоса, обычно невысокая, использование тепловых насосов является еще одним шагом к переходу на низкотемпературные параметры регулирования теплоснабжения.

Приведение параметров теплоносителя к проектным значениям является практически невыполнимой задачей. Для этого необходимо произвести замену всего устаревшего оборудования и компонентов тепловых сетей и поддерживать системы теплоснабжения в идеальном состоянии [52, 75]. Ввиду отсутствия средств и возможности тщательного контроля состояния систем теплоснабжения такое трудновыполнимо.

Кроме того, для повышения параметров теплоносителя необходимо увеличить потребление топлива. Увеличение количества используемого топлива приведет к росту тарифов на теплоснабжение, которые и без этого довольно высоки [52, 53, 91, 92]. Повышение тарифов, в свою очередь, может вызвать еще большее распространение децентрализованного теплоснабжения. В результате сети централизованного теплоснабжения потеряют часть тепловой нагрузки, что вызовет еще большую разрегулированность систем.

Высокотемпературные параметры регулирования теплоснабжения не выгодны также и потому, что в последнее время происходит существенный рост теплозащитных свойств зданий: разрабатываются новые виды теплоизоляционных конструкций, новые технологии в строительстве, практически повсеместное применение пластиковых стеклопакетов взамен деревянных рам и т.п.

Кроме того, при проектировании систем отопления до сих пор, согласно нормативам, учитывается расход теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха [28, 75, 93, 94, 95, 96, 97]. По действующему нормативу принято, что каждый час в помещение поступает 3 м^3 наружного воздуха. На практике такая инфильтрация возможна только при открытой форточке и только тогда, когда для остекления используются деревянные стандартные рамы и двойные стеклопакеты [75]. В итоге, в проектах принимают избыточную тепловую нагрузку, несмотря на довольно высокие теплозащитные свойства современных ограждающих конструкций.

Для удобства проведения анализа и для наглядности все перечисленные особенности были сведены в таблицу 1.2.

Таким образом, очевидно, что пониженные параметры регулирования в системах управления теплоснабжением являются характерной предпочтительной чертой современных систем Российского теплоснабжения. Однако, до сих пор окончательно не ясно: приемлемы ли низкотемпературные параметры регулирования процесса теплоснабжения для потребителей тепловой энергии? Приемлемы ли такие параметры с точки зрения управления системами теплоснабжения: выработки тепловой энергии и транспортировки теплоносителя? Какое влияние оказывают низкотемпературные параметры теплоносителя на работу систем теплоснабжения, спроектированных для высокотемпературных параметров? Существует ли алгоритм по выбору температурного режима систем теплоснабжения, объясняющий эффективность тех или иных выбранных температурных параметров теплоносителя, каким образом осуществлять регулирование тепловой нагрузки?

Таблица 1.2. Достоинства и недостатки высокотемпературных и низкотемпературных параметров регулирования процессов теплоснабжения

Высокотемпературные параметры теплоносителя	
Достоинства	
1.	Пониженные затраты электрической энергии на перекачку теплоносителя
2.	Повышенная гидравлическая устойчивость систем теплоснабжения
3.	Небольшие диаметры теплопроводов
Недостатки	
1.	Небольшие диаметры теплопроводов
2.	Увеличение тепловых потерь при выработке и транспорте теплоносителя
3.	Повышенные расходы топлива на нагрев теплоносителя
4.	Отсутствие на некоторых источниках технической возможности
Низкотемпературные параметры теплоносителя	
Достоинства	
1.	Повышенный уровень комфортности у потребителей
2.	Низкие тепловые потери при транспортировке и выработке тепла
3.	Пониженный расход топлива на производство тепловой энергии
4.	Универсальность низкотемпературных параметров теплоносителя для любых видов систем теплоснабжения
Недостатки	
1.	Повышенный расход электрической энергии на перекачку теплоносителя
2.	Увеличенные диаметры теплопроводов
3.	Необходимость в разработке новых методов регулирования, либо в реконструкции старых систем теплоснабжения

На сегодняшний день эти вопросы поднимают многие специалисты. Например, проблемы несоответствия фактических температурных параметров проектным в системах управления процессами теплоснабжения затрагиваются в трудах В. Ф. Гершковича, В. Г. Родионова, С. А. Чистовича, Л. М. Махова, А. П. Шелудько и др. При этом считается, что системы управления централизованным теплоснабжением с пониженными температурными графиками регулирования – это основное русло развития систем управления в теплоснабжении в России на ближайшую перспективу.

Так, в статьях В. Ф. Гершковича приводится подробная аргументация того, что традиционный температурный график теплоснабжения сильно завышен и не актуален для современных условий [75]. А. П. Шелудько подчеркивает, что снижение температуры теплоносителя позволило бы сократить перетопы в системах отопления в переходные периоды года [76]. С. А. Чистович утверждает, что максимальная температура теплоносителя в подающем теплопроводе на сегодняшний день не должна превышать 110 °С, т.к. обеспечение более высокой температуры потребует перекладки протяженных тепловых сетей, полной замены оборудования на многочисленных тепловых источниках и теплопотребляющих установках, что в течение ближайших нескольких десятков лет практически неосуществимо [77].

Также проводятся исследования, доказывающие, что низкотемпературные графики регулирования в системах теплоснабжения являются выгодными с точки зрения сокращения топливных ресурсов (отсутствуют пиковые водогрейные котельные, догревающие теплоноситель, отпускаемый ТЭЦ, до высоких параметров). При этом на ТЭЦ увеличивается отпуск электрической энергии за счет поступления большего количества пара не в теплофикационный отбор, а на электрический генератор.

Так, например, исследования теплофикационных процессов на ЦЭС ОАО «ММК» [98, 99, 100] показали, что для каждого типа турбогенераторов существует определенный диапазон теплофикационной нагрузки, при котором выработка электрической энергии максимальна. При увеличении выработки

теплофикационной нагрузки сверх этого диапазона, количество вырабатываемой электрической энергии существенно сокращается [98] (см. рис. 1.5.).



Рис. 1.5. Зависимость выработки электрической мощности от теплофикационной нагрузки на ЦЭС ОАО «ММК»

Основываясь на данных результатах, на предприятии стремятся соблюдать диапазон оптимальных теплофикационных нагрузок на каждом турбогенераторе, в результате чего параметры теплоносителя в подающих тепловых трассах в большинстве случаев не превышают 80-90 °С.

Наряду с сокращением поставок природного газа, наличие диапазона максимальной электрической мощности, вырабатываемой станциями, является еще одной причиной перехода на низкотемпературные параметры и общего сокращения потребления тепловой энергии потребителями.

Необходимо также отметить, что позже специалистами энергетических служб ОАО «ММК» проводились исследования работы турбогенераторов ЦЭС и в летний период. Целью данного исследования являлось уменьшение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя, которые, при графике регулирования теплоснабжения «105-70 °С», составляют порядка 30 %.

Для этого была поставлена задача рассмотреть возможность снижения температурных параметров регулирования тепловой нагрузки до «85-55 °С». Расчёты показали, что при таком графике обеспечивается необходимая тепловая нагрузка без изменения количества теплоносителя, а тепловые потери при

транспортировке уменьшаются на 10 %. Выработка электрической энергии остается практически неизменной.

Однако ряд экспериментов, проведенных по результатам данных расчётов, показал, что на ЦЭС отсутствует техническая возможность существенного изменения температур теплоносителя на выходе из сетевых подогревателей.

Также известны исследования, показывающие эффективность низкотемпературных параметров теплоносителя и с точки зрения обеспечения комфортных условий у потребителей. В частности, в работах Л.И. Махова было выявлено, что для правильного распределения теплового потока в помещении необходимо, чтобы длина радиатора составляла не менее $2/3$ ширины оконного проёма. В этом случае холодные потоки инфильтрующегося воздуха полностью перекрываются тепловыми потоками радиатора, обеспечивая комфортные условия в помещении [93, 96]. Применение низких параметров теплоносителя позволяет увеличить площадь поверхности радиатора, обеспечив оптимальное распределение тепловых потоков в помещении [96, 101].

Исследованиями в области наладки гидравлических режимов работы сетей в условиях низкотемпературных параметров регулирования уже занимались многие специалисты [16, 35, 102, 103, 104, 105]. Эти работы были направлены на выбор способа регулирования тепловой нагрузки при пониженных температурных параметрах, что представляет актуальность для настоящего времени. Особенно подробные исследования в этой области проводили профессор В.И. Шарапов и его сотрудники [16, 106, 107, 108].

Указанные специалисты проводили сравнительные анализы количественного и качественного методов регулирования систем теплоснабжения с низкотемпературными параметрами регулирования тепловой нагрузки «110-70 °С». В результате проведенного ими анализа было выявлено, что при количественном регулировании тепловой нагрузки при параметрах теплоносителя «110-70 °С» расход сетевой воды необходимо увеличить в 2 раза по сравнению с качественным регулированием при таком же температурном графике. Это справедливо для расчётной температуры наружного воздуха для отопления г.

Ульяновска. При повышении температуры наружного воздуха расход теплоносителя уменьшается, и при температуре наружного воздуха -18°C расход становится равным расходу сетевой воды при качественном регулировании.

В данных исследованиях также отмечено, что продолжительность работы систем теплоснабжения с повышенным расходом теплоносителя (при низких температурах наружного воздуха) невысокая. Например, для климатических условий г. Ульяновска (расчетная температура для проектирования отопления -31°C) период с температурами наружного воздуха ниже -18°C составляет около 510 часов или 10% от общей продолжительности отопительного периода (5110 часов) [16]. Аналогично, в г. Магнитогорске при расчетной температуре для отопления -34°C температуры наружного воздуха ниже -18°C составляют по продолжительности в среднем 758 часов или 14,5 % от общей продолжительности отопительного периода (5208 часов, данные набраны за период с 2009-2013 гг).

Вследствие этого, профессор В.И. Шарапов отмечает, что положительным моментом при переводе систем теплоснабжения на пониженные температурные графики с количественным регулированием является экономия электроэнергии на транспорт теплоносителя, т.к. большую часть отопительного периода система теплоснабжения работает с пониженным расходом сетевой воды. Это приводит к тому, что расход электроэнергии на привод насосов при количественном регулировании меньше расхода электроэнергии при качественном регулировании.

С другой стороны, повышение расчетного расхода сетевой воды в теплосети при количественном регулировании может привести к необходимости увеличения диаметров теплопроводов для поддержания удельных потерь давления на необходимом уровне. Расчеты В.И. Шарапова показывают, что при увеличении расчетного расхода сетевой воды в 2 раза необходимо увеличить диаметры теплопроводов на 30%, что в реальных условиях труднодостижимо. Исключением являются непротяженные системы теплоснабжения с теплопроводами повышенной прочности, а также системы, где установлены сетевые насосы с запасом напора.

С другой стороны, при неизменных характеристиках тепловой изоляции теплопроводов и их неизменных диаметрах возрастают тепловые потери, которые при количественном или качественно-количественном регулировании превышают тепловые потери при качественном регулировании тепловой нагрузки, согласно [16], на 3 %. Это объясняется постоянной высокой температурой теплоносителя в подающей магистрали теплосети в течение отопительного периода. Увеличение диаметров теплопроводов при количественном (качественно-количественном) регулировании приведет к росту тепловых потерь при транспортировке уже более чем на 30% из-за увеличения площади поверхности теплопроводов.

Опираясь на полученные результаты, специалисты пришли к выводу, что перевод систем управления теплоснабжением на пониженные температурные графики регулирования невозможен без изменения диаметров теплопроводов, либо без совершенствования их конструкции, а также без совершенствования свойств теплоизоляционных материалов [16, 52, 75].

Для повышения технико-экономической эффективности систем теплоснабжения с пониженными параметрами профессор В.И. Шарапов рекомендует центральное количественное или качественно-количественное регулирование тепловой нагрузки. Вместе с тем, в исследованиях других специалистов [100] указывается, что регулирование тепловой нагрузки должно осуществляться качественным способом с учетом колебания температуры внутреннего воздуха. Однако, несмотря на различия в подходах регулирования тепловой нагрузки, для многих специалистов очевидна необходимость перехода от высокотемпературных графиков регулирования тепловой нагрузки на низкотемпературные [75, 96, 97].

Таким образом, установлено, что системы управления процессами теплоснабжения с низкотемпературными параметрами, на первый взгляд, действительно являются обоснованными с точки зрения выработки тепловой энергии на источнике и с точки зрения обеспечения комфортных условий у потребителей. При этом очевидно, что без проведения мероприятий по наладке тепловых и гидравлических режимов систем, без проведения актуальных технико-

экономических расчетов эффективность систем теплоснабжения с низкотемпературными параметрами теплоносителя в настоящих условиях сводится к нулю. Поэтому исследование систем низкотемпературного теплоснабжения (разработка методов регулирования и выбора оптимальных параметров температурных графиков, адаптация низкотемпературных графиков теплоносителя к уже существующим тепловым сетям) в настоящее время является актуальной задачей.

Выводы по первой главе

Вышеприведенный анализ позволяет сделать следующие заключения:

1) низкотемпературное отопление на базе теплофикации – это основное русло развития систем теплоснабжения, поэтому исследования его особенностей, разработка алгоритмов и систем управления являются достаточно актуальными задачами;

2) поскольку замена теплопроводов и сетевого оборудования систем теплофикации для пониженных параметров является трудновыполнимой задачей, особую актуальность имеют исследования особенностей и оптимизации низкотемпературных режимов работы существующих систем теплоснабжения и отопления, сконструированных для высокотемпературных тепловых графиков.

ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПРОЕКТНО-РАСЧЁТНЫМИ МЕТОДАМИ

2.1. Расчет эффективности различных температур теплоносителя для жилого здания

Для детальной оценки достоинств и недостатков низкотемпературных систем теплоснабжения были рассмотрены варианты систем отопления здания при различных температурных графиках и различных расчетных отопительных нагрузках, рассчитаны соответствующие варианты систем теплоснабжения и оценены изменения диаметров труб и тепловых потерь при транспортировке теплоносителя.

Оценочными параметрами являются: тепловая нагрузка дома, Вт, площадь поверхности отопительных приборов, м², расходы сетевой воды, т/ч, тепловые потери трубопроводов, Вт.

Как это следует из материалов главы I, целесообразно, чтобы площадь поверхности отопительных приборов была как можно больше, чтобы добиться обеспечения соотношения: длина радиатора составляет 0,75 от ширины оконного проема [96]. При этом необходимо затрачивать как можно меньшее количество теплоносителя для уменьшения нагрузки на сетевые электрические насосы и уменьшения диаметров теплопроводов, от которых зависят надежность тепловой сети, удобство эксплуатации, капитальные затраты на прокладку труб и т.п [53, 81]. Еще одним важным критерием является понижение тепловых потерь через стенки теплопроводов при транспортировке теплоносителя, поскольку это также существенно сокращает капитальные затраты и является важным энергосберегающим мероприятием [53, 109].

Также учитывая, что теплофизические свойства современных ограждающих конструкций повышаются, возрастают требования к микроклимату помещений, а также требования к рациональному использованию энергетических ресурсов [54],

целесообразно рассмотреть, как изменяется отопительная нагрузка помещений при различных условиях, таких как изменение нормативов, замена старых ограждающих конструкций на более современные и т.п. Очевидно, что оптимальным будет являться вариант теплоснабжения с самой низкой отопительной нагрузкой, при этом обеспечивающий допустимые параметры внутреннего воздуха помещений.

2.1.1. Определение нагрузок на отопление при различных условиях

Были рассмотрены 3 варианта (далее вариант 1, вариант 2 и вариант 3) расчета нагрузки системы отопления жилого кирпичного 5-ти этажного дома, состоящего из 2-х секций, с не отапливаемым подвалом (рис. 2.1).

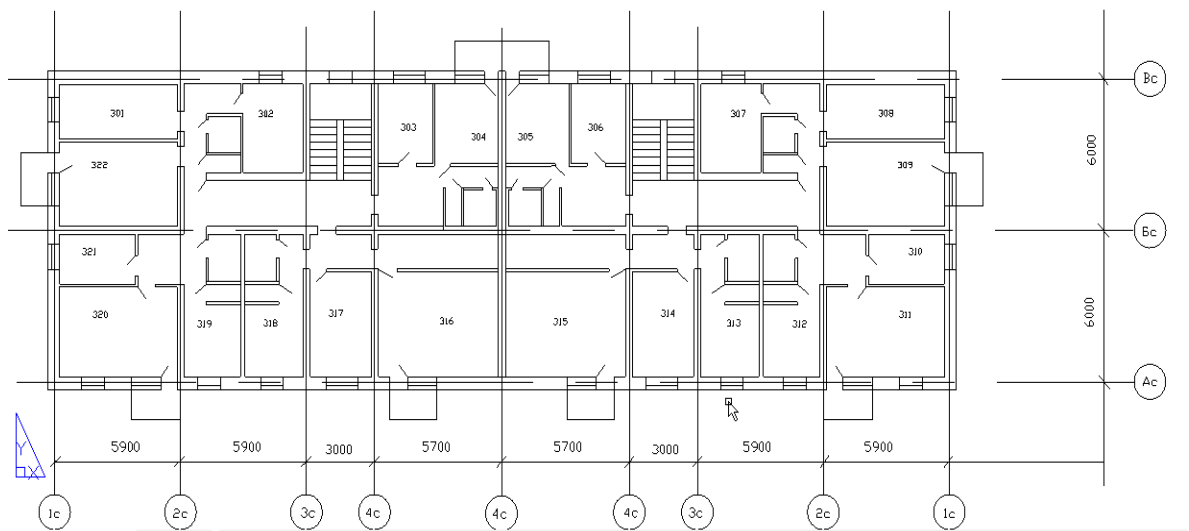


Рис. 2.1. План типового этажа рассматриваемого жилого дома.

В первом варианте было принято, что оконные стеклопакеты во всех комнатах установлены из деревянных конструкций, а при расчете количества тепла на нагрев воздуха приточной вентиляции, количество вентиляционного воздуха было принято по действующему нормативу СНиП $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 от площади жилых комнат [110].

Инфильтрующийся воздух поступает в помещения через щели входных дверей и через оконные проемы.

Во втором варианте было принято, что деревянные стеклопакеты во всех комнатах полностью заменены на герметичные пластиковые, а при расчете

количества тепла на нагрев воздуха приточной вентиляции, количество вентиляционного воздуха было принято $1,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 жилых комнат (норматив Украины) [75].

Тепловые потери с инфильтрацией – через щели входных дверей.

В третьем варианте было принято, что деревянные стеклопакеты во всех комнатах полностью заменены на герметичные пластиковые, а при расчете количества тепла на нагрев воздуха приточной вентиляции, количество вентиляционного воздуха было принято $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 жилых комнат (норматив СНиП) [41].

Тепловые потери с инфильтрацией – через щели входных дверей.

Тепловые потери с инфильтрацией через стыки панелей во всех случаях не учитывались, т.к. дом кирпичный. Тепловые потери с инфильтрацией через оконные проемы не учитывались во 2 и 3 варианте, т.к. установлены герметичные пластиковые стеклопакеты.

Результаты инженерных расчетов для каждого случая показали следующее (см. таблицы приложения А):

1) потери через ограждения для первого случая равны $86988,6 \text{ Вт}$. Общая тепловая нагрузка равна $130608,7 \text{ Вт}$.

2) потери через ограждения для второго случая равны $66146,2 \text{ Вт}$, что на $24,0 \%$ ниже, чем в первом случае. Общая тепловая нагрузка равна $75401,1 \text{ Вт}$, что на $42,3 \%$ ниже, чем в первом случае.

3) потери через ограждения для третьего случая равны $66146,2 \text{ Вт}$, что на $24,0 \%$ ниже, чем в первом случае. Общая тепловая нагрузка равна $108167,1 \text{ Вт}$, что на $17,2 \%$ ниже, чем в первом случае.

Выводы.

1) Очевидно, что самая низкая тепловая нагрузка достигается во втором случае, когда все окна жилого здания заменены на пластиковые стеклопакеты, а фактическая тепловая нагрузка на вентиляцию в 3 раза меньше нормативной. Однако, в реальных условиях создание подобной системы микроклимата не представляется возможным, т.к.

проектирование системы отопления здания должно осуществляться в соответствии с нормативами. Изменение норматива нагрузки на вентиляцию требует детальных исследований и проработки, что является серьезной и длительной мерой. В современных условиях применим третий случай, когда только деревянные окна заменены на пластиковые стеклопакеты, а нагрузка на вентиляцию берется по принятому в СНиП нормативу.

2) Согласно расчетам, замена деревянных окон на пластиковые стеклопакеты позволяет сократить общую тепловую нагрузку здания на 17,2 %. Однако, в этом случае возникает необходимость более тщательного проектирования вентиляции помещений. Для жилых зданий с длительным сроком эксплуатации это является актуальной проблемой, т.к. вентиляционные шахты, как правило, нуждаются в ремонте, поэтому не обеспечивают требуемого нормами воздухообмена.

В дальнейшем для теплоснабжения данного дома рассмотрим три варианта регулирования температурных графиков.

2.1.2. Расчет количества секций отопительных приборов

В качестве отопительных приборов приняты чугунные секционные радиаторы типа МС с теплоотдачей 1 секции 150 Вт [110].

В расчетах были приняты 3 варианта отопительных нагрузок дома, посчитанных выше для 3-х разных случаев. В свою очередь, для каждого варианта производился расчёт при трех температурных графиках регулирования тепловой нагрузки в системах теплоснабжения: «150-70», «110-70» и «90-60 °С». Для расчета приборов для всех случаев было выбрано 3 комнаты с различной тепловой нагрузкой (максимально большой – комната № 11, минимальной – комната № 12 и средней – комната № 21).

Расчет отопительных приборов велся по методике [110].

Для температурного графика «150-70°C» принято, что в абонентский узел здания поступает и удаляется вода с параметрами «105-70°C». Это традиционные расчетные параметры системы отопления, применяемые в России.

Для температурного графика «110-70°C» принято, что в абонентский узел здания поступает и удаляется вода с параметрами «95-70°C». Эти параметры являются пониженными, но также применяются при проектировании систем отопления в России.

Для температурного графика «90-60°C» принято, что в абонентский узел здания поступает и удаляется вода с параметрами «80-60°C». Такие параметры теплоносителя в системе отопления применяются в некоторых европейских странах [111].

Расчет приборов для каждого случая сведен в таблицы (см. приложение Б).

Расчёты отопительных приборов показали, что если отопительная нагрузка остается неизменной, а температурный график меняется (случай 1 и 3), то площадь поверхности отопительных приборов возрастает [112]. В комнатах с небольшими отопительными нагрузками количество секций радиаторов возрастает незначительно, в комнатах со средними отопительными нагрузками количество секций радиаторов возрастает на 15-20 %, в комнатах с большими отопительными нагрузками количество секций возрастает значительно, на 10-30 % (в зависимости от этажности). Средние значения длины отопительных приборов в зависимости от температурного графика для всех трёх нагрузок представлены на рис. 2.2.

Выводы.

1) Для теплоснабжения современных зданий с пластиковыми окнами целесообразно применять пониженные температурные параметры теплоносителя, т.к. в таком случае возрастает вероятность того, что длина радиатора будет перекрывать $2/3$ от ширины окна [96], что, в конечном счёте, приведёт к улучшению комфортных условий для потребителей.

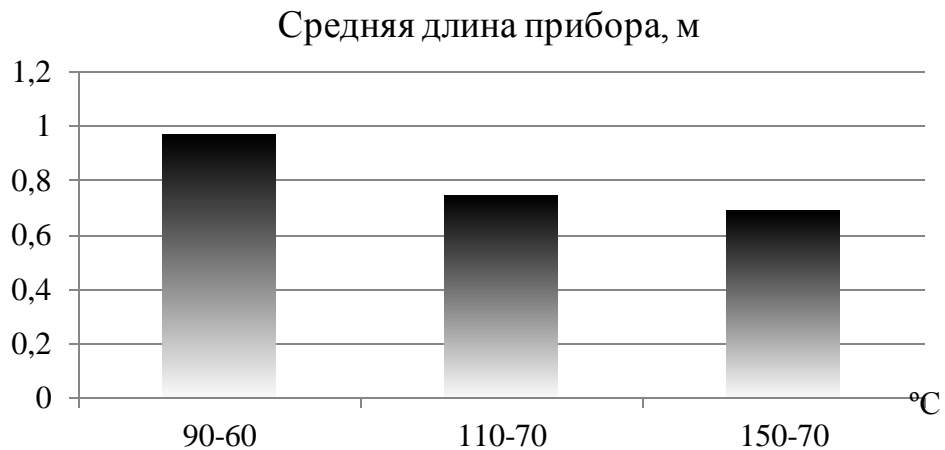


Рис. 2.2. Зависимость изменения длины отопительных приборов от температурного графика

2) Перевод на пониженные температурные графики регулирования тех систем теплоснабжения, которые обеспечивают старый жилой фонд, может привести к существенным «недотопам» помещений и, как следствие, к несоблюдению допустимых СНиПами нормативов по температуре внутреннего воздуха [110].

3) Мероприятия по снижению температур теплоносителя в системах теплоснабжения должны осуществляться только после ряда уточняющих инженерных расчетов и, при необходимости, натурных экспериментов. В результате должны быть уточнены площади отопительных приборов, диаметры теплопроводов в системах теплоснабжения и отопления, мощность и характеристики насосных установок, условия проведения наладки систем и т.п.

2.1.3. Гидравлический расчет вариантов сетей теплоснабжения

В ходе дальнейших расчетов были исследованы варианты простой тепловой сети для теплоснабжения района города. Район города состоит из 3-х микрорайонов.

Было принято, что в первом микрорайоне 50 жилых домов, аналогичных рассчитанному выше жилому дому, во втором микрорайоне 100 шт. жилых домов,

аналогичных рассчитанному выше жилому дому, в третьем микрорайоне – 70 жилых аналогичных домов.

Для упрощения расчетов было принято, что административные и гражданские здания в районе отсутствуют.

Тепловая нагрузка дома была принята равной сумме нагрузки на отопление и нагрузки на горячее водоснабжение. Нагрузка на горячее водоснабжение была принята равной 15 % от общей нагрузки на отопление.

Гидравлический расчет системы теплоснабжения проводился для трех выше обозначенных вариантов, т.е. рассматривались районы с жилыми домами, нагрузка которых была равна 130608,7 Вт, 75401,1 Вт и 108167,1 Вт соответственно. При этом учтено, что удельные потери давления не превышают нормативных значений.

Для каждого варианта тепловых сетей рассматривалось 3 выше указанных температурных графика: «150-70°C», «110-70°C» и «90-60°C» (приложение В).

Расчет велся по методике [113]

Упрощенная схема теплоснабжения района города приведена на рис. 2.3.

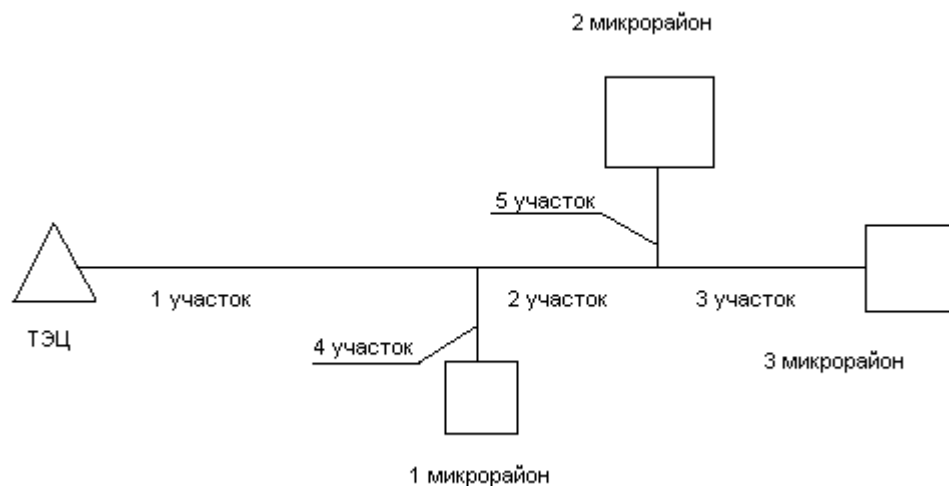


Рис. 2.3. Схема теплоснабжения района города

Выводы.

- 1) С уменьшением отопительной нагрузки здания и при снижении температурного графика регулирования диаметры теплопроводов меняются незначительно. Однако, при неизменной отопительной нагрузке

здания и при разных температурных графиках (случаи 1 и 3) необходимо увеличить диаметры теплопроводов на 17-28 %. Изменение площади поверхности теплопроводов в зависимости от температуры прямого теплоносителя показано на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Зависимость площади поверхности теплопроводов от изменения температурного графика регулирования при постоянной тепловой нагрузке

2) Для случаев с жилыми зданиями с повышенными теплозащитными свойствами (вариант 2 и вариант 3), существующие диаметры тепловых сетей, рассчитанных для параметров «150-70 °C», не обеспечивают потребителей достаточным теплом при более низких параметрах теплоносителя. Согласно расчётам, при переходе на график регулирования «110-70 °C» «недотоп» может составить от 23 до 43 % соответственно, а при переходе на график регулирования «90-60 °C» «недотоп» может достичь 42-57 % соответственно (при условии соблюдения равенства удельных потерь давления на всех участках тепловой трассы).

3) При переводе на низкотемпературные параметры теплоносителя тех систем, которые были спроектированы для высокотемпературных параметров, необходимо либо осуществлять замену теплопроводов, либо подбирать температурные режимы тепловой сети с учётом того, чтобы

была обеспечена требуемая тепловая нагрузка объектов, а удельные потери давления оставались в пределах допустимой нормы (80 Па/м для магистралей и 300 Па/м для ответвлений теплосети [1]).

2.1.4. Оценка тепловых потерь сетей теплоснабжения

Основным преимуществом перевода систем теплоснабжения на низкотемпературные параметры является, по мнению многих специалистов, сокращение тепловых потерь при транспортировке теплоносителя. Как отмечалось выше, известно, что на тепловых сетях, по разным причинам, теряется до 70 % теплоты [50, 52, 81]. Такой высокий процент обусловлен, в первую очередь, низким качеством тепловой изоляции, либо полным ее отсутствием на некоторых участках тепловой сети.

Необходимо также отметить, что добиться полного устранения тепловых потерь при переносе теплоносителя невозможно. Объясняется это наличием ограничений на толщину тепловой изоляции. Так, известно, что линейное термическое сопротивление теплопроводности изоляционного слоя повышается с увеличением его толщины. Напротив, линейное термическое сопротивление теплоотдаче на наружной поверхности изолированного теплопровода будет понижаться из-за увеличения его наружного диаметра. Суммарная составляющая этих двух слагаемых, т.е. полное термическое сопротивление, таким образом, будет минимально при определенном наружном диаметре изолированного теплопровода. Такой диаметр называется критическим [114]. При критическом наружном диаметре изолированного теплопровода потери теплоты максимальны, поэтому увеличение толщины тепловой изоляции не всегда сокращает тепловые потери при транспортировке, а, напротив может увеличить их.

В настоящее время существует множество рекомендаций по выбору толщины тепловой изоляции, по определению ее оптимальной толщины [84, 114]

Основными же факторами, влияющими на величину тепловых потерь, являются: температура теплоносителя, температура наружного воздуха,

наружный диаметр теплопровода, коэффициент теплопередачи тепловой изоляции. Поскольку температура наружного воздуха и коэффициент теплопередачи тепловой изоляции – это те факторы, на которые крайне трудно оказать влияние, основной задачей для уменьшения тепловых потерь теплоносителя при его транспортировке становится выбор таких параметров регулирования, как температура и расход теплоносителя.

Учитывая большие диаметры и протяженность тепловых сетей России, даже небольшая экономия тепловых потерь, в конечном счёте, может привести к существенному экономическому эффекту.

Были рассмотрены 9 вариантов тепловых сетей на основе проведенных выше гидравлических расчетов: имеется три разные системы теплоснабжения для жилых объектов, рассмотренных в вариантах 1, 2 и 3. Для каждой из этих систем расчеты проводились по трем температурным графикам: «150-70», «110-70» и «90-60°C» (см. приложение Г).

Расчеты проводились по методике [114, 115] по климатическим характеристикам г. Магнитогорска: средняя скорость воздуха равна 3 м/с, расчётная температура наружного воздуха равна -34 °С. Степень черноты поверхности теплопровода принята равной 0,9. Предполагалось, что тепловая сеть проложена над землёй. Тепловая изоляция отсутствует. Среднее значение величины тепловых потерь для каждого из трех значений температуры прямой сетевой воды при условии неизменной тепловой нагрузки объектов показано на рис. 2.5.

Выводы.

- 1) Количество тепловых потерь при переходе на пониженный график регулирования теплоснабжения с температурой теплоносителя 90 °С уменьшилось при неизменных диаметрах теплопроводов более чем на 30 %, по сравнению с высокотемпературными параметрами «150-70 °С».
- 2) При равных отопительных нагрузках (т.е. при изменении расхода теплоносителя и, соответственно, диаметров теплопроводов) при низкотемпературном графике теплоснабжения удастся сократить

тепловые потери при транспортировке не более чем на 15 %. Это объясняется тем, что при снижении температуры теплоносителя в подающей магистрали при условии сохранения тепловой нагрузки увеличиваются диаметры, т.е. площадь поверхности тепловых трасс, что, в свою очередь, ведет к возрастанию конвективной составляющей тепловых потерь.

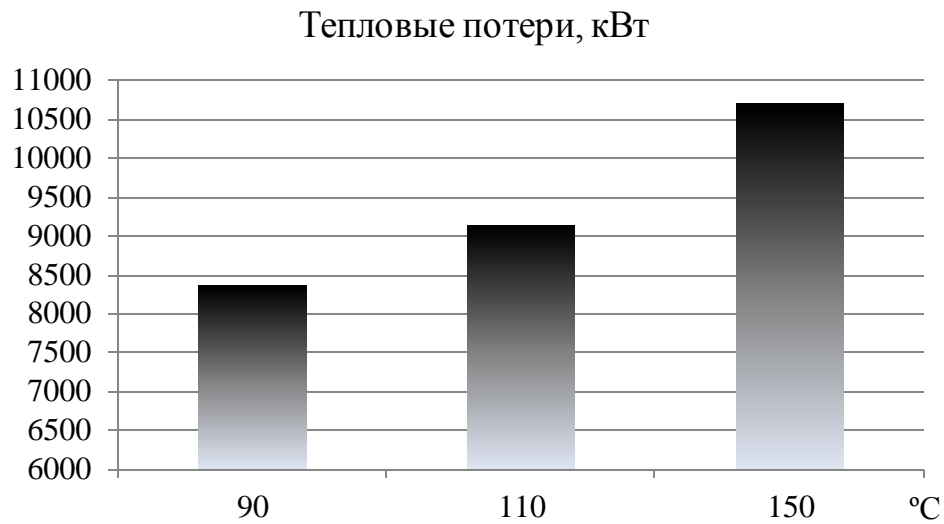


Рис. 2.5. Зависимость изменения тепловых потерь от температуры прямого теплоносителя

3) Можно предположить, что для любой тепловой сети существует такая температура теплоносителя, при которой потери теплоты при транспортировке минимальны. Дальнейшее понижение температуры будет приводить к возрастанию тепловых потерь из-за увеличения площади поверхности теплопроводов.

Проверка этого предположения представляет собой весьма интересную задачу.

2.2. Поиск оптимальной температуры с точки зрения минимизации тепловых потерь при транспортировке

Как видно из проведенных расчетов, нельзя говорить о положительном экономическом эффекте при внедрении низкотемпературных графиков

регулирования теплоснабжения. При уменьшении температуры теплоносителя необходимо существенно увеличивать его расход, что влечет за собой необходимость изменения диаметров теплопроводов и, следовательно, огромных затрат на реконструкцию тепловых сетей. При этом происходит увеличение потребления электроэнергии для перекачки теплоносителя.

Нельзя также говорить и о безусловном понижении тепловых потерь при понижении температуры теплоносителя, т.к. с увеличением диаметров теплопровода возрастает конвективная составляющая тепловых потерь.

Определение оптимальной температуры, при которой достигаются минимальные тепловые потери, представляется нам весьма актуальной задачей, поскольку, как было сказано выше, большинство тепловых потерь происходит при транспортировке теплоносителя.

Рассмотрим предыдущий случай по определению тепловых потерь при транспортировке теплоносителя более детально.

На тепловые потери теплопроводов влияет не только качество тепловой изоляции, наличие утечек и монтаж теплотрасс, но и температура теплоносителя. Известно, что при расчете тепловых потерь теплопроводов при наружной прокладке учитывается две составляющие: потери теплоты с излучением и с теплоотдачей [115]. Известно также, что потерю теплоты, q , например, неизолированным теплопроводом удовлетворительно можно оценить с помощью следующей формулы:

$$q = F_{mp} \cdot (T_n - t_n) \cdot (\alpha_k + \alpha_l), \quad (2.2.1)$$

где: F_{mp} – площадь поверхности теплопровода, T_n – температура поверхности теплопровода, t_n – температура наружного воздуха, α_k, α_l – соответственно коэффициенты конвективной теплоотдачи и теплоотдачи излучением.

Коэффициент теплоотдачи излучением зависит от температуры поверхности теплопровода, которая в расчетах принята равной температуре теплоносителя, и от температуры наружного воздуха и определяется по формуле:

$$\alpha_{\lambda} = \xi_{np} \cdot C_{\sigma} \cdot \frac{\left(\left(\frac{T_n + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{t_n + 273}{100}\right)^4\right)}{T_n - t_n}, \quad (2.2.2)$$

где: ξ_{np} – приведенный коэффициент черноты системы «теплопровод – окружающая среда», в данном случае он равен коэффициенту черноты поверхности теплопровода, C_{σ} – постоянная Стефана-Больцмана.

Коэффициент конвективной теплоотдачи зависит от диаметра теплопровода, от температуры окружающей среды и от скорости ветра и вычисляется по формуле [110]:

$$\alpha_k = 0,216 \cdot \beta_{\varphi} \cdot Re^{0,6} \cdot \lambda_{\epsilon} / D_{нар}, \quad (2.2.3)$$

где: β_{φ} – поправочный коэффициент, учитывающий направление воздушного потока по отношению к оси теплопровода, Re – критерий Рейнольдса, λ_{ϵ} – коэффициент теплопроводности воздуха, $D_{нар}$ – наружный диаметр теплопровода.

По указанным формулам были проведены расчеты тепловых потерь подающим, неизолированным, наружно проложенным теплопроводом длиной 1 м для климатических условий г. Магнитогорска [116]. Температура наружного воздуха была принята равной -34 °С, скорость ветра – 3 м/с, общий поток теплоты, т.е. тепловая мощность, доставляемая теплопроводом, $Q = 23,8$ МВт. Температура теплоносителя в подающем теплопроводе изменялась в диапазоне от 90 до 150 °С. Диаметры теплопроводов при одинаковом количестве переносимой теплоты, но при разной температуре теплоносителя и вследствие этого при разном его расходе определялись согласно условию, что удельные потери давления остаются прежними и равными во всех рассмотренных случаях 80 Па/м, что соответствует нормативным требованиям [1]. Найденное таким образом соотношение для расходов теплоносителя и диаметров теплопроводов имеет вид:

$$\frac{G_1^2}{G_2^2} = \frac{D_1^{5,25}}{D_2^{5,25}}, \quad (2.2.4)$$

где: G_1, G_2 – расходы теплоносителя соответственно для условных диаметров теплопровода D_1, D_2 . При этом подчеркнем, что во всех случаях считалось, что доставляемый за единицу времени теплопроводом поток теплоты Q один и тот же и равен $c \cdot G \cdot t$, где c – удельная теплоемкость теплоносителя, G и t – соответственно его массовый расход и температура. Вычисленные по формуле (2.2.4) значения диаметров для чистоты исследования не округлялись до стандартных размеров.

На рис. 2.6. приведены кривые, показывающие, как изменялись коэффициенты теплоотдачи α_k и α_l в вышеуказанных условиях в зависимости от температуры теплоносителя.

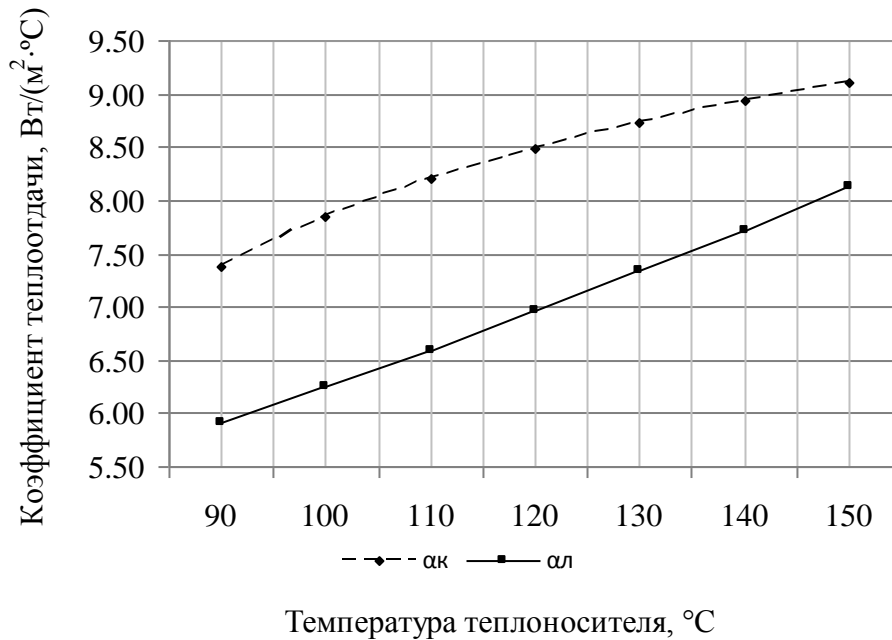


Рис. 2.6. Изменение коэффициентов теплоотдачи α_k и α_l в зависимости от температуры теплоносителя.

Из рис. 2.6. видно, что коэффициенты теплоотдачи α_k и α_l увеличиваются с увеличением температуры теплоносителя и соответственно температуры поверхности теплопроводов. Поэтому уменьшение данных составляющих с уменьшением температуры теплоносителя, как это следует из формулы (2.2.1), будет приводить, и к уменьшению тепловых потерь. Вследствие этого может возникнуть предположение, что и в целом при более низкой температуре

теплоносителя будут достигаться и более низкие удельные потери теплоты. Однако, согласно формуле (2.2.1), общие тепловые потери теплопровода зависят еще и от площади его поверхности и от разности температур поверхности теплопровода и окружающей среды. Площадь поверхности теплопроводов растет с увеличением их диаметров, что требуется из-за снижения температуры теплоносителя, приводящего к увеличению его расхода при неизменном значении теплового потока.

Изменение второй составляющей формулы (2.2.1) $F_{mp} \cdot (T_n - t_n)$ – произведения площади поверхности теплопровода и разности температур поверхности теплопровода и окружающей среды в зависимости от температуры теплоносителя показано на рис. 2.7.

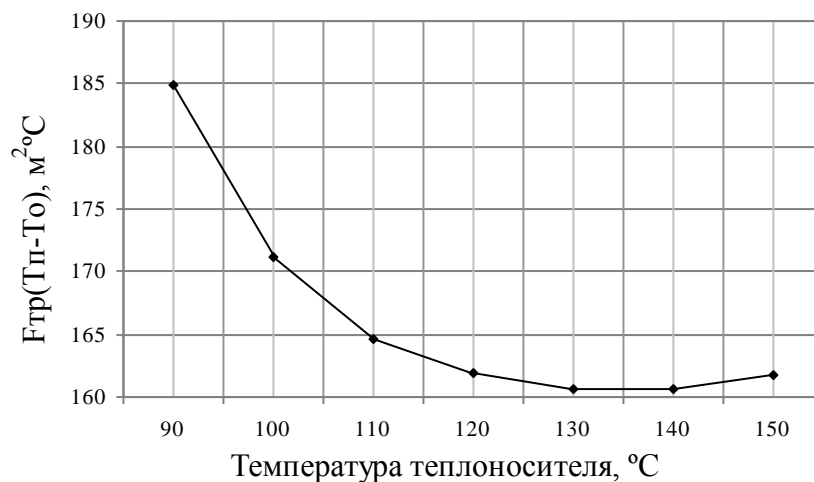


Рис.2.7. Кривая изменения произведения $F_{mp} \cdot (T_n - t_n)$ в зависимости от температуры теплоносителя

Как видно из рис. 2.7., произведение $F_{mp} \cdot (T_n - t_n)$ на большей части графика заметно растет с уменьшением температуры теплоносителя, несмотря на то, что при этом разность температур $(T_n - t_n)$ снижается, следовательно, эта составляющая формулы (2.2.1) – произведение $F_{mp} \cdot (T_n - t_n)$ будет «работать» в целом на увеличение тепловых потерь из-за влияния увеличения площади поверхности теплообмена. Из рис. 2.7. также видно, что представленная кривая $F_{mp} \cdot (T_n - t_n) = f(x)$ имеет слабо выраженный минимум в правой части графика.

Изменение потерь теплоты в зависимости от температуры теплоносителя отдельно за счет излучения и за счет конвективного теплообмена показано на рис. 2.8.

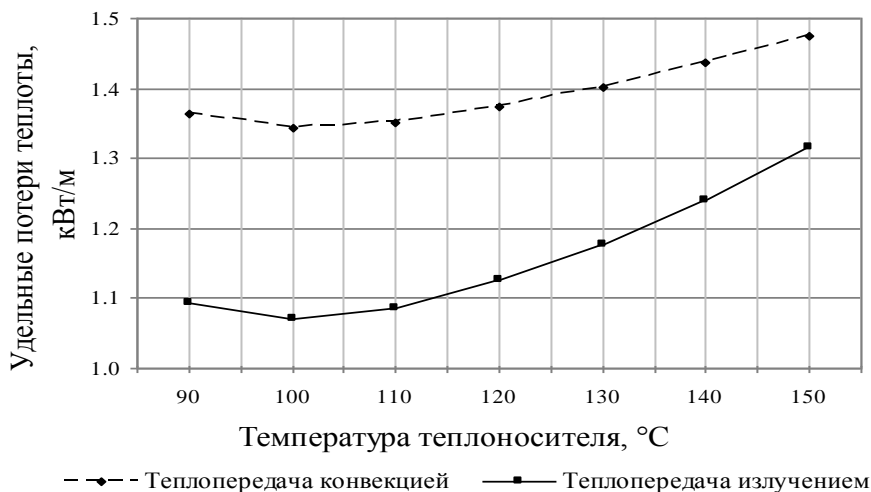


Рис. 2.8. Изменение потерь теплоты в зависимости от температуры теплоносителя

На рис. 2.9. показано изменение потерь теплоты в зависимости от температуры теплоносителя в сумме, как за счет излучения, так и за счет конвективного теплообмена.

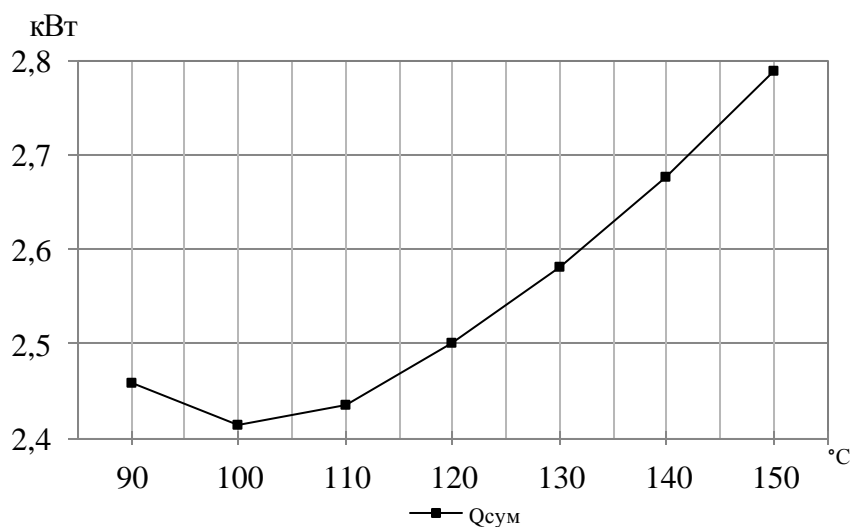


Рис. 2.9. Суммарные тепловые потери теплопровода в зависимости от температуры теплоносителя

Как видно из рис. 2.8. и 2.9., кривые потерь теплоты теплопроводом имеют достаточно отчетливо выраженный минимум, т.е. существует оптимальная

температура теплоносителя, при которой потери теплоты теплопроводом будут наименьшими. В частности, для рассмотренных условий самые низкие тепловые потери теплопроводов достигаются при температуре теплоносителя 100°C.

Данный результат дает основание для предпочтительного выбора расчетной температуры теплоносителя в системах теплоснабжения из решения задачи оптимизации.

Из рис. 2.9. также видно, что при температурах теплоносителя свыше 100 °С наблюдается довольно интенсивный рост тепловых потерь, следовательно, с данной точки зрения высокотемпературные параметры регулирования теплоснабжения не являются выгодными. Данный результат является достаточно неожиданным для специалистов по теплоснабжению, так как в литературе обычно утверждается, что «... экономически может быть оправдано повышение максимальной температуры сетевой воды в подающем трубопроводе до 170-190°C [18, стр. 90], что «... повышение параметров теплоносителя приводит к ... снижению расходов по перекачке» теплоносителя [18, стр. 113].

Аналогичные результаты были получены и в расчетах, проведенных для других значений тепловой мощности рассматриваемой теплоснабжающей системы, и других значений удельных потерь давления.

Так, для объекта с тепловой нагрузкой 15,1 МВт при удельных потерях давления менее 80 Па/м, минимальные тепловые потери равны 2,07 кВт/м и достигаются они также при температуре теплоносителя, равной 100°C (рис. 2.10). А для объекта с тепловой нагрузкой 17,9 МВт при удельных потерях давления менее 300 Па/м, значение минимальных тепловых потерь равно уже 1,8 кВт/м, и достигается оно также при температуре теплоносителя, равной 100°C (рис. 2.11).

Анализируя полученные результаты можно сделать вывод, что, с точки зрения сокращения тепловых потерь при транспортировке теплоносителя, оптимальная температура теплоносителя в подающем неизолированном теплопроводе равна 100°C [117].

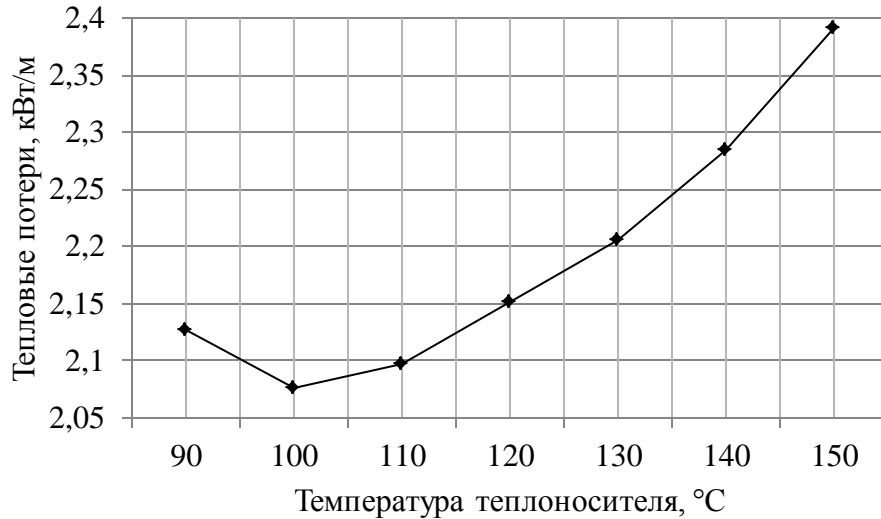


Рис. 2.10. Суммарные тепловые потери теплопровода в зависимости от температуры теплоносителя при $Q = 15,1$ МВт

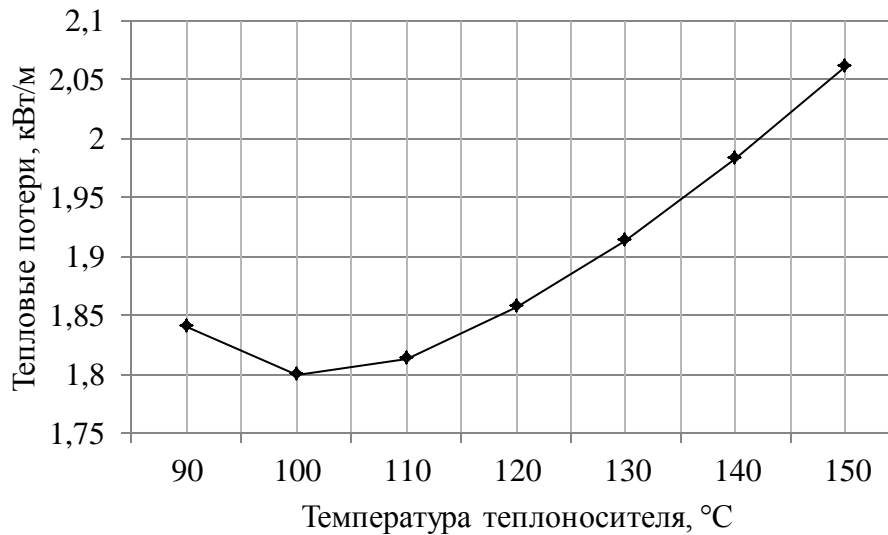


Рис. 2.11. Суммарные тепловые потери теплопровода в зависимости от температуры теплоносителя при $Q = 17,9$ МВт

Общеизвестно, что при наличии тепловой изоляции на магистральных теплопроводах расчет потерь теплоты с достаточной точностью может быть проведен по следующей формуле:

$$q = F_{mp} \cdot (T_n - t_n) \cdot k, \quad (2.2.5)$$

где: $k = 1 / \left(\frac{1}{\alpha_k + \alpha_l} + \frac{\delta}{\lambda} \right)$ – коэффициент теплопередачи, δ – толщина тепловой изоляции, а λ – ее коэффициент теплопроводности. Поэтому, как следует из

сравнения формул (2.2.1) и (2.2.5), наличие тепловой изоляции не должно качественно поменять полученный результат: с точки зрения минимизации тепловых потерь существует оптимальная температура теплоносителя, как для изолированного, так и для неизолированного теплопровода.

В качестве проверки данного утверждения был проведен расчёт оптимальной температуры теплоносителя при аналогичных условиях, но для изолированного теплопровода. Толщина тепловой изоляции подбиралась отдельно для каждого случая, согласно методике, описанной в [21] и согласно [117]. При подборе толщины тепловой изоляции было соблюдено условие, что фактические удельные тепловые потери изолированного теплопровода равны требуемым согласно [21, 117] тепловым потерям. Коэффициент теплопроводности тепловой изоляции был принят равным $0,045 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$ для всех случаев.

В данных расчётах удельные потери теплоты через стенку изолированного теплопровода для каждого рассматриваемого случая получились минимальными и колебались от $0,107$ до $0,125 \text{ Вт}/\text{м}$. Причём минимальное значение тепловых потерь характерно для случая с самой низкой температурой теплоносителя – 90°С . Зависимость тепловых потерь от температуры теплоносителя представлена на рис. 2.12.

Таким образом, анализ тепловых потерь при транспортировке теплоносителя показал эффективность низкотемпературных параметров теплоносителя. Также было получено, что существует такая пониженная температура теплоносителя, при которой тепловые потери при транспортировке минимальны, причем такой вывод характерен как для неизолированных теплопроводов, так и для изолированных.

Необходимо отметить, что данные выкладки справедливы, в основном, для стадии проектирования систем теплоснабжения, когда перед проектировщиками возникает задача выбора экономически обоснованного температурного графика. Исходя из приведенных расчетов, можно рекомендовать к применению низкотемпературные параметры систем теплоснабжения. Применение таких

параметров приведет к сокращению тепловых потерь при транспортировке, не смотря на необходимость использования повышенных расходов теплоносителя и, соответственно, теплопроводов больших диаметров.

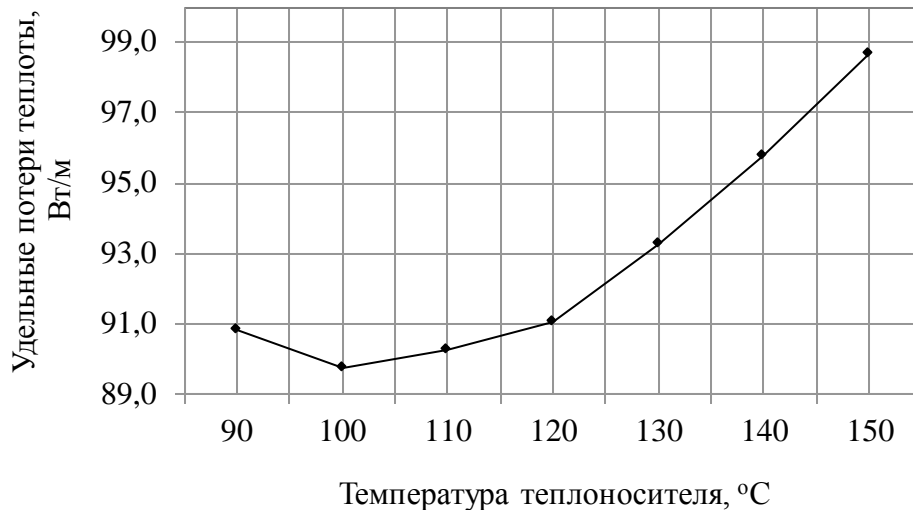


Рис. 2.12. Суммарные тепловые потери изолированного теплопровода в зависимости от температуры теплоносителя при $Q = 23,8$ МВт

Учитывая, что тепловые сети в России, как правило, имеют большую протяженность, экономия от сокращения потерь теплоты при транспортировке может быть очень существенной.

Однако чаще всего перед специалистами встаёт задача повышения эффективности уже существующей тепловой сети, изменение диаметров которой невозможно. В этом случае, очевидно, что снижение температуры теплоносителя приведет к уменьшению тепловой нагрузки сети. Для сохранения тепловой нагрузки необходимо увеличить расход теплоносителя, что неизбежно приведет к росту потребляемой электрической энергии на его перекачку. Кроме того повысится риск разрывов теплопроводов из-за возросшего давления теплоносителя.

Принимая во внимание этот факт, очевидно, что для того, чтобы определить оптимальные параметры теплоносителя для существующих систем теплоснабжения, необходимо разработать такой алгоритм управления, в котором бы учитывались и тепловые потери при транспортировке, и затраты

электрической энергии на перекачку теплоносителя. Важнейшим условием при этом является недопущение превышения удельных потерь давления по длине теплопровода выше нормативных (80 Па/м для магистральных участков теплопроводов и 300 Па/м – для ответвлений).

Выводы по второй главе

1. Низкотемпературное теплоснабжение является выгодным с точки зрения сокращения тепловых потерь при транспортировке теплоносителя. Расчёты показали, что для определенных условий при температуре 100 °С тепловые потери минимальны. Однако, перевод систем теплоснабжения на низкотемпературные параметры, приводит к существенному увеличению расхода теплоносителя при соблюдении условия постоянного теплового потока, что, в свою очередь, обуславливает увеличение расхода электрической энергии на перекачку теплоносителя.

2. Необходимо разработать алгоритмы управления в системах теплоснабжения в зависимости от изменения температуры теплоносителя для оценки эффективности существующих температурных параметров системы, либо для выбора новых температурных параметров регулирования.

3. Особый интерес представляет поиск такой температуры теплоносителя, при которой сумма расходов энергетических ресурсов при транспортировке теплоты будет минимальной.

ГЛАВА 3. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРИ СНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В главе 2 было установлено, что, хотя при грамотной наладке системы управления теплоснабжением комфортные условия в помещениях теоретически возможны при любых температурных графиках и параметрах наружного воздуха, низкотемпературные графики в системах теплоснабжения являются более предпочтительными. Так, пониженные температуры в подающем и обратном теплопроводах обеспечивают увеличение площади поверхности отопительных приборов, что ведет к более равномерному распределению теплового потока в пространстве помещения. Кроме того, радиаторы с пониженной температурой поверхности более удобны в эксплуатации.

Однако с точки зрения транспортировки теплоносителя эффективность низкотемпературных параметров неоднозначна: при пониженных температурах теплоносителя необходимо увеличивать его расход, что ведет к увеличению диаметра теплопроводов и (или) повышенному расходу электрической энергии на перекачку теплоносителя.

Увеличение диаметров теплопроводов и замена оборудования на тепловых сетях являются дорогостоящими и трудоёмкими мероприятиями, не приносящими экономического эффекта, поэтому зачастую теплоснабжающие организации стремятся их избегать. Основным аргументом, как правило, является то, что тепловые сети проектируются с большим запасом, как по прочности, так и по диаметрам. Поэтому при понижении температуры теплоносителя, количество теплоносителя зачастую увеличивается без изменения оборудования и размеров тепловых сетей. При этом неизвестно, достаточно ли такого увеличения количества теплоносителя, чтобы обеспечить заданный тепловой поток при сниженных температурах, достаточен ли запас прочности теплопроводов и т.п.

Таким образом, определение зависимостей основных параметров теплоснабжения – расхода и температуры теплоносителя – друг от друга представляет интересную задачу с точки зрения управления режимами теплоснабжения и наглядности. Зная, как меняется расход теплоносителя при изменении температурного графика и наоборот, можно судить о количестве тепловых потерь при транспортировке теплоносителя, об оптимальных диаметрах теплопроводов и расходе электрической энергии на перекачку, о допустимой толщине тепловой изоляции теплопроводов и т.п.

Полученные данные можно использовать как для оценки состояния существующих систем теплоснабжения, так и на стадии их проектирования.

3.1. Оценка необходимой степени увеличения расхода теплоносителя и диаметра теплопроводов

Для определения того, как изменяются диаметры тепловых сетей при изменении температуры теплоносителя, но при равном количестве потребляемой теплоты, воспользуемся приведённой ранее зависимостью (2.2.4).

Предположим, что изменение расхода теплоносителя равно ΔG , а обусловленное этим изменение диаметра теплопровода равно ΔD . Тогда $G_2 = G_1 + \Delta G$, а $D_2 = D_1 + \Delta D$. При условии равенства тепловых потоков получим:

$$\frac{G_1^2}{D_1^{5,25}} = \frac{(G_1 + \Delta G)^2}{(D_1 + \Delta D)^{5,25}}. \quad (3.1.1)$$

После математических преобразований получим следующую зависимость для определения изменения диаметра теплопровода в зависимости от изменения расхода теплоносителя:

$$\frac{\Delta D}{D} = \left(1 + \frac{\Delta G}{G_1}\right)^{8/21} - 1. \quad (3.1.2)$$

Данное соотношение может быть использовано при выполнении проектов по реконструкции тепловых сетей. Однако при этом следует иметь в виду, что расход теплоносителя в данном случае не является независимой переменной, всё обуславливается снижением температуры теплоносителя. Поэтому необходимо

определить, как нужно изменить расход теплоносителя при изменении его температуры.

Из условия постоянства тепловой мощности системы теплоснабжения до и после изменения температуры и расхода теплоносителя, получим, что:

$$c \cdot G \cdot t = c \cdot (G + \Delta G) \cdot (t + \Delta t). \quad (3.1.3)$$

Преобразуя уравнение (3.1.3) и выразив из него параметр $\Delta G/G$, получим зависимость изменения расхода от изменения температуры теплоносителя:

$$\frac{\Delta G}{G} = -\frac{\Delta t/t}{1 + \Delta t/t}, \quad (3.1.4)$$

$$\lim_{\frac{\Delta t}{t} \rightarrow 1} \frac{\Delta G}{G} = \lim_{\frac{\Delta t}{t} \rightarrow 1} \frac{-\Delta t/t}{1 + \Delta t/t} = \infty. \quad (3.1.5)$$

Как очевидно из уравнения (3.1.4), для оценки изменения расхода теплоносителя достаточно знать лишь начальную и конечную температуру теплоносителя.

Из полученных соотношений вытекает следующий алгоритм управления расходом в зависимости от Δt :

$$\begin{aligned} 1 + \frac{\Delta G}{G} &= 1 - \frac{\Delta t/t}{1 + \Delta t/t}, \\ \frac{G + \Delta G}{G} &= \frac{1}{1 + \Delta t/t}, \\ (G + \Delta G) &= G \cdot \left(\frac{t}{t + \Delta t} \right). \end{aligned} \quad (3.1.6)$$

При рассмотрении случая, когда учитываются свойства теплопотребляющего объекта, была использована следующая зависимость:

$$Q = KF \cdot (t - t_{вн}) / \left(1 + \frac{KF}{2cG} \right), \quad (3.1.7)$$

где: KF – характеристика теплопотребляющих свойств объекта теплоснабжения, показывающая, какое количество теплоты способен принять объект от системы теплоснабжения; $t_{вн}$ – температура внутреннего воздуха объекта теплоснабжения.

Учитывая, что количество переносимой теплоты Q остается неизменным, получим следующую зависимость:

$$\frac{KF(t-t_{\text{вн}})}{1+\frac{KF}{2cG}} = \frac{KF(t+\Delta t-t_{\text{вн}})}{1+\frac{KF}{2c(G+\Delta G)}}. \quad (3.1.8)$$

После математических преобразований выведено, что зависимость изменения расхода теплоносителя от изменения его температуры с учётом теплопотребляющих свойств объекта имеет следующий вид:

$$G+\Delta G = \frac{KF(t-t_{\text{вн}})}{2c \cdot \Delta t + \frac{KF(t+\Delta t-t_{\text{вн}})}{G}}. \quad (3.1.9)$$

При низкотемпературном теплоснабжении величина Δt должна удовлетворять следующему неравенству:

$$\Delta t > -\frac{(t-t_{\text{вн}})}{[1+(2cG)/(KF)]}. \quad (3.1.10)$$

Неравенство (3.1.10) указывает предельное значение Δt , при котором с теплоносителя расходом можно «снять» в точности нужное количество теплоты. Это значение не велико, например, при $t = 150 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{вн}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ и $(KF)/(2cG) = 0,1938$ должно быть $\Delta t > -21,43 \text{ }^\circ\text{C}$. Практика, как правило, допускает некоторое снижение потребляемой теплоты и вызванное с этим некоторое снижение температуры внутреннего воздуха. Поэтому можно считать, что при низкотемпературном теплоснабжении потребляемая теплота может составлять определенную долю φ от теплоты базового режима. При этом $0 \leq \varphi \leq 1$.

В связи с этим новый расход $(G+\Delta G)$ для новой температуры теплоносителя $(t+\Delta t)$ переписется в следующем виде:

$$\varphi \cdot \frac{KF(t-t_{\text{вн}})}{1+KF/(2cG)} = \frac{KF(t+\Delta t-t_{\text{вн}})}{1+KF/[2c(G+\Delta G)]}. \quad (3.1.11)$$

Выполнив некоторые преобразования, получим, что

$$(G+\Delta G) = \frac{\varphi \cdot KF(t-t_{\text{вн}})}{2c\Delta t + 2c(1-\varphi) \cdot (t-t_{\text{вн}}) + KF(t+\Delta t-t_{\text{вн}})/G}. \quad (3.1.12)$$

При этом величина Δt должна удовлетворять следующему неравенству:

$$\Delta t > -\frac{(t-t_{\text{вн}}) \cdot [1+(2cG)/(KF)] \cdot (1-\varphi)}{[1+(2cG)/(KF)]}. \quad (3.1.13)$$

При сравнении неравенства (3.1.10) и (3.1.13) было определено, что предельное значение Δt увеличилось, в частности, для $t = 150 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{вн}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$, $(KF)/(2cG) = 0,1938$ и $\varphi=0,8$ должно быть $\Delta t > -43,55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таким образом, допустимый диапазон снижения температуры теплоносителя, при котором потребителю в точности доставляется нужное по погоде количество теплоты (t базового режима является функцией температуры наружного воздуха t_n), весьма ограничен. Если Δt снижается на большую величину, то имеет место снижение качества теплоснабжения – потребителю может быть доставлено только меньшее количество теплоты.

В случае, если в целях стабильной работы оборудования на источнике теплоснабжения необходимо соблюсти условие неизменности температуры обратного теплоносителя, алгоритм изменения расхода при изменении температуры прямого теплоносителя будет выведен при помощи следующей формулы:

$$c \cdot G \cdot (t - t_{\text{об}}) = c \cdot (G + \Delta G) \cdot (t + \Delta t - t_{\text{об}}), \quad (3.1.14)$$

где: $t_{\text{об}}$ – температура обратного теплоносителя.

Преобразуя данную зависимость аналогично предыдущим, получим:

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{\Delta t / t}{(t_{\text{об}} / t) - (1 + \Delta t / t)}. \quad (3.1.15)$$

Таким образом, алгоритм управления расходом в зависимости от изменения температуры с учетом свойств теплопотребляющего объекта при условии постоянства температуры обратного теплоносителя будет выглядеть так:

$$(G + \Delta G) = G \cdot (t - t_{\text{об}}) / (t + \Delta t - t_{\text{об}}). \quad (3.1.16)$$

Важно отметить, что в данном случае при построении зависимости должно выполняться следующее условие: $t + \Delta t > t_{\text{об}}$.

Конечная формула для расчета изменения диаметра теплопровода при изменении температуры теплоносителя при условии постоянного теплового потока в системе и без учета свойств теплопотребляющего объекта будет выглядеть так:

$$\frac{\Delta D}{D} = \left(1 - \frac{\frac{\Delta t}{t}}{1 + \frac{\Delta t}{t}}\right)^{8/21} - 1. \quad (3.1.17)$$

Формула для аналогичных условий, но с учетом свойств теплопотребляющего объекта будет выглядеть так:

$$\frac{\Delta D}{D} = \left(\frac{KF(t - t_{\text{вн}})}{2cG\Delta t + KF(t + \Delta t - t_{\text{вн}})}\right)^{8/21} - 1. \quad (3.1.18)$$

Для проверки полученного уравнения был рассмотрен участок теплотрассы диаметром 0,5 м, с температурой теплоносителя 150 °С, с постоянной мощностью переносимого теплового потока и с постоянными гидравлическими характеристиками тепловой сети. При снижении температуры теплоносителя до 100 °С (на 33 %) установлено, что диаметр тепловой сети в описанных условиях должен увеличиться до 0,595 м (т.е. на 16 %).

После выполнения аналогичных пункту 3.1. расчётов при различных условиях был построен график зависимости диаметра участка теплопровода от изменения температуры теплоносителя без учета свойств теплопотребляющего объекта.

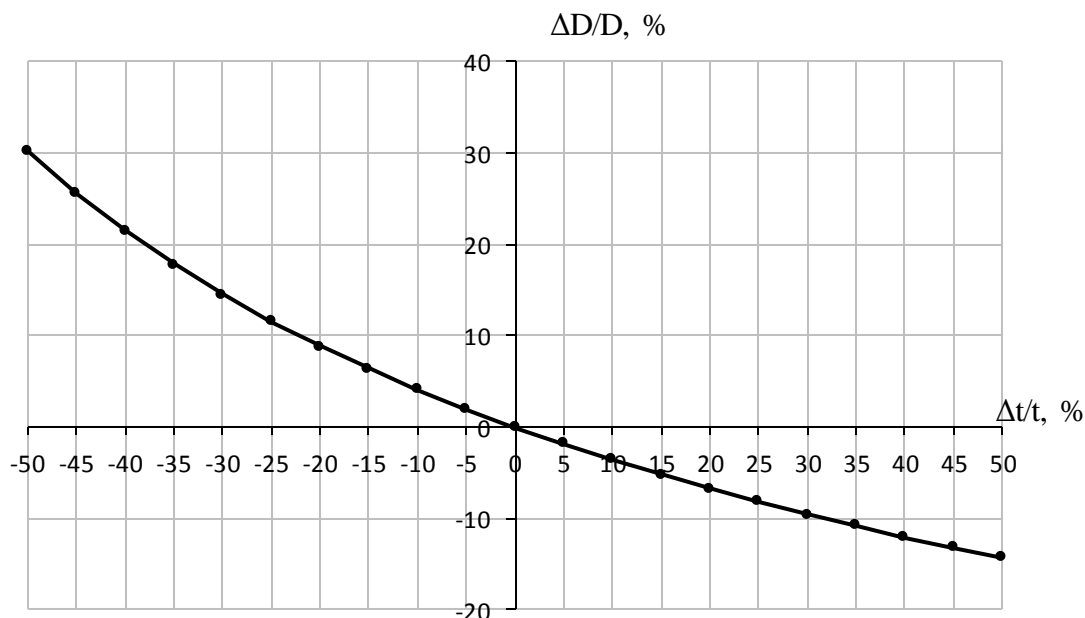


Рис. 3.1. Зависимость доли изменения диаметра теплопровода от доли изменения температуры теплоносителя при прочих равных условиях без учета свойств теплопотребляющего объекта

Данный график показывает, что при снижении температуры теплоносителя на 5, 10, 20, 30, 40, 50 % диаметр тепловой сети должен увеличиться на 2, 3,7, 8,9, 14,5, 21,6, 30,2 % соответственно.

На рис. 3.2. представлен график зависимости диаметра теплопровода от изменения температуры теплоносителя с учетом свойств теплопотребляющего объекта. При таких условиях при снижении температуры теплоносителя на 5, 10, 20, 30, 40, 50 % диаметр тепловой сети должен увеличиться уже на 2,3, 4,8, 10,5, 17,7, 26,8, 39,2 % соответственно.

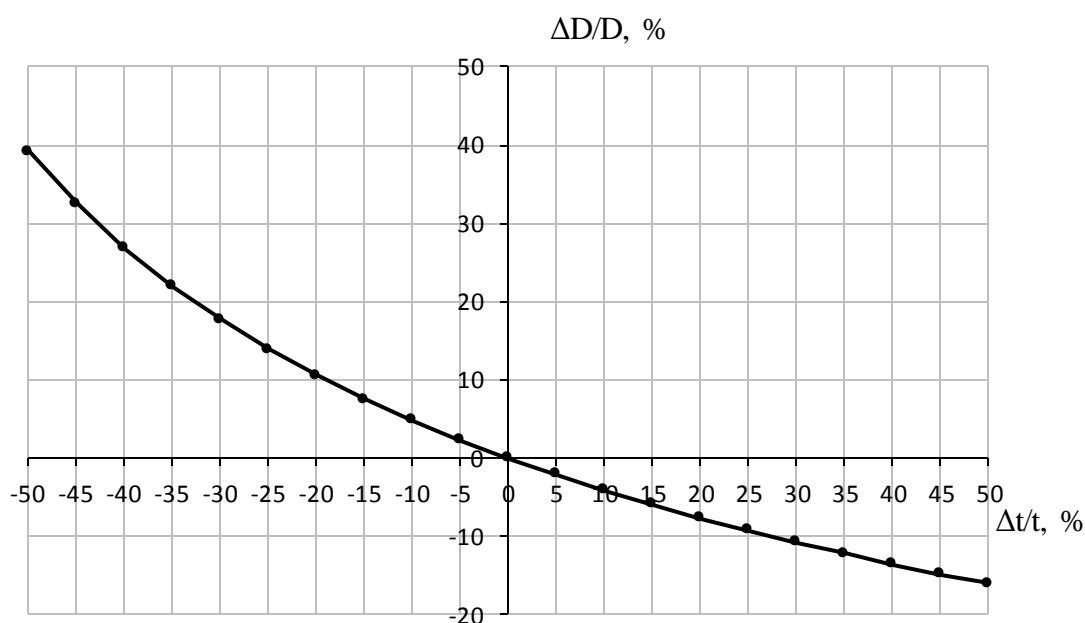


Рис. 3.2. Зависимость доли изменения диаметра теплопровода от доли изменения температуры теплоносителя при прочих равных условиях с учетом свойств теплопотребляющего объекта

Необходимо отметить, что изменение диаметров на указанные величины происходит при условии неизменных удельных потерь давления на трение. В некоторых случаях, когда изначально диаметры тепловых сетей подобраны с некоторым запасом прочности, и удельные потери давления не предельные, оптимальный диаметр тепловой сети при изменении температуры может отличаться от того, который получается по зависимости.

Например, считается, что на ОАО «ММК» диаметры теплопроводов на 10 % больше, чем было необходимо для параметров теплоносителя «150-70» °С, для

которых системы теплоснабжения были спроектированы. Это означает, что, судя по полученному графику, можно было бы снизить температуру теплоносителя примерно на 20 %, т.е. осуществить переход на температурный график теплоснабжения «120-70°C» без изменения диаметров тепловых сетей и без существенного увеличения мощности электрических сетевых насосов для перекачки теплоносителя.

Выводы.

- 1) Необходимый диаметр теплопровода при изменении температуры теплоносителя меняется по степенной зависимости
- 2) при переводе систем теплоснабжения с параметрами «150-70°C» на пониженные температуры теплоносителя («105-70°C», «95-70°C») необходимо увеличить диаметры тепловых сетей приблизительно на 20-30% для постоянных удельных потерь давления.

3.2. Оценка изменения удельных потерь давления в зависимости от температуры теплоносителя

Учитывая тот факт, что некоторые потребители централизованного теплоснабжения перешли на теплоснабжение от других источников, тепловые сети потеряли часть тепловой нагрузки, которая была у них по проекту. Это привело либо к уменьшению падения удельных потерь давления по длине теплопровода, либо к повышению температуры обратного теплоносителя.

В свою очередь, падение давления в теплопроводе приводит к снижению скорости теплоносителя ниже рекомендуемых значений (1 м/с) [1, 2], что грозит разрегулировкой гидравлического режима, увеличением тепловых потерь, а в отдельных случаях может привести к промерзанию участков теплопровода. Повышенные температуры обратного теплоносителя также означает увеличение тепловых потерь при транспортировке.

С учётом сказанного, было бы полезно вывести такую зависимость, которая позволила бы оценить, на сколько можно повысить удельные потери давления

(т.е. повысить расход теплоносителя, понизив его температуру), чтобы диаметры тепловой сети можно было оставить неизменными.

В случае, когда точно известно, насколько уменьшится тепловая нагрузка в результате отключения потребителей, можно вывести зависимость изменения температуры теплоносителя от изменения тепловой нагрузки.

Как известно, удельные потери давления вычисляются следующей формулой:

$$\Delta P_{\delta} = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \left(\frac{\lambda \cdot l}{D} + \sum \xi \right), \quad (3.2.1)$$

где: v – скорость теплоносителя, l – длина теплопровода, $\sum \xi$ – сумма местных потерь давления на 1 метр длины теплопровода.

Выразим λ через коэффициент шероховатости внутренней поверхности теплопровода:

$$\lambda = 0.11 \frac{k_s^{0,25}}{D^{0,25}}. \quad (3.2.2)$$

Согласно формуле (3.2.2), λ зависит от диаметра теплопровода и от коэффициента шероховатости. Соблюдая принятое условие о постоянстве диаметра теплопровода, суммы местных сопротивлений, коэффициента шероховатости системы получим, что параметр $\left(\frac{\lambda \cdot l}{D} + \sum \xi \right)$ остаётся постоянным как до изменения температуры, так и после. Также допускаем, что плотность теплоносителя с изменением его температуры не изменяется.

Известно, что скорость теплоносителя выражается при помощи следующей зависимости [18]:

$$v = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{G}{D^2 \cdot \rho}. \quad (3.2.3)$$

Принимая, что удельные потери давления изменились на ΔP , после математических преобразований получим следующую зависимость:

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_{\delta}} = \left(1 - \frac{\frac{\Delta t}{t}}{1 + \frac{\Delta t}{t}} \right)^2 - 1. \quad (3.2.4)$$

Для примера был рассмотрен случай, когда повышение потерь давления в теплопроводе должно быть не более, чем на 10 %. Было принято, что $\frac{\Delta P}{\Delta P_0} = 0,1$.

Тогда согласно зависимости (3.2.4) допустимое понижение температуры теплоносителя в системе, при котором соблюдаются нормативные удельные потери давления по длине теплопроводов, не должно превышать 5 % ($\frac{\Delta P}{P} = -0,47$).

График зависимости изменения удельных потерь давления в системе теплоснабжения от изменения температуры представлен на рис. 3.3.

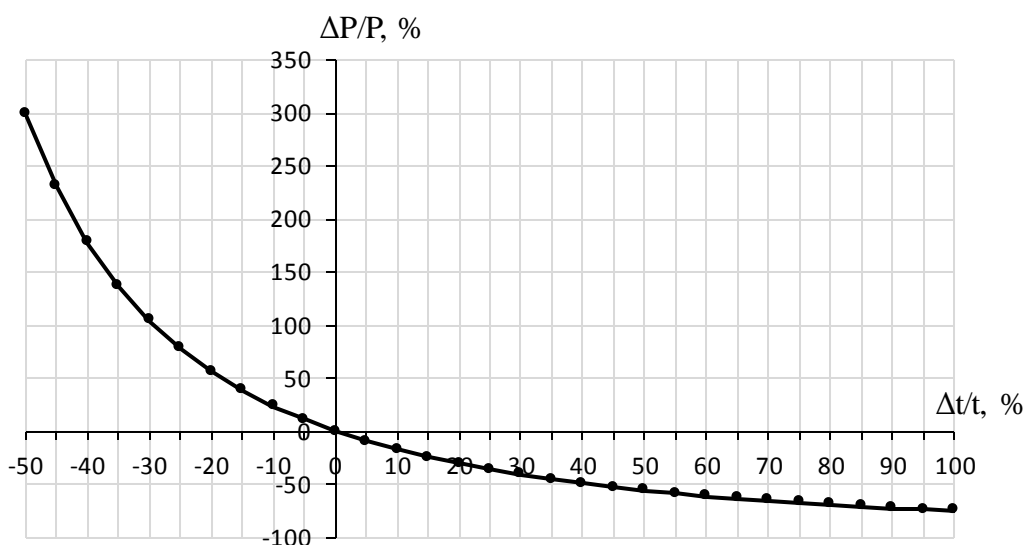


Рис 3.3. Зависимость изменения удельных потерь давления теплоносителя по длине теплопровода от изменения температуры теплоносителя при прочих равных условиях

Для оценки зависимости изменения температуры теплоносителя от изменения тепловой нагрузки системы было использовано рассмотренное ранее уравнение тепловой мощности:

$$Q = c \cdot t \cdot G.$$

(3.2.5)

Пусть изменение тепловой мощности обозначается ΔQ , а изменение температуры – Δt . Тогда, с учётом постоянства массового расхода теплоносителя выведем следующее уравнение:

$$\frac{c \cdot (t + \Delta t)}{Q + \Delta Q} = \frac{c \cdot t}{Q}. \quad (3.2.6)$$

Преобразовав формулу (3.2.6) получим прямолинейную зависимость изменения количества тепловой мощности и изменения температуры теплоносителя:

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta t}{t}. \quad (3.2.7)$$

Выводы.

1) Изменение потерь давления в теплопроводе при изменении температуры теплоносителя также носит гиперболический характер, тогда как изменение переносимой тепловой мощности – прямолинейный.

2) График функции (3.2.4) показывает, что даже небольшое снижение температуры теплоносителя при условии сохранения тепловой мощности вызывает существенное повышение потерь давления по длине теплопровода, т.е. требует значительного увеличения мощности сетевых насосов для перекачки теплоносителя.

3.3. Оценка изменения плотности теплового потока при изменении температуры теплоносителя

Как было выявлено в главе 2, температура теплоносителя оказывает существенное влияние на значение плотности теплового потока, поступающего в атмосферу в качестве потерь при транспортировке. В связи с этим было бы полезно оценить изменение тепловых потерь при транспортировке в зависимости от изменения температуры теплоносителя.

Линейная плотность теплового потока неизолированного теплопровода зависит от температуры теплоносителя и наружного воздуха и определяется по формуле:

$$q = \frac{\pi \cdot (t - t_H)}{\frac{1}{\alpha \cdot D}}. \quad (3.3.1)$$

При изменении температуры теплоносителя изменится как плотность теплового потока, так и диаметр теплопровода. Пусть изменение плотности теплового потока будет обозначено Δq , а изменение диаметра теплопровода равно ΔD . Тогда зависимость (3.3.1) переписывается в следующем виде:

$$q + \Delta q = \frac{\pi \cdot (t + \Delta t - t_H)}{\alpha \cdot (D + \Delta D)}. \quad (3.3.2)$$

Для упрощения выкладок примем, что значение суммарного коэффициента теплоотдачи α не зависит ни от температуры теплоносителя, ни от температуры наружного воздуха.

После ряда математических преобразований, получим:

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{\Delta t/t}{1 - t_H/t} \cdot \left(1 + \frac{\Delta D}{D}\right) + \frac{\Delta D}{D}. \quad (3.3.3)$$

Выразив параметр $\frac{\Delta D}{D}$ через зависимость (3.1.17), преобразуем зависимость (3.3.3) следующим образом:

$$\frac{\Delta q}{q} = \left(1 - \frac{\Delta t}{t}\right)^{8/21} \cdot \left(\frac{\Delta t}{1 - \frac{t_H}{t}} + 1\right). \quad (3.3.4)$$

Для упрощения функции (3.3.4) введем следующие обозначения:

$$\frac{\Delta q}{q} = y;$$

$$\frac{\Delta t}{t} = x;$$

$$1 - \frac{t_H}{t} = a.$$

Тогда последняя зависимость переписывается в виде:

$$y = \left(1 - \frac{x}{1+x}\right)^{8/21} \cdot \left(\frac{x}{a} + 1\right) - 1. \quad (3.3.5)$$

Пусть температура теплоносителя равна 150 °С, а температура наружного воздуха равна -34 °С, тогда $a = 1,23$. Для данных условий график зависимости изменения линейной плотности теплового потока от изменения температуры теплоносителя представлен на рис. 3.4.

Данный график при таких условиях представляет собой практически прямолинейную зависимость и показывает, что с уменьшением температуры теплоносителя значение тепловых потерь уменьшается, и увеличение площади поверхности теплопроводов на это уменьшение практически не влияет, что совпадает с результатами, полученными в главе 2.

Однако, теоретически, в случае, когда температура теплоносителя слишком низкая и диаметры тепловой трассы большие (соответственно, большая площадь поверхности теплопровода), в графике функции 3.3.5 появляется четко выраженный экстремум. Экстремум свидетельствует о наличии такой температуры теплоносителя, при снижении которой тепловые потери начинают расти даже если теплопровод изолирован.

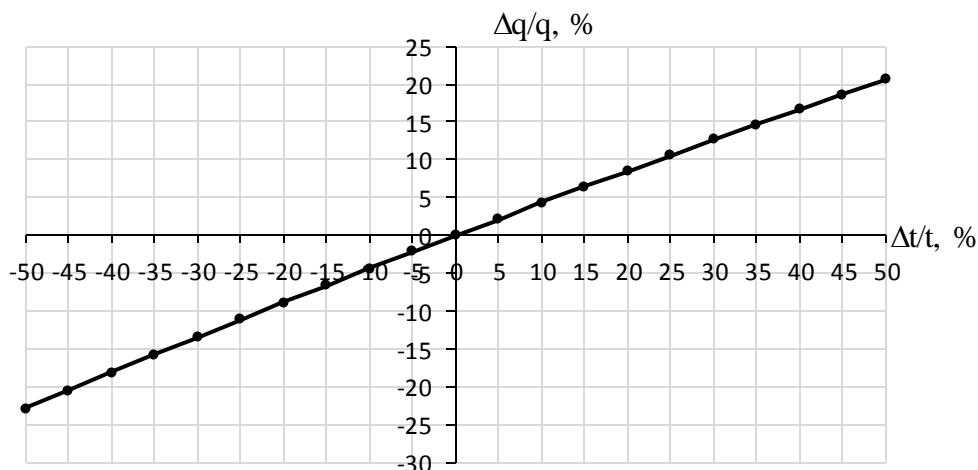


Рис. 3.4. Зависимость доли изменения плотности теплового потока теплоносителя от доли изменения температуры теплоносителя (при $t_n = -34 \text{ }^\circ\text{C}$, и $t = 150 \text{ }^\circ\text{C}$)

Например, если принять, что температура теплоносителя равна $30 \text{ }^\circ\text{C}$, а температура наружного воздуха – $-34 \text{ }^\circ\text{C}$, т.е. параметр $a = 2,13$, можно увидеть, что всё-таки существует предел для снижения температуры теплоносителя. Так, при данных условиях снижение температуры теплоносителя более, чем на 30% приводит к увеличению тепловых потерь. График рассматриваемой зависимости для таких условий представлен на рис. 3.5.

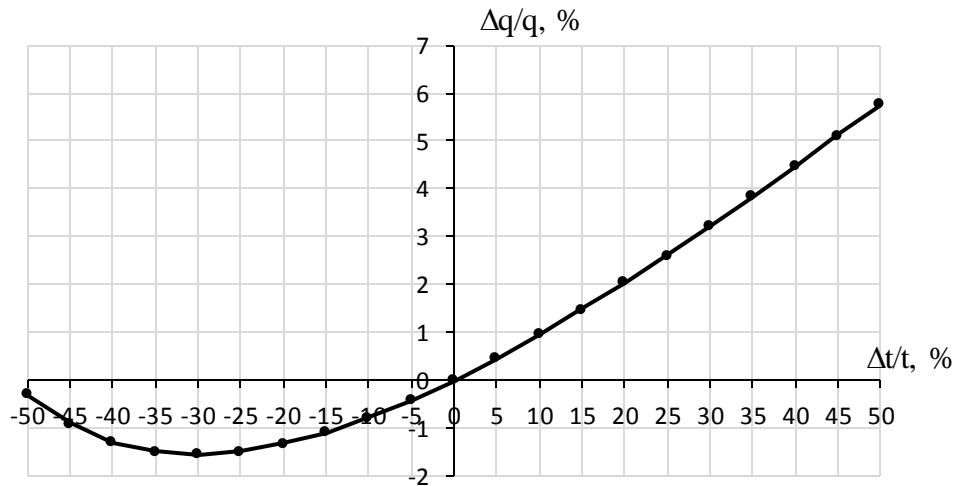


Рис. 3.5. Зависимость доли изменения плотности теплового потока теплоносителя от доли изменения температуры теплоносителя (при $t_n = -34 \text{ }^\circ\text{C}$, и $t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$)

Выводы.

- 1) В реальных условиях тепловые потери при транспортировке в изолированном теплопроводе прямо пропорциональны температуре теплоносителя и практически прямолинейно зависят от нее.
- 2) Оптимальная температура, при которой достигается минимум тепловых потерь при транспортировке, существует даже для изолированных теплопроводов.

3.4. Управление расходом теплоносителя при изменении его температуры

На следующем этапе была поставлена задача разработки алгоритма управления расходом теплоносителя в зависимости от изменения его температуры.

Рассмотрим несколько случаев изменения температуры теплоносителя в тепловой сети:

- 1) $t = 150 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta t = -50 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура понизилась на 33 %)
- 2) $t = 150 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta t = -30 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура понизилась на 20 %)
- 3) $t = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta t = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура понизилась на 16,7 %)
- 4) $t = 95 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ (температура повысилась на 31,6 %)

Решая задачу с использованием зависимости (3.1.6), получим следующие результаты для всех четырех случаев:

- 1) $\Delta G/G = 0,5$ (количество теплоносителя увеличилось на 50 %)
- 2) $\Delta G/G = 0,25$ (количество теплоносителя увеличилось на 25 %)
- 3) $\Delta G/G = 0,19$ (количество теплоносителя увеличилось на 19 %)
- 4) $\Delta G/G = -0,27$ (количество теплоносителя уменьшилось на 27 %)

Для наглядности полученных результатов был построен график зависимости изменения расхода теплоносителя от изменения температуры теплоносителя.

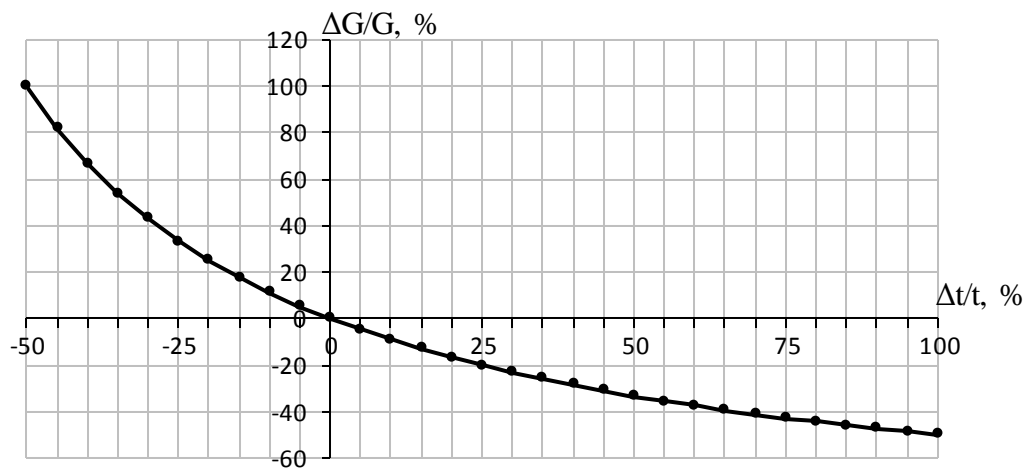


Рис. 3.6. Зависимость изменения расхода теплоносителя от изменения температуры теплоносителя при прочих равных условиях без учета свойств теплопотребляющего объекта

Анализируя полученный график можно сделать вывод, что понижение температуры на 5, 10, 20, 30, 40, 50 % дает увеличение расхода теплоносителя на 5,3, 11, 25, 42,9, 66,7, 100 % соответственно.

На рис. 3.7. приведен график изменения расхода теплоносителя в зависимости от изменения его температуры с учётом свойств теплопотребляющего объекта для следующих условий: $t = 150$ °С, $KF = 7000$ Вт/°С, $t_{en} = 20$ °С согласно зависимости (3.1.9).

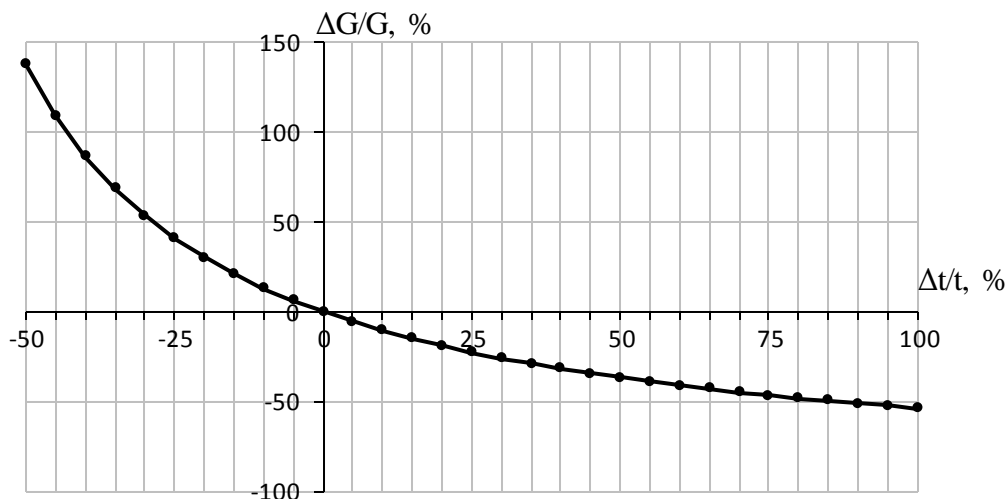


Рис. 3.7. Зависимость изменения расхода теплоносителя от изменения температуры теплоносителя при прочих равных условиях с учетом свойств теплопотребляющего объекта

Данный график показывает, что при снижении температуры на 5, 10, 20, 30, 40, 50 %, расход теплоносителя необходимо увеличивать на 6,2, 13,1, 30,2, 53,4, 86,7, 138,3 % соответственно.

Функциональная схема системы управления расходом теплоносителя представлена на рис. 3.8.

На рис. 3.8.: SC – частотный преобразователь, TE – датчики температуры наружного воздуха и прямой воды t , FC – регулятор расхода, ТУ – блок вычислений, вычисляющий по температуре наружного воздуха базовое значение температуры теплоносителя t .

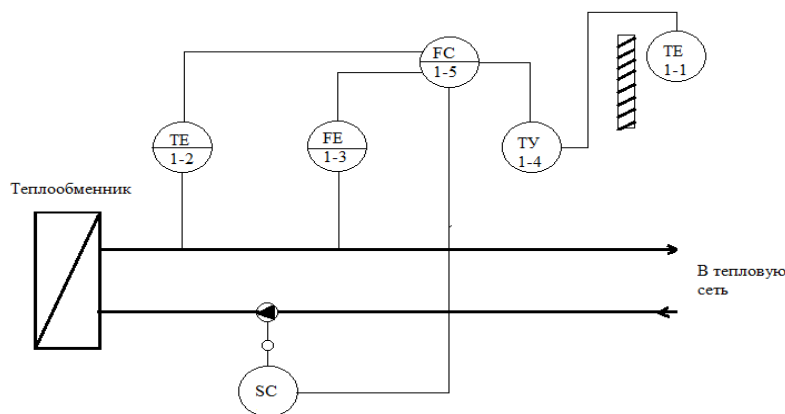


Рис. 3.8. Структура адаптивной системы управления расходом теплоносителя в зависимости от изменения его температуры

В данной схеме управляющим воздействием является расход теплоносителя. Управляемая величина – температура внутреннего воздуха теплопотребляющего объекта. При ее отклонении от нормативного значения, на управляющее устройство подается сигнал, в блок идентификации поступают данные по: температуре внутреннего воздуха, по температуре подающего теплоносителя до и после ее изменения, по массовому расходу теплоносителя. В блоке компенсации происходит вычисление величины, на которую необходимо изменить расход теплоносителя. Эта информация подается на управляющее устройство, после которого срабатывает орган управления – регулятор расхода.

Выводы.

- 1) Изменение расхода теплоносителя происходит по гиперболической зависимости от изменения температуры теплоносителя.
- 2) Учитывая, что в системе теплоснабжения обратный теплоноситель должен иметь определенную температуру (обычно 70 °С), понижение температуры прямого теплоносителя и, следовательно, снижение температурного напора в системе, приводит к существенному росту количества теплоносителя.

Выводы по третьей главе

1. Получены соотношения, позволяющие определять изменение основных параметров тепловой сети – диаметра, расхода, линейной плотности теплового потока – от изменения температуры теплоносителя.
2. Изменение количества переносимой теплоты линейно зависит от изменения температуры теплоносителя. Изменение диаметра теплопровода, расхода теплоносителя, линейной плотности теплового потока представляют нелинейные зависимости от изменения температуры теплоносителя.
3. Наиболее сильно от изменения температуры теплоносителя зависит расход теплоносителя и линейная плотность теплового потока.

ГЛАВА 4. ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРОЙ И РАСХОДОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Как известно, для доставки потребителям требуемого количества теплоты при пониженных параметрах теплоносителя необходимо увеличить его расход. Все это потребует либо увеличения пропускной способности тепловых сетей, и, соответственно, огромных затрат на прокладку и монтаж новых тепловых трасс, либо установки более мощных сетевых насосов, что неизбежно приведет к росту расхода электрической энергии на перекачку теплоносителя. Поскольку прокладка и монтаж новых тепловых сетей является весьма трудным и весьма затратным мероприятием, то есть смысл рассмотреть задачу о поиске таких температуры и расхода теплоносителя, при которых минимальными были бы не только потери теплоты при транспортировке, но и затраты электрической энергии на перекачку теплоносителя. Минимизация потерь теплоты при транспортировке, в конечном счете, приводит к уменьшению потребного расхода теплоносителя.

4.1. Задача оптимального управления температурой и расходом теплоносителя без учета характеристик теплопотребляющего объекта

Рассматривался участок тепловой сети заданного диаметра, по которому передается некоторое количество теплоты Q . Была поставлена задача определить такую температуру и такой расход теплоносителя, при которых сумма затрат электрической энергии на его транспортировку и потерь тепловой энергии были бы минимальными.

Известно, что электрическая мощность $W_э$, необходимая для перекачки теплоносителя на расстояние l м, вычисляется по следующей формуле [18]:

$$W_э = \frac{0,11 \cdot k_э^{0,25}}{D^{5,25}} \cdot \frac{8G^3 \cdot (1 + \varepsilon)}{\rho^2 \cdot \pi^2 \cdot \eta_H \cdot \eta_э}, \quad (4.1.1)$$

где: η_H - КПД насоса, $\eta_э$, - КПД электродвигателя насоса, ε - доля местных потерь давления.

Выразив G через зависимость (3.2.5) и подставив ее в уравнение (4.1.1), получим, следующее:

$$W_э = 0,88 \cdot \frac{k_э^{0,25}}{D^{5,25}} \cdot \frac{Q^3 \cdot (1 + \varepsilon)}{c^3 \cdot t^3 \cdot \rho^2 \cdot \pi^2 \cdot \eta_H \cdot \eta_э}. \quad (4.1.2)$$

Анализируя формулу (4.1.2) можно выявить, что расход электрической энергии на перекачку зависит от температуры теплоносителя, переносимой тепловой мощности и диаметра теплопровода. Из (4.1.2), в частности, отчетливо видно, что чем выше температура теплоносителя, тем меньше при прочих равных условиях расход электрической энергии на перекачку. Поскольку переносимая тепловая мощность и диаметр теплопровода на практике – это заданные величины, то представляет интерес задача выбора температуры теплоносителя.

Потеря теплоты одним погонным метром теплопровода в окружающую среду за единицу времени определяется линейной плотностью теплового потока q :

$$q = \frac{\pi \cdot (t - t_H)}{R_l}, \quad (4.1.3)$$

где: R_l - линейное термическое сопротивление теплопередаче [115].

Следовательно, суммарные затраты энергетических ресурсов (электрической энергии на перекачку теплоносителя и тепловой энергии для восполнения тепловых потерь) W_Σ , Вт, приходящиеся на один погонный метр теплопровода, можно рассчитать по следующей зависимости [118]:

$$W_\Sigma = W_э + q = 0,88 \cdot \frac{k_э^{0,25}}{D^{5,25}} \cdot \frac{Q^3 \cdot (1 + \varepsilon)}{c^3 \cdot t^3 \cdot \rho^2 \cdot \pi^2 \cdot \eta_H \cdot \eta_э} + \pi \cdot (t - t_H) / R_l. \quad (4.1.4)$$

На практике чаще всего требуется оценить затраты в рублях. Для этого введем в зависимость (4.1.4) цену (тарифы) на тепловую и электрическую энергию: Z_m и $Z_э$ соответственно. Тогда с учётом цен на энергоресурсы формула (4.1.4) примет следующий вид:

$$3_{\Sigma} = 3_{\vartheta} + 3_m = 0,88 \cdot \frac{k_{\vartheta}^{0,25}}{D^{5,25}} \cdot \frac{Q^3 \cdot (1+\varepsilon) \cdot Z_{\vartheta}}{c^3 \cdot t^3 \cdot \rho^2 \cdot \pi^2 \cdot \eta_H \cdot \eta_{\vartheta}} + Z_m \cdot \pi \cdot (t - t_H) / R_l. \quad (4.1.5)$$

Для упрощения дальнейших выкладок были введены следующие обозначения:

$$a = 0,88 \cdot \frac{k_{\vartheta}^{0,25}}{D^{5,25}} \cdot \frac{Q^3 \cdot (1+\varepsilon) \cdot Z_{\vartheta}}{c^3 \cdot \rho^2 \cdot \pi^2 \cdot \eta_H \cdot \eta_{\vartheta}},$$

$$b = \frac{Z_m \cdot \pi}{R_l},$$

$$s = -\frac{Z_m \cdot \pi \cdot t_H}{R_l}.$$

С учётом упрощающих обозначений, формулу (4.1.5) можно переписать в следующем виде:

$$3_{\Sigma} = \frac{a}{t^3} + b \cdot t + s. \quad (4.1.6)$$

Как видно из (4.1.6), суммарные затраты энергетических ресурсов зависят только от температуры теплоносителя, причём нельзя заранее определить, будут ли они с увеличением температуры уменьшаться, или наоборот.

Для нахождения такого значения температуры теплоносителя, при котором сумма расхода электрической энергии на его перекачку и потери теплоты в окружающую среду, приходящиеся на один погонный метр теплопровода, будет минимальной, была записана следующая задача оптимизации:

$$3_{\Sigma} = \frac{a}{t^3} + b \cdot t + s \rightarrow \min_t. \quad (4.1.7)$$

Решая данную задачу методом производной, было определено, что точка, «подозрительная на экстремум», имеет следующую координату по температуре теплоносителя:

$$t = \sqrt[4]{\frac{3a}{b}}. \quad (4.1.8)$$

Для выяснения характера экстремума была вычислена вторая производная $\frac{d^2 z_{\Sigma}}{dt^2}$ при $t = \sqrt[4]{\frac{3a}{b}}$. В результате вычислений было установлено, $\frac{d^2 z_{\Sigma}}{dt^2} > 0$ что, следовательно, при $t = \sqrt[4]{\frac{3a}{b}}$ достигается минимум z_{Σ} [118].

Для примера расчет оптимальных температуры и расхода теплоносителя выполнили для подающего, неизолированного, наружно проложенного теплопровода в климатических условиях г. Магнитогорска. При этом полагалось, что температура наружного воздуха равна -34°C , скорость ветра – 3 м/с, переносимая тепловая мощность (мощность, отпущенная источником) 66 МВт, условный диаметр теплопровода 350 мм, эквивалентная шероховатость внутренней поверхности 0,5 мм [18], доля местных потерь давления 0,25, общий КПД насоса и его электродвигателя – 0,6. Суммарный коэффициент теплоотдачи для наружной поверхности теплопровода определялся по справочным данным [21, стр. 263] и составил 15 Вт/(м²°C). Оптимальная температура теплоносителя для указанных условий равна $46,9^{\circ}\text{C}$. При такой температуре теплоносителя расход электрической энергии на перекачку будет равным 260,76 Вт, а тепловые потери теплопровода составят 1333,64 Вт. Расход теплоносителя при такой температуре равен 335 кг/с. При более высоких и более низких температурах теплоносителя, как это следует из таблицы 1, W_{Σ} возрастает. Все это действительно свидетельствует о наличии отчетливо выраженного экстремума W_{Σ} по температуре теплоносителя t [118].

Необходимо учесть также тот факт, что в настоящее время цена электрической энергии на порядок выше цены тепловой энергии, очевидно, что учет этого приведет только к росту оптимальной температуры теплоносителя.

Известно, что, по данным ОАО «ММК», цена на электрическую энергию практически в 3,6 раза выше, чем на тепловую энергию. В этом случае расчет показывает, что оптимальная температура, вычисленная по формуле (4.1.8.), равна $64,6^{\circ}\text{C}$. Оптимальный расход теплоносителя при этом равен 245 кг/с. Для иллюстрации этого факта на рис. 4.1. приведена кривая зависимости суммарных

потерь денежных единиц за 1 секунду из-за расходов на электрическую энергию на перекачку и из-за потерь тепловой энергии в окружающую среду от температуры теплоносителя.

Таблица 4.1 Расход электрической энергии на перекачку и потеря тепловой энергии в окружающую среду

Температура теплоносителя, °С	Расход теплоносителя, кг/с	Расход электрической энергии на перекачку, Вт	Мощность тепловых потерь в окружающую среду, Вт	Суммарные потери энергии, Вт
30	557	996,31	1055,04	2051,35
40	396	420,32	1219,89	1640,21
46,9	335	260,76	1333,64	1594,40
50	317	215,20	1384,74	1599,94
60	264	124,54	1549,59	1674,13
70	226	78,43	1714,44	1792,87
80	198	52,54	1879,29	1931,83
90	176	36,90	2044,14	2081,04
100	158	26,90	2208,99	2235,89
110	144	20,21	2373,84	2394,05
120	132	15,57	2538,69	2554,26

Приведённые расчёты справедливы для неизолированного участка теплопровода, когда имеют место высокие тепловые потери. Если же рассматриваемый участок теплопровода изолирован, то тепловые потери существенно сократятся, и значение оптимальной температуры теплоносителя будет более высоким.

В качестве примера можно рассмотреть аналогичный участок теплопровода, покрытый слоем изоляции, равным 0,05 м, с коэффициентом теплопроводности 0,045 Вт/(м°С).

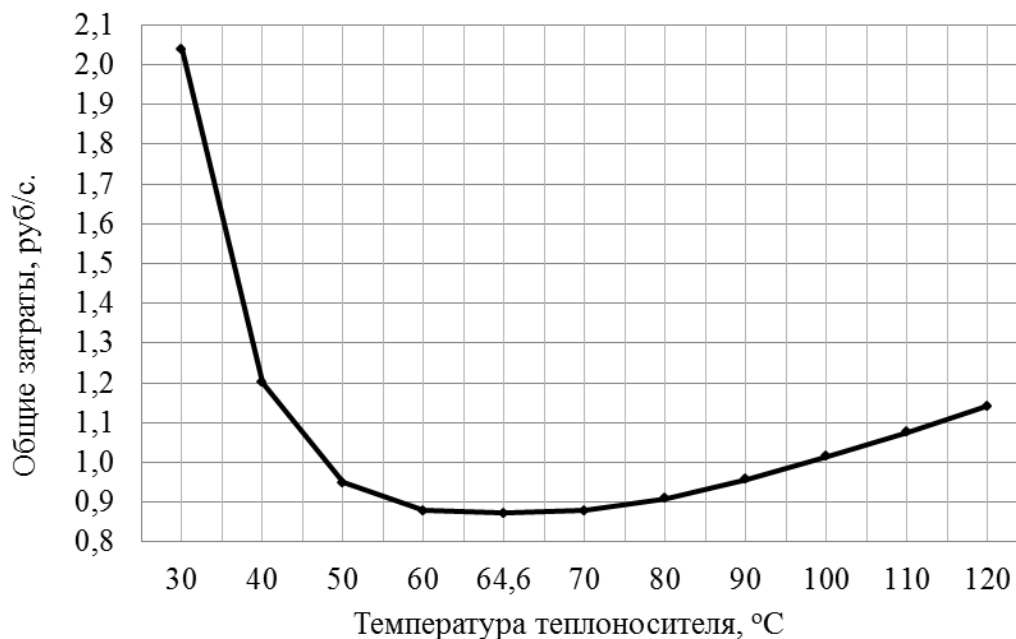


Рис. 4.1. Суммарный расход денежных единиц за 1 с в зависимости от температуры теплоносителя

Полученная зависимость (4.1.8.) существенно не изменится, однако, термическое сопротивление через изолированный слой теплопровода в этом случае будет определяться так:

$$R = \frac{1}{2 \cdot \lambda_{из}} \ln \frac{D_{нар}}{D} + \frac{1}{\alpha_{\Sigma} \cdot D_{нар}}. \quad (4.1.9)$$

В случае, если теплопровод изолирован, то оптимальная температура теплоносителя будет равна уже 127,0 °C, а его расход равен 105 кг/с.

Помимо наличия или отсутствия тепловой изоляции, на значение оптимальной температуры и оптимального расхода теплоносителя могут оказать влияние и такие факторы, как тарифы на электрическую и тепловую энергию, КПД насоса и его электродвигателя, степень износа теплопроводов, доля местных сопротивлений в системе теплоснабжения и т.п. В связи с этим был проведен еще ряд аналогичных расчётов, но уже для других случаев.

Расчеты проводились для двух участков изолированных открыто проложенных теплопроводов диаметром 100 мм (ответвление) и 800 мм (магистральный теплопровод). Тепловая нагрузка для каждого участка равна соответственно 1,5 и 150 МВт.

Было принято, что сумма коэффициентов местных сопротивлений (ξ) равна 0,1 на 1 метр длины трассы. Доля местных потерь рассчитана по методике Е.Я. Соколова [18 стр. 190-191].

Оптимальная температура и расход рассчитывались с учётом следующих изменяющихся факторов:

- для КПД насосной установки, равным 0,4; 0,5; 0,6;
- для теплопроводности изоляционного слоя, равной 0,045 Вт/(м^{°С}); 0,09 Вт/(м^{°С});
- для коэффициента шероховатости внутренней поверхности теплопровода, равным 0,5 мм, 2,0 мм.

Соотношение тарифов на электрическую и тепловую энергию было принято равным 6,6.

В ходе исследований было выявлено, что такие факторы как скорость ветра и температура наружного воздуха незначительно влияют на значение оптимальной температуры (в пределах 0,1^{°С}) и на оптимальный расход (в пределах 0,02 кг/с) из-за наличия слоя тепловой изоляции, поэтому их вариация не представляет особого интереса.

Результаты расчётов сведены в таблицу 4.2.

Данная таблица показывает, что:

- 1) при увеличении КПД насосной установки значение оптимальной температуры падает. Причём, чем выше диаметр теплопровода, тем больше ее снижение;
- 2) значение оптимальной температуры понижается с ухудшением свойств тепловой изоляции (для большего диаметра наблюдается большее снижение);
- 3) увеличение коэффициента шероховатости внутренней поверхности теплопровода приводит к увеличению значения оптимальной температуры (чем меньше диаметр, тем больше увеличение);

Таблица 4.2. Значение оптимальной температуры и расхода теплоносителя при различных условиях

	k_3	КПД	$\lambda = 0,045$		$\lambda = 0,09$	
			$t, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$t, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$
$Q=1,5, \text{МВт}$ $D=100, \text{мм},$	0,5	0,4	63,09	7,66	53,69	9,00
		0,5	59,67	8,10	50,77	9,52
		0,6	57,01	8,48	48,51	9,96
	2,0	0,4	67,48	7,16	57,42	8,42
		0,5	63,82	7,57	54,31	8,90
		0,6	60,97	7,93	51,89	9,30
$Q=150, \text{МВт}$ $D=800, \text{мм}$	0,5	0,4	130,26	371,06	111,07	435,14
		0,5	123,19	392,35	105,05	460,11
		0,6	117,70	410,65	100,37	481,57
	2,0	0,4	132,60	364,50	113,07	427,45
		0,5	125,41	385,41	106,94	451,97
		0,6	119,82	403,39	102,17	473,05

4) чем выше КПД насосной установки, тем меньше оказывает влияние на значение оптимальной температуры теплоносителя состояние тепловой изоляции;

5) коэффициент теплопроводности тепловой изоляции (т.е. состояние тепловой изоляции) является наиболее важным фактором, определяющим оптимальную температуру теплоносителя.

Во всех расчётах получилось, что наиболее высокие температуры характерны для больших диаметров теплопроводов. Для малых диаметров характерны очень низкие температуры. Это объясняется тем, что через теплопровод с небольшим диаметром можно пропустить лишь теплоноситель с малой тепловой нагрузкой, т.к. для того, чтобы увеличить тепловую нагрузку, необходимо либо увеличить температуру теплоносителя, либо увеличить его расход. Согласно зависимости (2.2.3) коэффициент конвективной теплоотдачи

зависит от наружного диаметра теплопровода. Если рассмотреть указанную зависимость более подробно, то можно выявить, что при уменьшении диаметра теплопровода коэффициент конвективной теплоотдачи возрастает, что ведет к увеличению тепловых потерь: $\alpha_k = \frac{0,175 \cdot \beta \cdot \nu^{0,6} \cdot \lambda_g}{D^{0,4} \cdot \mu^{0,6}}$. Увеличение же расхода теплоносителя зачастую невозможно из-за ограничений по потерям давления (до 300 Па/м).

В качестве следующего этапа исследования был рассмотрен и случай с подземно проложенными теплопроводами при описанных выше условиях. Расчеты проводились для канальной и бесканальной прокладки.

Расчеты термического сопротивления проводились по методике, описанной в [1]. Было принято, что сумма коэффициентов местных сопротивлений равна 0,1 на 1 метр длины трассы.

Также было принято, что КПД насосной установки для всех случаев равен 0,6, коэффициент теплопроводности тепловой изоляции равен 0,045 Вт/(м°C), соотношение цен на электрическую и тепловую энергию равно 6,6, коэффициент шероховатости внутренней поверхности теплопровода равен 0,5 мм, глубина заложения теплопроводов равна 1 м, теплопроводность грунта принята 1,7 Вт/(м°C) [1], коэффициент теплопередачи принят равным 10 для бесканальной прокладки и 12 для канальной прокладки [1], теплопроводность стенок канала принята 1,3 [1], толщина стенок канала принята 1 см, размеры канала определялись произвольно в зависимости от диаметра теплопровода.

Данные расчеты показывают, что, поскольку тепловые потери при подземной прокладке ниже, чем при надземной, значение оптимальной температуры увеличивается. Так, например, для ответвления $D=100$ мм и магистрали $D=800$ мм при нагрузках 1,5 МВт и 150 МВт соответственно, значения оптимальных температур, согласно расчетам, равны 58,26 и 124,02 °С соответственно при бесканальной прокладке и 59,21 и 125,74 °С соответственно при канальной прокладке. Оптимальный расход в первом случае равен 8,30 кг/с и

389,71 кг/с соответственно. Во втором случае расход теплоносителя равен 8,16 и 384,41 кг/с соответственно.

Также были проведены расчеты для открыто проложенных изолированных теплопроводов различных диаметров (от 70 до 900 мм), ответвлениями считаются теплопроводы с диаметрами менее 500 мм.

Условия расчета были такими же, что и в предыдущих расчетах. КПД насосной установки был принят равным 0,5; 0,6; 0,65, соотношение тарифов на электрическую и тепловую энергию – 13,2; 6,6; 3,3, коэффициент шероховатости внутренней поверхности теплопровода – 0,5 мм, теплопроводность изоляционного слоя – 0,045 Вт/(м°С);

Результаты расчетов оптимальных значений температур теплоносителя для некоторых диаметров с различными тепловыми нагрузками представлены на рисунках 4.2 – 4.7.

Графики 4.2-4.7 показывают изменение значения оптимальной температуры теплоносителя в зависимости от соотношения цен на электрическую и тепловую энергию и КПД насосной установки.

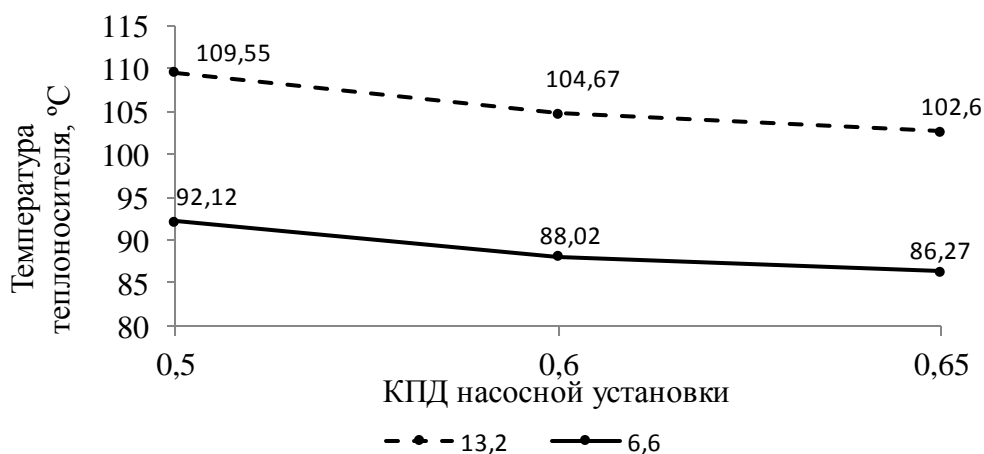


Рис. 4.2 Зависимость оптимальных температур теплоносителя от КПД насосной установки при $D=100$ мм, $Q=2,5$ МВт

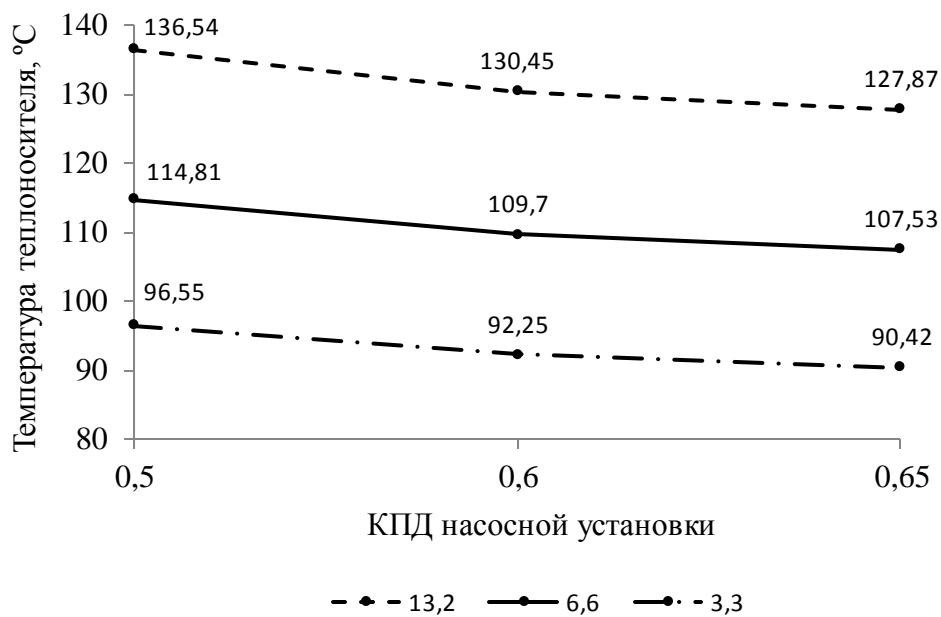


Рис. 4.3 Зависимость оптимальных температур теплоносителя от КПД насосной установки при $D=200$ мм, $Q=12$ МВт

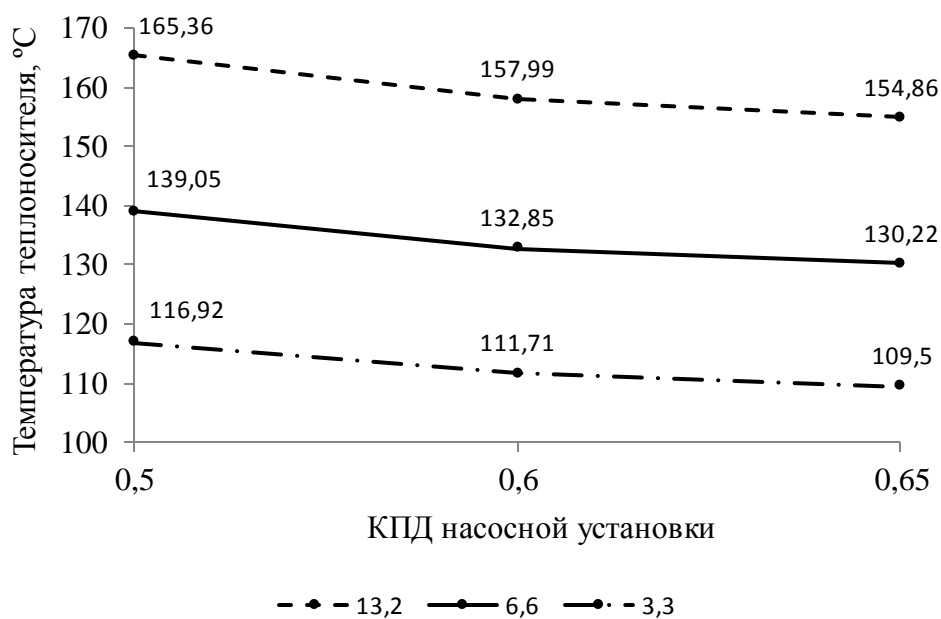


Рис. 4.4 Зависимость оптимальных температур теплоносителя от КПД насосной установки при $D=400$ мм, $Q=50$ МВт

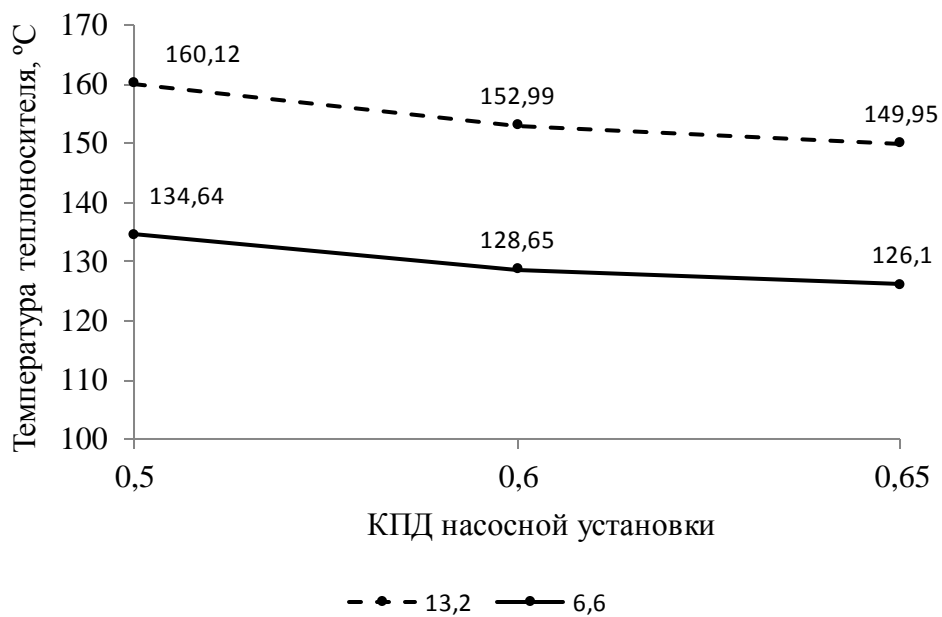


Рис. 4.5 Зависимость оптимальных температур теплоносителя от КПД насосной установки при $D=500$ мм, $Q=70$ МВт

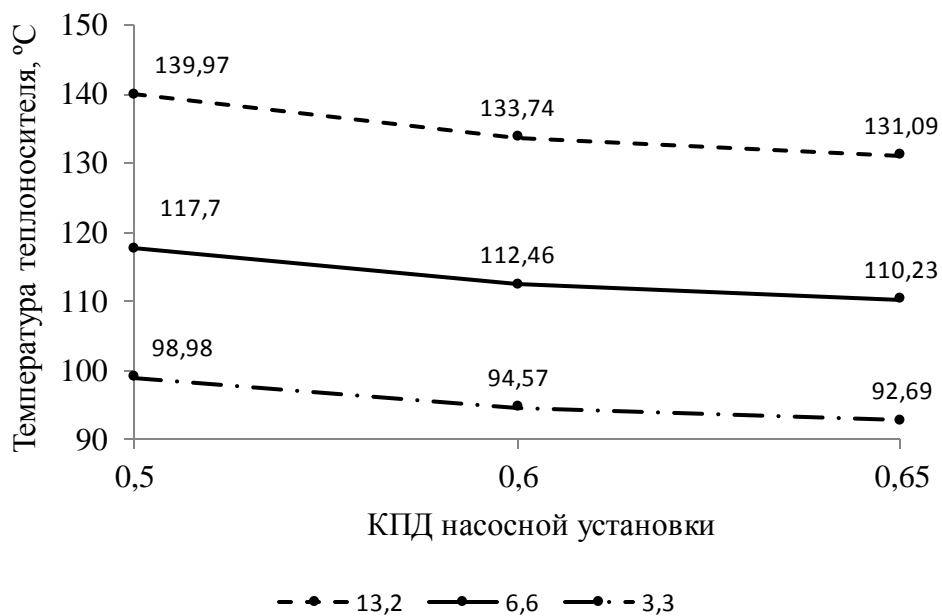


Рис. 4.6 Зависимость оптимальных температур теплоносителя от КПД насосной установки при $D=700$ мм, $Q=100$ МВт

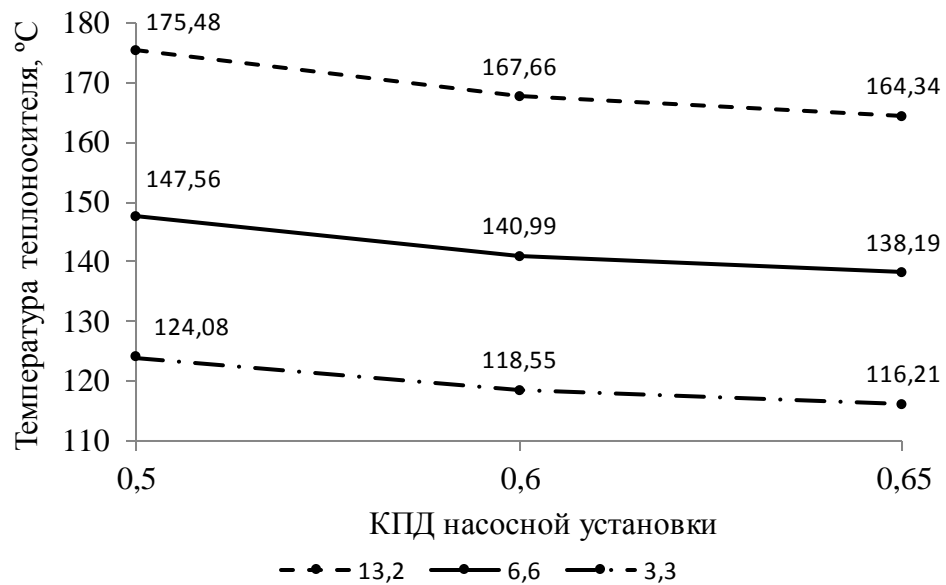


Рис. 4.7 Зависимость оптимальных температур теплоносителя от КПД насосной установки при $D=900$ мм, $Q=200$ МВт

Оптимальный расход при снижении соотношения тарифов на электрическую и тепловую энергию, а так же при увеличении КПД насосной установки, увеличивался до 40% (с 7,35 кг/с до 9,34 для графика 4.2; с 28,32 кг/с до 42,76 для графика 4.3; с 97,43 кг/с до 147,13 для графика 4.4; с 140,87 кг/с до 178,88 для графика 4.5; с 230,2 кг/с до 347,62 для графика 4.6 и с 367,25 кг/с до 554,57 для графика 4.7).

Температура при аналогичных условиях снижалась, изменяясь в широких диапазонах (от 90,42 до 175,48°C). При этом наиболее низкие значения температур получились при высоком КПД насосной установки и при низком соотношении цен на электрическую и тепловую энергии, что может быть вполне логично объяснено.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что низкотемпературные параметры регулирования теплоснабжения выгодно применять в системах с хорошим состоянием теплотрасс и оборудования (изоляции, теплопроводов и насосных установок) и при невысокой разнице тарифов на электрическую и тепловую энергию (соотношение цен должно быть в пределах 2-4 раза).

Таким образом, все полученные результаты показали, что зависимость (4.1.8.) позволяет определить оптимальную температуру теплоносителя с точки зрения сокращения затрат на электрическую энергию при перекачке теплоносителя и затрат на восполнение тепловых потерь через поверхность теплопровода. Показано, что значение оптимальной температуры зависит от многих факторов, поэтому нельзя говорить о какой-то конкретной оптимальной температуре теплоносителя для теплотранспортных систем. Зная значение оптимальной температуры рассчитывается соответствующее значение расхода теплоносителя.

Необходимо также отметить, что при разработке данного алгоритма рассматривался только отдельный участок теплопровода, а теплопотребляющие свойства объектов учтены не были. Поэтому при управлении процессами теплоснабжения необходимо учесть теплопотребляющие свойства объектов.

4.2. Задача оптимального управления температурой и расходом теплоносителя с учётом характеристик теплопотребляющего объекта

С учетом характеристик теплопотребляющего оборудования объекта теплоснабжения, массовый расход теплоносителя G можно выразить при помощи следующих зависимостей:

$$Q = c \cdot G \cdot (t - t_{об}). \quad (4.2.1)$$

$$Q = KF \cdot \left(\frac{t + t_{об}}{2} - t_{вн} \right). \quad (4.2.2)$$

Произведение KF является теплотехническим показателем системы теплоснабжения объекта.

Выполнив некоторые математические преобразования зависимостей (4.2.1) и (4.2.2), получим, что массовый расход теплоносителя можно записать в следующем виде:

$$G = \frac{Q}{2 \cdot c \cdot \left(t - t_{вн} - \frac{Q}{KF} \right)}. \quad (4.2.3)$$

С учетом этого формула (4.1.5) переписывается так:

$$Z_{\Sigma} = Z_3 + Z_m = 0,11 \cdot \frac{k_3^{0,25}}{D^{5,25}} \cdot \frac{Q^3(1+\varepsilon)Z_3}{c^3(t-t_{\text{вн}} - \frac{Q}{KF})^3 \cdot \rho^2 \cdot \pi^2 \cdot \eta_n \cdot \eta_3} + Z_m \cdot \pi(t-t_{\text{нар}})/R_l. \quad (4.2.4)$$

Для упрощения дальнейших выкладок введем следующие обозначения:

$$a' = 0,11 \cdot \frac{k_3^{0,25}}{D^{5,25}} \cdot \frac{Q^3 \cdot (1+\varepsilon) \cdot Z_3}{c^3 \cdot t^3 \cdot \rho^2 \cdot \pi \cdot \eta_n \cdot \eta_3},$$

$$\gamma = \frac{Q}{KF} + t_{\text{вн}}.$$

В этом случае формулу (4.2.4) можно переписать в следующем виде:

$$Q = \frac{a'}{(t-\gamma)^3} + b \cdot t + s. \quad (4.2.5)$$

Задача оптимизации такой температуры, при которой достигается минимальная сумма затрат энергетических ресурсов, формально записывается следующим образом:

$$Q = \frac{a'}{(t-\gamma)^3} + b \cdot t + s \rightarrow \min_t. \quad (4.2.6)$$

Решая данную задачу методом производной, найдем, что точка, «подозрительная на экстремум», имеет следующую координату по температуре теплоносителя:

$$t = \gamma + \sqrt[4]{\frac{3a}{b}}. \quad (4.2.7)$$

Оптимальный расход рассчитывается по формуле (4.2.3)

Для выяснения характера экстремума была вычислена вторая производная $\frac{d^2 Z_{\Sigma}}{dt^2}$ при $t = \gamma + \sqrt[4]{\frac{3a}{b}}$ и было установлено, что, $\frac{d^2 Z_{\Sigma}}{dt^2} > 0$, следовательно, при $t = \gamma + \sqrt[4]{\frac{3a}{b}}$ достигается минимум Z_{Σ} .

Функциональная схема системы оптимального управления расходом и температурой теплоносителя представлена на рис. 4.8. Здесь, ТС (2-2) – блок вычисления новой температуры теплоносителя в зависимости от показаний

блоков ТЕ (2-1), ТЕ (3-1) и FE (1-1). FC – блок вычисления и поддержания оптимального расхода.

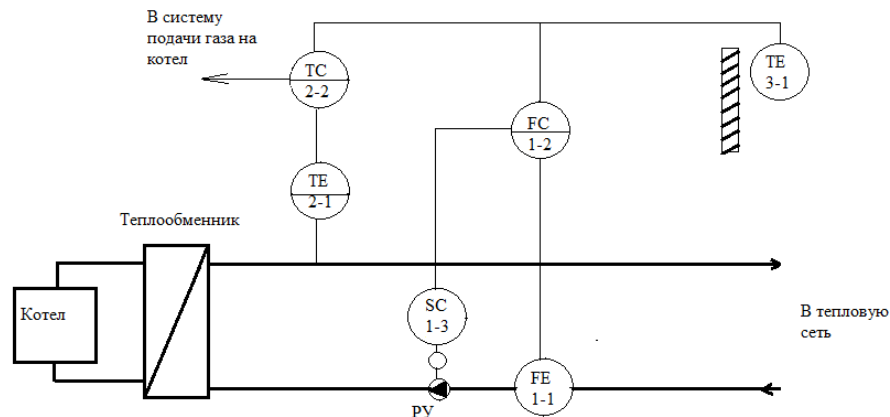


Рис. 4.8. Схема качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки в системе теплоснабжения

Рассмотрим задачу определения произведения KF . Существует два способа его нахождения. Один из них – проектно-расчетный, при котором KF находится по следующей зависимости:

$$KF = \frac{Q^p}{\left(\frac{t^p + t_{об}^p}{2} - t_{вн}^p\right)}, \quad (4.2.8)$$

где: $Q^p, t^p, t_{об}^p, t_{вн}^p$ – расчетные значения тепловой нагрузки объекта, температуры теплоносителя в прямом теплопроводе, температуры теплоносителя в обратном теплопроводе и температуры внутреннего воздуха объектов теплоснабжения соответственно.

Второй способ основан на статистическом наборе фактических данных с тепловых счетчиков и последующем расчете KF методом наименьших квадратов.

Был выполнен расчет оптимальной температуры теплоносителя в подающем теплопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха для жилого района города, состоящего из 30 типовых жилых домов. Как известно, температура наружного воздуха определяет как тепловую нагрузку тепловых сетей, так и влияет на тепловые потери теплопроводов. Тепловая нагрузка для каждого дома составляет 0,046 МВт. Район снабжается теплом при помощи изолированных теплопроводов, проложенных в подземном канале. Условный диаметр теплопровода равен 100 мм, толщина тепловой изоляции равна 40 мм

(коэффициент теплопроводности тепловой изоляции равен $0,045 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$), толщина стенки канала равна 10 мм , глубина заложения канала – 1 м , поперечное сечение канала равно $0,09 \text{ м}^2$. Теплопроводность стенок канала принята равной $1,3 \text{ Вт}/(\text{м}^\circ\text{С})$. При этом полагалось, что температура наружного воздуха равна $-34 \text{ }^\circ\text{С}$, эквивалентная шероховатость внутренней поверхности теплопровода – $0,5 \text{ мм}$ [18]. Сумма коэффициентов местных сопротивлений – $0,1$, общий КПД сетевого насоса и его электродвигателя – $0,6$. Тариф на тепловую энергию равен $545 \text{ руб}/\text{Гкал}$, тариф на электрическую энергию равен $1,69 \text{ руб}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ [119].

Произведение KF было определено проектно-расчетным способом: $t^p, t^{об}, t_{вн}^p$ были приняты равными $95, 70$ и $18 \text{ }^\circ\text{С}$ соответственно.

В результате вычислений по приведенной методике было получено, что оптимальная температура теплоносителя для описанных условий равна $111,36 \text{ }^\circ\text{С}$ при температуре наружного воздуха $-34 \text{ }^\circ\text{С}$. При этом оптимальный расход теплоносителя составляет $5,79 \text{ кг}/\text{с}$, скорость теплоносителя – $0,78 \text{ м}/\text{с}$, а удельные потери давления – $112 \text{ Па}/\text{м}$.

Аналогично была рассчитана оптимальная температура и оптимальный расход теплоносителя в подающем теплопроводе для других температур наружного воздуха в течение всего отопительного сезона. Так, при температуре наружного воздуха $+8^\circ\text{С}$ значение оптимальной температуры теплоносителя равно уже $38,79^\circ\text{С}$. Оптимальный расход равен $3,83 \text{ кг}/\text{с}$. При этом температура теплоносителя в обратном теплопроводе находится расчетным путем из формулы (2). Разность температур в подающем и обратном теплопроводе меняется от $57,72^\circ\text{С}$ до $16,76^\circ\text{С}$ в зависимости от температуры наружного воздуха.

Полученный температурный график рассмотренной системы теплоснабжения представлен на рис. 4.9.

Изменение оптимального расхода теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха представлено на рис. 4.10.

При этом скорость истечения теплоносителя изменяется от $0,78 \text{ м}/\text{с}$ до $0,49 \text{ м}/\text{с}$, а удельные потери давления изменяются от 112 до $47 \text{ Па}/\text{м}$ в зависимости от температуры наружного воздуха.

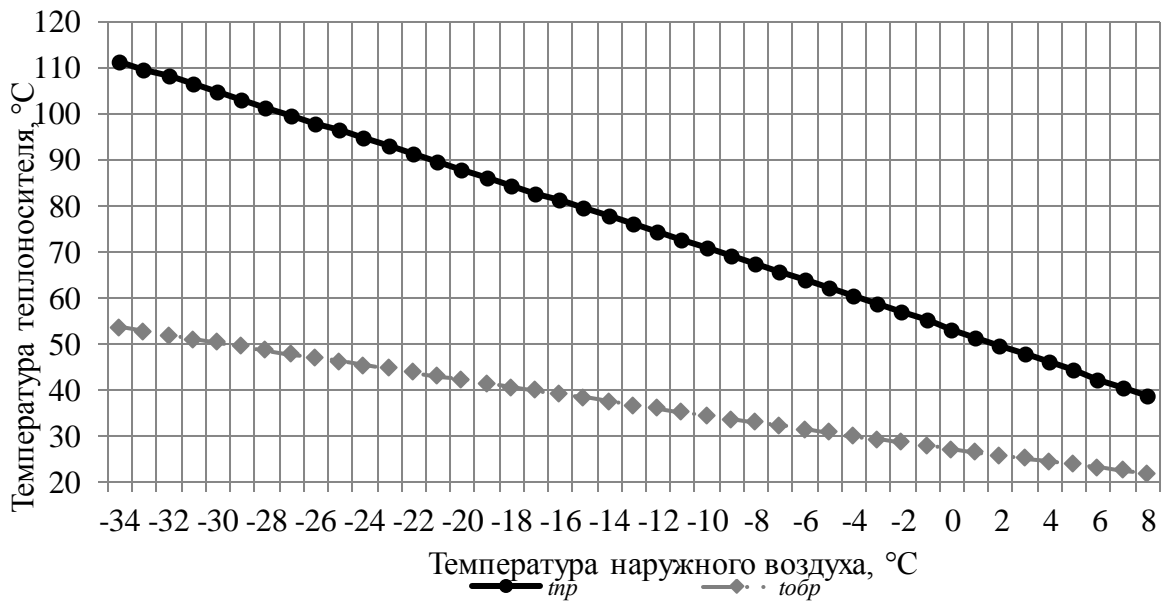


Рис. 4.9. Температурный график системы теплоснабжения

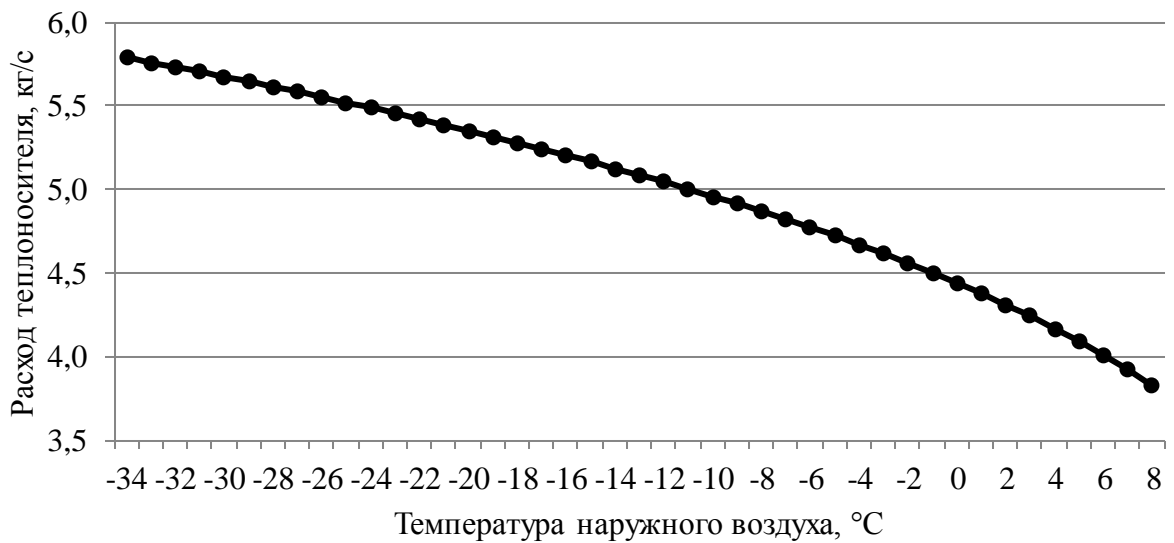


Рис. 4.10. Зависимость оптимального расхода теплоносителя от температуры наружного воздуха

Значения оптимальной температуры и оптимального расхода теплоносителя могут меняться в зависимости от тарифов на тепловую и электрическую энергию, от степени износа оборудования и тепловых трасс, от способа прокладки теплопроводов и свойств тепловой изоляции и т.п. Так, при наземной прокладке теплопроводов и при повышенном тарифе на тепловую энергию (1090 руб/Гкал) оптимальная температура теплоносителя в подающем теплопроводе равна уже

106,77°C, а оптимальный расход – 6,80 кг/с. Для температуры наружного воздуха -34 °С. А при повышенном тарифе на электрическую энергию (2,5 руб/кВт·ч) и при более изношенном оборудовании значение оптимальной температуры может повышаться до 116,55 °С и выше при температуре наружного воздуха -34 °С, при этом оптимальный расход равен 4,85 кг/с.

Таким образом, установлено, что при помощи алгоритма. Представленного формулами 4.2.3 и 4.2.7 можно осуществлять качественно-количественное регулирование тепловой нагрузки систем теплоснабжения в зависимости от температуры наружного воздуха с целью минимизации затрат при транспортировке теплоты от теплового пункта до потребителя. Данная методика учитывает характеристики теплопотребляющего оборудования, что делает возможным ее использование и на практике, при проектировании или модернизации уже существующих систем теплоснабжения [119].

Кроме того, при помощи представленной зависимости можно оценить работу системы теплоснабжения в целом, например, определить, требуется ли для обеспечения требуемой тепловой нагрузки замена теплопроводов или оборудования.

4.3. Описание программного комплекса по вычислению оптимальных температуры и расхода теплоносителя в системах теплоснабжения

Далее на основании полученных выводов в среде Delphi 7 при помощи языка программирования Object Pascal была разработана программа для решения задачи по определению оптимальных температуры и расхода теплоносителя в прямом и обратном теплопроводах в зависимости от конкретных условий системы теплоснабжения. Текст программы приведен в приложении Д.

Программа имеет традиционный пользовательский интерфейс, представленный в приложении Е.

Прикладное программное обеспечение носит узкоспециализированный характер и не нуждается в непрерывных модификациях. Программа определяет

оптимальный температурный график и расход теплоносителя для заданных температур наружного и внутреннего воздуха, с учётом состояния сетей и оборудования системы теплоснабжения, тарифной политики, теплотехнических свойств потребителей. Также программа рассчитывает удельные потери давления в теплопроводе, что позволяет оценить, являются ли диаметры тепловой сети подходящими для заданных условий.

Используется ручной ввод в программу исходных данных. Вывод результатов расчета производится в текстовом виде.

При помощи данного программного обеспечения для апробации разработанной процедуры был проведен расчет графиков регулирования температурного и гидравлического режима здания административно-бытового комплекса кислородно-конвертерного цеха (АБК ККЦ) ОАО «ММК».

4.4. Управление теплоснабжением объекта по разработанной процедуре с ее адаптацией на основе экспериментальных данных

Источником теплоснабжения АБК ККЦ является ЦЭС, тепло подаётся посредством теплопровода диаметром $D = 80$ мм. Нормативная температура внутреннего воздуха в рассматриваемом здании $t_{вн} = +18^{\circ}\text{C}$. Расчётная температура для проектирования теплоснабжения г. Магнитогорска, $t_{н.р.} = -34^{\circ}\text{C}$. Толщина тепловой изоляции равна 30 мм, коэффициент теплопроводности изоляционного материала – $0,09$ Вт/(м $^{\circ}\text{C}$). Общий КПД сетевого насоса и его двигателя равен 0,5. Тариф на тепловую энергию составляет 545 руб/Гкал, а тариф на электрическую энергию равен 1,58 руб/кВтч.

4.4.1. Набор экспериментальных данных для расчёта

Сбор данных, необходимых для настройки оптимальных графиков температур и расходов на реальные характеристики теплопотребляющего оборудования, осуществлялся при помощи автоматизированной системы

диспетчерского управления (АСДУ) управления главного энергетика (УГЭ). АСДУ УГЭ позволяет осуществлять мониторинг за выработкой и потреблением тепловой энергии на ОАО ММК (рис. 4.11). Все необходимые данные архивируются.

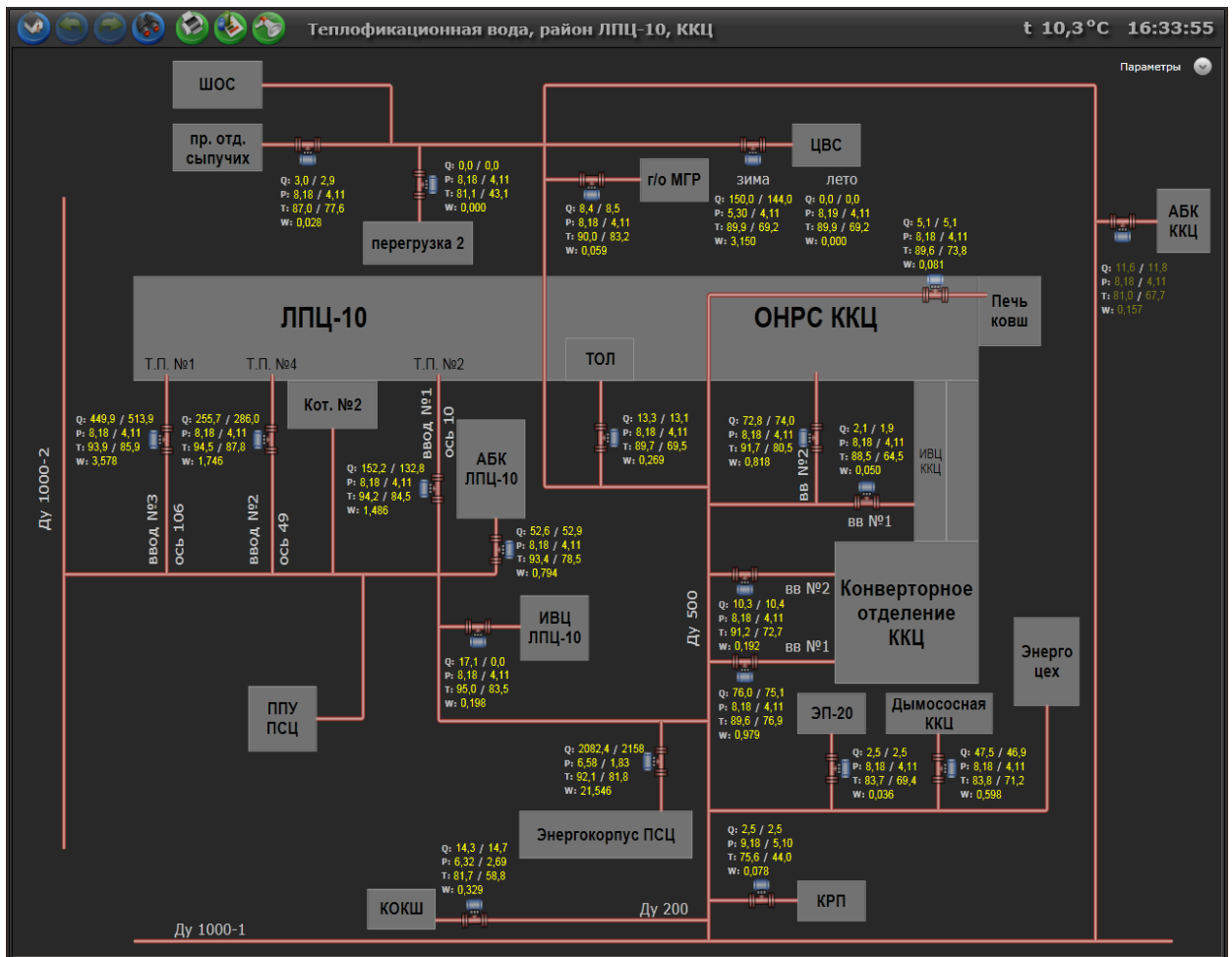


Рис. 4.11. Принципиальная схема АСДУ

По объекту АБК ККЦ были отобраны следующие данные: тепловая нагрузка объекта Q , Гкал/ч, температура прямой и обратной сетевой воды t и $t_{об}$ соответственно, °С, температура наружного воздуха t_n , °С. Все данные взяты за период с 1 октября 2013 г. по 30 апреля 2014 г. и являются среднесуточными. Экспериментальные данные представлены на рис. 4.12, 4.13, 4.14. Также набор экспериментальных данных по рассматриваемому объекту сведен в таблицу Ж1 (см. приложение Ж).

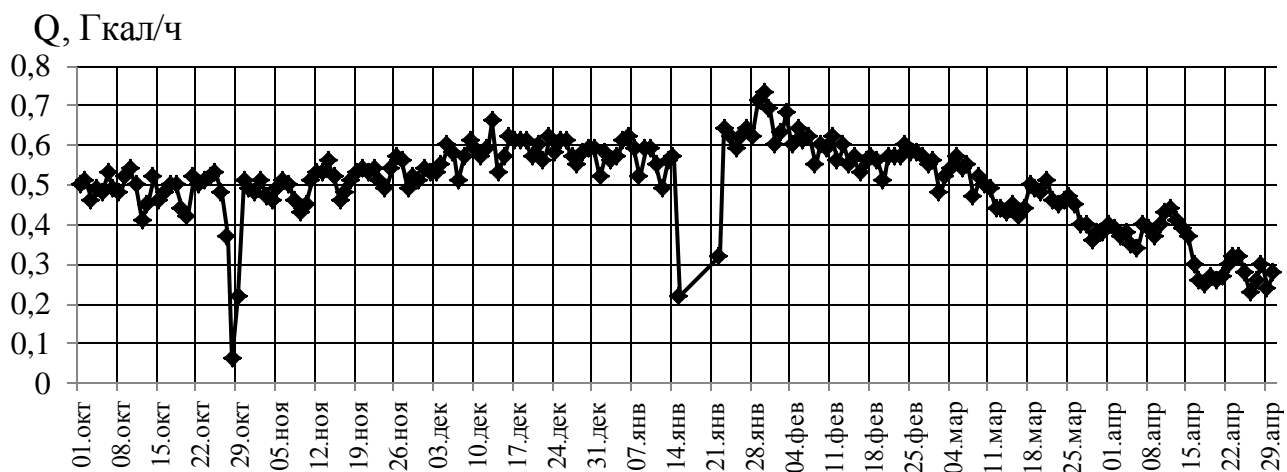


Рис. 4.12. Колебания тепловой нагрузки объекта за отопительный сезон, Вт

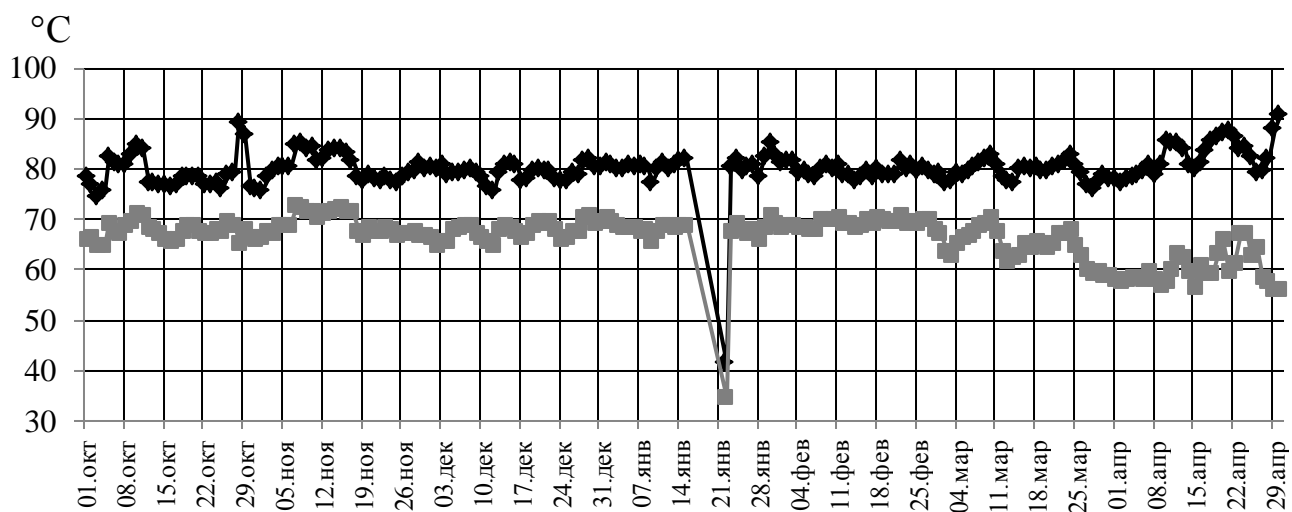


Рис. 4.13. Фактический температурный график регулирования для объекта за отопительный сезон, °C

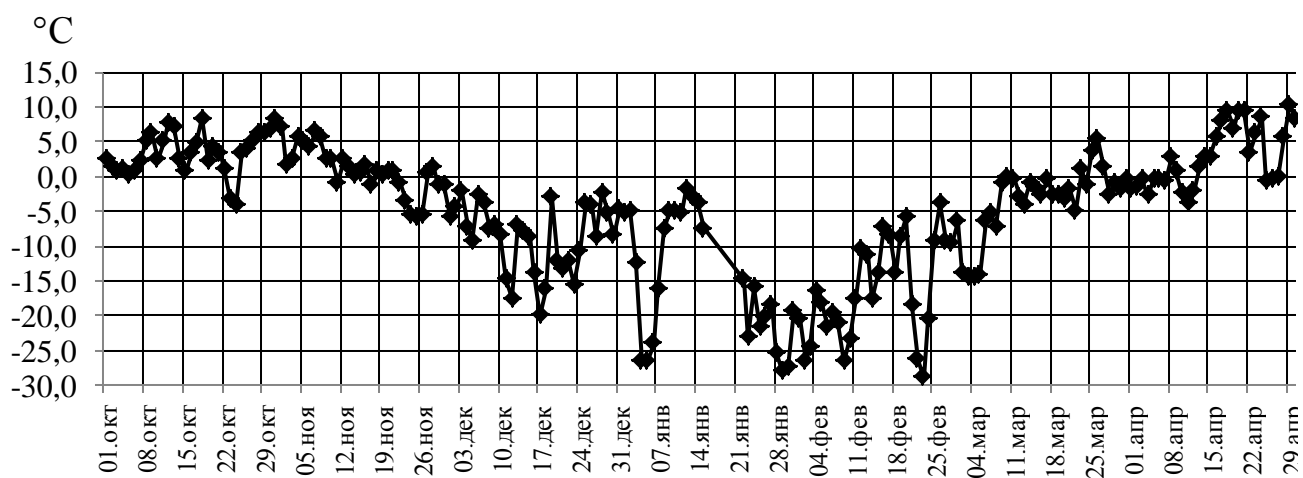


Рис. 4.14. Колебания температуры наружного воздуха за отопительный сезон, °C

После сбора всех необходимых данных по рассматриваемому объекту следует определить произведение параметров KF , характеризующее его теплопотребляющие свойства.

4.4.2. Алгоритм идентификации произведения параметров KF

Для нахождения произведения параметров KF был использован метод наименьших квадратов. Суть метода заключается в минимизации суммы квадратов разностей расчетных и экспериментальных значений мощности системы отопления здания. Формально задача параметрической идентификации записывается следующим образом.

$$I = \sum_{i=1}^n [Q_i - KF \cdot (\frac{t_i + t_{o\delta_i}}{2} - t_{вн_i})]^2 \rightarrow \min_{KF} \quad (4.4.1)$$

Данную задачу решали методом производной:

$$\frac{\partial I}{\partial (KF)} = -\sum_{i=1}^n 2 \cdot [Q_i - KF \cdot (\frac{t_i + t_{o\delta_i}}{2} - t_{вн_i})] \cdot (\frac{t_i + t_{o\delta_i}}{2} - t_{вн_i}) = 0 \quad (4.4.2)$$

Из формулы (4.4.2) получим, что

$$KF = \frac{\sum Q_i (\frac{t_{np_i} + t_{o\delta_i}}{2} - t_{вн_i})}{\sum (\frac{t_{np_i} + t_{o\delta_i}}{2} - t_{вн_i})^2} \quad (4.4.3)$$

Для определения характера экстремума был определен знак второй производной критерия идентификации I в критической точке (4.4.3):

$$\frac{\partial^2 I}{\partial (KF)^2} = 2 \sum (\frac{t_{np_i} + t_{o\delta_i}}{2} - t_{вн_i})^2 > 0 \quad (4.4.4)$$

Поскольку значение второй производной критерия идентификации больше 0, то можно говорить о том, что в точке (4.4.3) достигается минимум суммы квадратов отклонений расчётной тепловой нагрузки от фактической.

С использованием данных таблицы Ж1, было получено, что для АБК ККЦ $KF = 7095 \text{ Вт/}^\circ\text{С}$.

4.4.3. Построение оптимальных температурного графика и графика расхода теплоносителя

Оптимальный температурный график теплоснабжения строился по методике, описанной в п. 4.2. График приведен на рис. 4.12. Оказалось, что для расчётной температуры наружного воздуха г. Магнитогорска ($-34\text{ }^{\circ}\text{C}$) температуры прямой и обратной сетевой воды равны соответственно « $106,91-72,57^{\circ}\text{C}$ ». При температуре наружного воздуха $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ температурный график, согласно расчётам, требуется поддерживать на уровне « $38,20-25,39^{\circ}\text{C}$ », что в реальных условиях весьма проблематично с точки зрения эффективной работы электрических станций. График оптимального расхода теплоносителя приведен на рис. 4.13. Расход теплоносителя изменяется с 3,54 до 1,82 кг/с. Данные выполненных расчётов представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3. Результаты расчётов оптимального регулирования тепловой нагрузки АБК ККЦ ОАО «ММК»

$t_n, ^{\circ}\text{C}$	$G, \text{ кг/с}$	$Q, \text{ МВт}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$t_{об}, ^{\circ}\text{C}$
-34	3,54	0,509	106,91	72,57
-33	3,52	0,499	105,31	71,41
-32	3,49	0,489	103,71	70,26
-31	3,47	0,480	102,11	69,10
-30	3,44	0,470	100,50	67,94
-29	3,42	0,460	98,90	66,78
-28	3,39	0,450	97,30	65,63
-27	3,37	0,440	95,69	64,48
-26	3,34	0,431	94,08	63,32
-25	3,32	0,421	92,48	62,17
-24	3,29	0,411	90,87	61,02
-23	3,26	0,401	89,25	59,88

$t_H, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$Q, \text{МВт}$	$t, ^\circ\text{C}$	$t_{об}, ^\circ\text{C}$
-22	3,23	0,392	87,64	58,73
-21	3,20	0,382	86,03	57,58
-20	3,17	0,372	84,41	56,44
-19	3,14	0,362	82,80	55,30
-18	3,11	0,352	81,18	54,16
-17	3,08	0,343	79,56	53,02
-16	3,05	0,333	77,93	51,88
-15	3,02	0,323	76,31	50,74
-14	2,98	0,313	74,69	49,61
-13	2,95	0,303	73,06	48,48
-12	2,91	0,294	71,43	47,35
-11	2,87	0,284	69,80	46,22
-10	2,84	0,274	68,16	45,10
-9	2,80	0,264	66,53	43,97
-8	2,76	0,255	64,89	42,85
-7	2,71	0,245	63,25	41,73
-6	2,67	0,235	61,60	40,62
-5	2,63	0,225	59,96	39,51
-4	2,58	0,215	58,31	38,40
-3	2,53	0,206	56,66	37,29
-2	2,48	0,196	55,00	36,19
-1	2,43	0,186	53,34	35,09
0	2,38	0,176	51,68	33,99
1	2,32	0,166	50,01	32,90
2	2,26	0,157	48,34	31,81
3	2,20	0,147	46,66	30,72
4	2,13	0,137	44,98	29,65

$t_n, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$Q, \text{МВт}$	$t, ^\circ\text{C}$	$t_{об}, ^\circ\text{C}$
5	2,06	0,127	43,30	28,57
6	1,99	0,117	41,61	27,51
7	1,91	0,108	39,91	26,45
8	1,82	0,098	38,20	25,39

Графики изменения температур прямого и обратного теплоносителя а также изменения расхода теплоносителя в зависимости от тепловой нагрузки рассматриваемого здания представлены на рис. 4.15. и 4.16. соответственно.

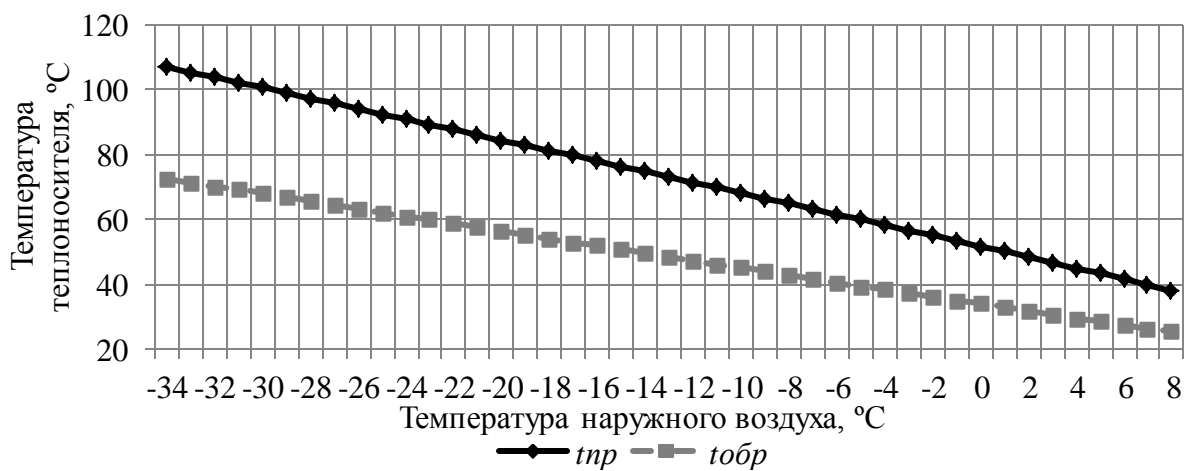


Рис. 4.15. Оптимальный температурный график системы теплоснабжения АБК
ККЦ

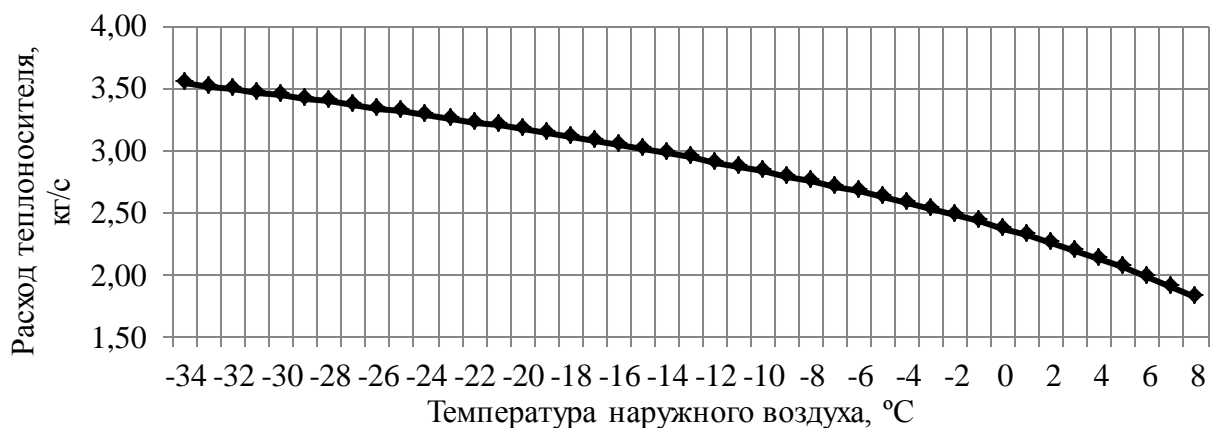


Рис. 4.16. Зависимость расхода теплоносителя от температуры наружного воздуха
объекта АБК ККЦ

4.5. Работа системы теплоснабжения объекта при реализации оптимального управления температурой и расходом

Для оценки обеспеченности нормативных параметров внутреннего воздуха помещений при использовании оптимальных графиков регулирования тепловой нагрузки был поставлен эксперимент. В течение двух суток на тепловой ввод здания АБК ККЦ поступала теплофикационная вода с оптимальными параметрами. Часовые колебания температуры наружного воздуха во время проведения эксперимента представлены на рис. 4.17. Температуру прямого и обратного теплоносителей в соответствии с графиком рис. 4.15 по среднесуточным температурам наружного воздуха необходимо было поддерживать соответственно на уровне «79,56-53,02» °С и «81,18-54,16» °С. Расход теплоносителя должен быть равен соответственно 3,08 кг/с и 3,11 кг/с. По принятому на ОАО «ММК» температурному графику регулирования для вышеуказанных температур наружного воздуха температуры прямого и обратного теплоносителя должны быть равны «85-62» °С. Тепловая нагрузка объекта для данных температур наружного воздуха должна составлять 0,20 Гкал/ч.



Рис. 4.17. Фактические часовые колебания температуры наружного воздуха

Фактический температурный график регулирования объекта в течение времени эксперимента представлен на рис. 4.18.

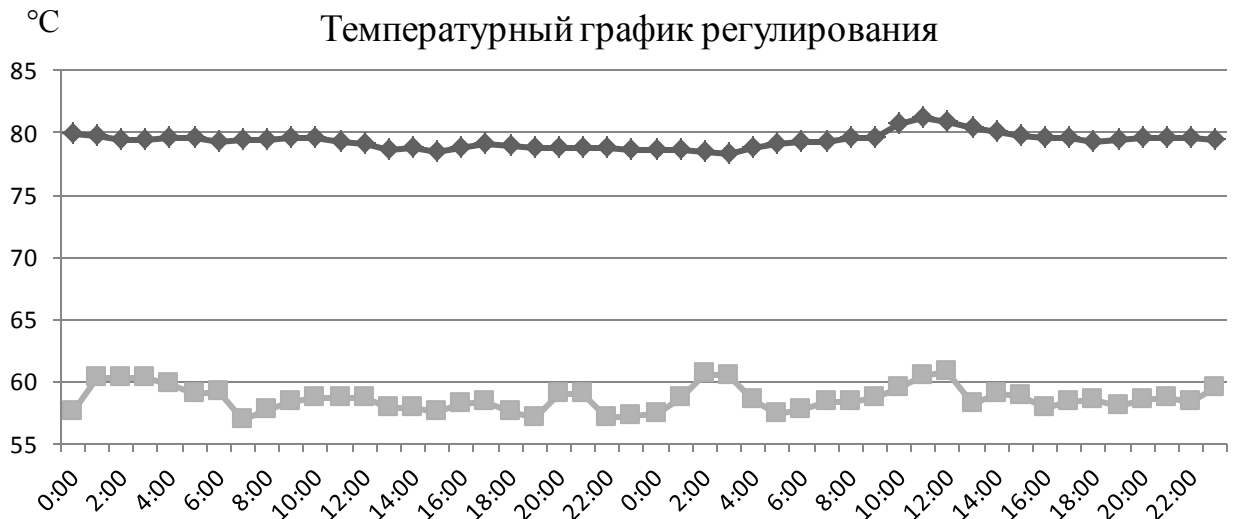


Рис. 4.18. Фактический температурный график регулирования объекта

Требуемый расход теплоносителя в процессе эксперимента удалось поддерживать с погрешностью, достигающей практически 30 % (из-за разбалансировки тепловой сети и отсутствия необходимого уровня автоматизации). График изменения расхода теплоносителя в подающем теплопроводе приведен на рис. 4.19. График изменения тепловой нагрузки здания приведен на рис. 4.20.



Рис. 4.19. Фактический часовой расход теплоносителя в подающем теплопроводе

В процессе эксперимента вручную измерялась температура внутреннего воздуха отапливаемых помещений, результаты замеров показали, что эта

температура изменялась в установленных пределах, т.е. температурный режим помещений удовлетворял предъявляемым требованиям.



Рис. 4.20. Фактическая часовая тепловая нагрузка объекта

Необходимо отметить, что температуры прямого и обратного теплоносителя в принятом на ОАО «ММК» графике регулирования выше, чем в оптимальном. Это позволяет сделать вывод о безусловной экономической эффективности разработанных оптимальных алгоритмов управления, которая достигается за счет сокращения потерь теплоты при транспортировке. Согласно расчетам, в результате применения оптимальных режимов управления теплоснабжением рассматриваемого объекта, потери теплоты при транспортировке сократились на 20 %.

4.6. Оценка экономической эффективности оптимального управления теплоснабжением АБК ККЦ ОАО «ММК»

Существующий график теплоснабжения для объектов района ККЦ на 2014-2015 гг. приведен в таблице 4.4. Центральное регулирование осуществляется качественным способом. Местное регулирование осуществляется количественным способом. В целях стабилизации выработки электрической

энергии на электрических станциях, температура в подающем теплопроводе постоянна и возрастает только при температуре наружного воздуха $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Оптимальный график теплоснабжения для объекта АБК ККЦ, как было отмечено в главе 4.4. является низкотемпературным « $106,91-72,57\text{ }^{\circ}\text{C}$ » (см. таблицу 4.3.), регулирование осуществляется качественно-количественным способом.

Таблица 4.4. Существующий температурный график регулирования тепловой нагрузки для АБК ККЦ

$t_n, ^{\circ}\text{C}$	$t, ^{\circ}\text{C}$	$t_{об}, ^{\circ}\text{C}$
8	85	67
7	85	67
6	85	67
5	85	67
4	85	66
3	85	66
2	85	66
1	85	66
0	85	66
-1	85	65
-2	85	65
-3	85	65
-4	85	65
-5	85	64
-6	85	64
-7	85	64
-8	85	64
-9	85	64
-10	85	63
-11	85	63
-12	85	63
-13	85	63
-14	85	63
-15	85	62
-16	85	62
-17	85	62
-18	85	62
-19	85	62
-20	85	61

$t_n, ^\circ\text{C}$	$t, ^\circ\text{C}$	$t_{об}, ^\circ\text{C}$
-21	85	61
-22	85	61
-23	85	62
-24	85	63
-25	85	64
-26	85	64
-27	87	65
-28	88	66
-29	89	66
-30	90	67
-31	93	69
-32	94	69
-33	95	70
-34	95	70

С использованием данных таблиц 4.3. и 4.4., были рассчитаны затраты энергетических ресурсов при перекачке теплоносителя от узла учёта до ввода в здание АБК ККЦ. Результаты расчётов представлены в таблице 4.5. Было принято, что длина теплопровода, идущего от узла учета до ввода в здание равна 50 метров.

Таблица 4.5. Экономическое сравнение фактической температуры теплоносителя в прямом теплопроводе и предлагаемой

Дата	$Q, \text{МВт}$	Фактич. темпер. теплоносителя, $t_\phi, ^\circ\text{C}$	$t_n, ^\circ\text{C}$	Оптимальная темпер. теплоносителя, $t, ^\circ\text{C}$	Фактические затраты, руб	Предлагаемые затраты, руб
01.окт	0,15662	78,4	2,4	48,3	0,039106332	0,024795957
02.окт	0,1664	76,94	1,4	50,0	0,038872836	0,026224183
03.окт	0,1664	74,41	0,8	50,0	0,037882317	0,02653287
04.окт	0,1664	75,5	1,1	50,0	0,038287617	0,026378526
05.окт	0,17619	82,22	0,3	51,7	0,042153868	0,027700878
06.окт	0,1664	81	0,8	50,0	0,041267656	0,02653287
07.окт	0,15662	80,71	2,2	48,3	0,040396667	0,024898852
08.окт	0,12725	80,9	5,1	43,3	0,03899941	0,02064521

Дата	Q , МВт	Фактич. темпер. теплоноси теля, t_{ϕ} , °С	t_H , °С	Оптимальн ая темпер. теплоносит еля, t , °С	Фактические затраты, руб	Предлагаемые затраты, руб
09.ОКТ	0,11746	82,72	6,2	41,6	0,039369128	0,019150869
10.ОКТ	0,15662	84,92	2,4	48,3	0,042458405	0,024795957
11.ОКТ	0,12725	83,97	5	43,3	0,040629946	0,020696658
12.ОКТ	0,09788	77,22	7,6	38,2	0,035818852	0,016559413
13.ОКТ	0,10767	77,3	7,1	39,9	0,03611764	0,017754815
14.ОКТ	0,14683	76,82	2,5	46,7	0,038241041	0,023827547
15.ОКТ	0,1664	76,89	0,8	50,0	0,039155841	0,02653287
16.ОКТ	0,13704	76,38	3,5	45,0	0,037498958	0,022392621
17.ОКТ	0,12725	76,83	4,7	43,3	0,037111945	0,020851001
18.ОКТ	0,09788	78,27	8,3	38,2	0,035998861	0,016199278
19.ОКТ	0,15662	78,42	2,3	48,3	0,039168059	0,024847404
20.ОКТ	0,13704	78,35	4,3	45,0	0,038100357	0,021981039
21.ОКТ	0,13704	78,43	3,5	45,0	0,038553079	0,022392621
22.ОКТ	0,1664	76,99	1,2	50,0	0,039001415	0,026327078
23.ОКТ	0,20556	76,9	-3,1	56,7	0,04118793	0,032166473
24.ОКТ	0,21535	77,37	-4,1	58,3	0,041952213	0,033581636
25.ОКТ	0,14683	76,15	3,4	46,7	0,037433598	0,023364516
26.ОКТ	0,13704	78,99	4,1	45,0	0,038532366	0,022083934
27.ОКТ	0,12725	79,25	5,2	43,3	0,038099313	0,020593762
28.ОКТ	0,11746	88,94	6,3	41,6	0,04251735	0,019099421
29.ОКТ	0,11746	86,88	6,2	41,6	0,041509079	0,019150869
30.ОКТ	0,10767	76,29	6,8	39,9	0,035752454	0,017909158
31.ОКТ	0,09788	75,88	8,4	38,2	0,034717952	0,01614783
01.НОЯ	0,10767	75,72	7,2	39,9	0,035253467	0,017703367
02.НОЯ	0,15662	78,38	1,8	48,3	0,039404739	0,025104644
03.НОЯ	0,14683	79,64	2,6	46,7	0,039639415	0,023776099

Дата	Q , МВт	Фактич. темпер. теплоноси теля, t_{ϕ} , °С	t_n , °С	Оптимальн ая темпер. теплоносит еля, t , °С	Фактические затраты, руб	Предлагаемые затраты, руб
04.ноя	0,11746	80,4	5,8	41,6	0,038381534	0,01935666
05.ноя	0,12725	80,44	5	43,3	0,038814261	0,020696658
06.ноя	0,13704	80,24	4,4	45,0	0,039020849	0,021929591
07.ноя	0,10767	84,7	6,5	39,9	0,040232991	0,018063502
08.ноя	0,11746	85,13	5,6	41,6	0,040917535	0,019459556
09.ноя	0,15662	84,05	2,4	48,3	0,04201104	0,024795957
10.ноя	0,15662	84,22	2,4	48,3	0,042098454	0,024795957
11.ноя	0,18598	81,47	-0,8	53,3	0,042337066	0,029174799
12.ноя	0,14683	82,11	2,5	46,7	0,040960954	0,023827547
13.ноя	0,1664	83,46	1,4	50,0	0,042223464	0,026224183
14.ноя	0,17619	83,85	0,2	51,7	0,043042981	0,027752325
15.ноя	0,1664	83,76	0,5	50,0	0,04284072	0,026687214
16.ноя	0,15662	83,17	1,6	48,3	0,041970135	0,025207539
17.ноя	0,18598	81,73	-1,3	53,3	0,042727832	0,029432038
18.ноя	0,1664	78,46	0,8	50,0	0,039962394	0,02653287
19.ноя	0,17619	77,68	0,1	51,7	0,039924724	0,027803773
20.ноя	0,1664	78,89	0,8	50,0	0,040183332	0,02653287
21.ноя	0,1664	78,04	0,8	50,0	0,039746607	0,02653287
22.ноя	0,18598	77,61	-0,9	53,3	0,040407166	0,029226246
23.ноя	0,20556	78,45	-3,4	56,7	0,042135281	0,032320817
24.ноя	0,23492	77,81	-5,5	61,6	0,04292518	0,036096918
25.ноя	0,23492	77,26	-5,8	61,6	0,042801031	0,036251261
26.ноя	0,23492	78,44	-5,6	61,6	0,043296094	0,036148365
27.ноя	0,17619	79,02	0,4	51,7	0,040458485	0,02764943
28.ноя	0,1664	79,46	1,3	50,0	0,040218986	0,026275631
29.ноя	0,18598	80,99	-1,3	53,3	0,042347814	0,029432038

Дата	Q , МВт	Фактич. темпер. теплоноси теля, t_{ϕ} , °С	t_n , °С	Оптимальн ая темпер. теплоносит еля, t , °С	Фактические затраты, руб	Предлагаемые затраты, руб
30.ноя	0,18598	79,9	-1,3	53,3	0,041788172	0,029432038
01.дек	0,23492	80,53	-5,7	61,6	0,044410246	0,036199813
02.дек	0,21535	79,91	-4,4	58,3	0,043404438	0,033735979
03.дек	0,19577	80,7	-2,2	55,0	0,042665646	0,030800471
04.дек	0,24471	78,88	-7,1	63,2	0,04430996	0,037814633
05.дек	0,26429	79,09	-9,3	66,5	0,045606494	0,040730157
06.дек	0,20556	79,31	-2,7	56,7	0,042215515	0,031960682
07.дек	0,21535	79,79	-3,9	58,3	0,043085815	0,03347874
08.дек	0,24471	80,09	-7,4	63,2	0,04507667	0,037968977
09.дек	0,24471	79,08	-6,8	63,2	0,044256695	0,03766029
10.дек	0,2545	78,54	-8,3	64,9	0,044782504	0,039324719
11.дек	0,32302	76,56	-14,8	76,3	0,048868722	0,048872887
12.дек	0,35238	75,66	-17,5	81,2	0,063038146	0,05290021
13.дек	0,24471	79,23	-6,9	63,2	0,04438399	0,037711738
14.дек	0,2545	80,82	-7,8	64,9	0,045671995	0,039067479
15.дек	0,26429	81,37	-8,6	66,5	0,046385434	0,040370022
16.дек	0,31323	80,59	-13,9	74,7	0,049127066	0,047527909
17.дек	0,37196	77,48	-20	84,4	0,079783697	0,055939326
18.дек	0,33281	77,86	-16,2	77,9	0,050477474	0,050473804
19.дек	0,20556	79,49	-3	56,7	0,042462058	0,032115025
20.дек	0,29365	80,05	-12,2	71,4	0,047750321	0,044885296
21.дек	0,30344	79,49	-13,2	73,1	0,048131256	0,046284477
22.дек	0,29365	79,5	-12,1	71,4	0,04744311	0,044833848
23.дек	0,33281	78,18	-15,5	77,9	0,050109351	0,050113669
24.дек	0,28387	77,67	-10,7	69,8	0,045773162	0,043227411
25.дек	0,21535	77,64	-3,8	58,3	0,041935672	0,033427292

Дата	Q , МВт	Фактич. темпер. теплоноси теля, t_{ϕ} , °С	t_n , °С	Оптимальн ая темпер. теплоносит еля, t , °С	Фактические затраты, руб	Предлагаемые затраты, руб
26.дек	0,21535	79,34	-4,2	58,3	0,043010019	0,033633084
27.дек	0,26429	78,76	-8,6	66,5	0,045082738	0,040370022
28.дек	0,19577	81,51	-2,3	55,0	0,043132747	0,030851919
29.дек	0,22513	81,85	-5,2	60,0	0,044816411	0,035046089
30.дек	0,2545	80,56	-8,4	64,9	0,045849437	0,039376167
31.дек	0,22513	80,46	-4,6	60,0	0,043797327	0,034737402
01.январь	0,22513	81,12	-5,1	60,0	0,044391765	0,034994641
02.январь	0,22513	80,61	-4,8	60,0	0,04397684	0,034840297
03.январь	0,30344	79,87	-12,5	73,1	0,047937663	0,045924342
04.январь	0,44048	79,9	-26,5	95,7	-0,55574068	0,065386029
05.январь	0,43069	81,67	-26,4	94,1	6,636604533	0,064465643
06.январь	0,41112	80,27	-24	90,9	0,464308785	0,06149027
07.январь	0,33281	80,74	-16	77,9	0,050805983	0,050370909
08.январь	0,2545	80,47	-7,6	64,9	0,045392448	0,038964584
09.январь	0,22513	77,28	-4,8	60,0	0,042279272	0,034840297
10.январь	0,22513	80,15	-5	60,0	0,043844814	0,034943193
11.январь	0,22513	81,37	-5,2	60,0	0,044570994	0,035046089
12.январь	0,19577	79,85	-1,8	55,0	0,042023796	0,03059468
13.январь	0,20556	80,77	-2,9	56,7	0,043066508	0,032063577
14.январь	0,21535	81,41	-3,9	58,3	0,04391495	0,03347874
15.январь	0,24471	81,79	-7,4	63,2	0,045939892	0,037968977
22.январь	0,32302	41,36	-14,7	76,3	0,028664175	0,048821439
23.январь	0,40133	80,37	-23,1	89,3	0,140441337	0,060155499
24.январь	0,33281	82,01	-15,9	77,9	0,051168086	0,050319461
25.январь	0,39154	79,72	-21,7	87,6	0,100023629	0,058562498
26.январь	0,37196	80,4	-20,1	84,4	0,059250028	0,055990773

Дата	Q, МВт	Фактич. темпер. теплоноси теля, t_{ϕ} , °С	t_n , °С	Оптимальн ая темпер. теплоносит еля, t , °С	Фактические затраты, руб	Предлагаемые затраты, руб
27.январь	0,35238	80,79	-18,3	81,2	0,053343159	0,053311793
28.январь	0,4209	79,8	-25,2	92,5	51,45418209	0,062978423
29.январь	0,45027	84	-27,8	97,3	43,85480488	0,066922908
30.январь	0,44048	85,01	-27,4	95,7	0,311253219	0,06584906
31.январь	0,36217	82,71	-19,2	82,8	0,054656099	0,054651846
01.февраль	0,37196	81,15	-20,3	84,4	0,057955396	0,056093669
02.февраль	0,44048	82,7	-26,5	95,7	27,13922154	0,065386029
03.февраль	0,41112	81,41	-24,4	90,9	0,178533602	0,061696061
04.февраль	0,3426	79,19	-16,5	79,6	0,051536773	0,051507544
05.февраль	0,35238	79,5	-18,2	81,2	0,053685556	0,053260345
06.февраль	0,39154	78,65	-21,7	87,6	0,158896303	0,058562498
07.февраль	0,37196	78,59	-19,7	84,4	0,066901992	0,055784982
08.февраль	0,38175	79,99	-21,1	86,0	0,069492362	0,057380059
09.февраль	0,44048	83	-26,5	95,7	8,302677979	0,065386029
10.февраль	0,40133	80,19	-23,2	89,3	0,154045972	0,060206947
11.февраль	0,35238	80,88	-17,5	81,2	0,052921426	0,05290021
12.февраль	0,28387	78,71	-10,5	69,8	0,046156634	0,043124516
13.февраль	0,28387	78,71	-11,2	69,8	0,046516769	0,043484651
14.февраль	0,35238	77,73	-17,7	81,2	0,05530123	0,053003106
15.февраль	0,31323	78,49	-13,9	74,7	0,048307113	0,047527909
16.февраль	0,24471	79,45	-7,2	63,2	0,044649633	0,037866081
17.февраль	0,26429	78,27	-8,5	66,5	0,044789065	0,040318575
18.февраль	0,31323	79,87	-13,9	74,7	0,04883054	0,047527909
19.февраль	0,26429	78,66	-8,7	66,5	0,045084679	0,04042147
20.февраль	0,23492	78,99	-5,8	61,6	0,043678251	0,036251261
21.февраль	0,36217	78,83	-18,5	82,8	0,057562644	0,054291711

Дата	Q , МВт	Фактич. темпер. теплоноси теля, t_{ϕ} , °С	t_H , °С	Оптимальн ая темпер. теплоносит еля, t , °С	Фактические затраты, руб	Предлагаемые затраты, руб
22.фев	0,43069	81,6	-26,2	94,1	8,301803365	0,064362747
23.фев	0,46006	80,15	-28,8	98,9	-0,01400094	0,068304585
24.фев	0,38175	80,9	-20,5	86,0	0,063750098	0,057071372
25.фев	0,26429	79,5	-9,1	66,5	0,045707386	0,040627262
26.фев	0,21535	80,58	-3,8	58,3	0,043438582	0,033427292
27.фев	0,26429	79,56	-9,2	66,5	0,0457887	0,04067871
28.фев	0,27408	78,69	-9,6	68,2	0,045612904	0,041773791
01.мар	0,24471	79,04	-6,5	63,2	0,044082131	0,037505946
02.мар	0,31323	77,15	-13,8	74,7	0,047831232	0,047476462
03.мар	0,31323	77,48	-14,4	74,7	0,048234408	0,047785149
04.мар	0,31323	79,15	-14,4	74,7	0,048806126	0,047785149
05.мар	0,31323	78,64	-14,2	74,7	0,048514828	0,047682253
06.мар	0,23492	79,6	-6,4	61,6	0,044297016	0,036559948
07.мар	0,22513	80,5	-5,2	60,0	0,044126444	0,035046089
08.мар	0,24471	81,04	-7,1	63,2	0,045404357	0,037814633
09.мар	0,18598	82,04	-0,9	53,3	0,042681255	0,029226246
10.мар	0,17619	82,78	-0,1	51,7	0,042647428	0,027906669
11.мар	0,17619	80,78	-0,3	51,7	0,041722679	0,028009565
12.мар	0,20556	78,38	-2,9	56,7	0,041842209	0,032063577
13.мар	0,21535	77,46	-4	58,3	0,041946694	0,033530188
14.мар	0,18598	77,31	-0,9	53,3	0,040253274	0,029226246
15.мар	0,19577	80,12	-1,6	55,0	0,042059399	0,030491784
16.мар	0,20556	80,56	-2,5	56,7	0,042753079	0,031857786
17.мар	0,17619	80,06	-0,3	51,7	0,041352803	0,028009565
18.мар	0,20556	80,34	-2,5	56,7	0,042640328	0,031857786
19.мар	0,20556	79,56	-2,6	56,7	0,042292124	0,031909234

Дата	Q , МВт	Фактич. темпер. теплоноси теля, t_{ϕ} , °С	t_H , °С	Оптимальн ая темпер. теплоносит еля, t , °С	Фактические затраты, руб	Предлагаемые затраты, руб
20.мар	0,20556	79,41	-3,3	56,7	0,042575422	0,032269369
21.мар	0,19577	80,57	-1,9	55,0	0,042444603	0,030646127
22.мар	0,22513	80,74	-4,8	60,0	0,044043251	0,034840297
23.мар	0,1664	81,47	1	50,0	0,041406328	0,026429974
24.мар	0,18598	82,67	-1,3	53,3	0,043210638	0,029432038
25.мар	0,13704	80,88	3,6	45,0	0,039761571	0,022341174
26.мар	0,12725	79,27	5,3	43,3	0,038058152	0,020542314
27.мар	0,1664	76,84	1,3	50,0	0,038872919	0,026275631
28.мар	0,20556	76,02	-2,7	56,7	0,040532386	0,031960682
29.мар	0,18598	77,72	-0,8	53,3	0,04041215	0,029174799
30.мар	0,19577	78,71	-1,8	55,0	0,041439184	0,03059468
31.мар	0,17619	77,98	-0,4	51,7	0,040335998	0,028061013
01.апр	0,19577	77,95	-1,8	55,0	0,041049606	0,03059468
02.апр	0,18598	77,32	-1,4	53,3	0,040515643	0,029483486
03.апр	0,17619	77,96	-0,4	51,7	0,040325729	0,028061013
04.апр	0,20556	78,37	-2,7	56,7	0,041734195	0,031960682
05.апр	0,17619	78,7	-0,2	51,7	0,04060283	0,027958117
06.апр	0,17619	79,67	-0,3	51,7	0,041152472	0,028009565
07.апр	0,18598	80,72	-0,6	53,3	0,041849039	0,029071903
08.апр	0,14683	78,93	2,9	46,7	0,039120018	0,023621755
09.апр	0,1664	80,82	0,8	50,0	0,041175144	0,02653287
10.апр	0,19577	85,67	-2,4	55,0	0,045320234	0,030903367
11.апр	0,21535	85,33	-3,8	58,3	0,045872826	0,033427292
12.апр	0,19577	85	-2,2	55,0	0,04487319	0,030800471
13.апр	0,15662	84,05	1,5	48,3	0,04247407	0,025258987
14.апр	0,14683	80,76	2,8	46,7	0,040112411	0,023673203

Дата	Q , МВт	Фактич. темпер. теплоноси теля, t_{ϕ} , °С	t_H , °С	Оптимальн ая темпер. теплоносит еля, t , °С	Фактические затраты, руб	Предлагаемые затраты, руб
15.апр	0,14683	80,11	2,9	46,7	0,039726736	0,023621755
16.апр	0,11746	81,22	5,6	41,6	0,038906225	0,019459556
17.апр	0,09788	83,55	8,1	38,2	0,038817977	0,016302173
18.апр	0,09788	85,52	9,4	38,2	0,039162616	0,015633351
19.апр	0,10767	86,42	6,9	39,9	0,040912029	0,017857711
20.апр	0,09788	87,31	9,4	38,2	0,040083483	0,015633351
21.апр	0,09788	87,33	9,3	38,2	0,04014522	0,015684799
22.апр	0,14683	86,45	3,4	46,7	0,042729905	0,023364516
23.апр	0,11746	83,95	6,2	41,6	0,040001844	0,019150869
24.апр	0,09788	84,19	8,5	38,2	0,038941431	0,016096382
25.апр	0,18598	82,53	-0,5	53,3	0,042727142	0,029020455
26.апр	0,17619	79,08	-0,3	51,7	0,040849435	0,028009565
27.апр	0,17619	79,47	-0,1	51,7	0,040946848	0,027906669
28.апр	0,11746	81,9	5,6	41,6	0,03925601	0,019459556
29.апр	0,09788	87,75	10,4	38,2	0,039795364	0,015118873
30.апр	0,09788	90,72	8,2	38,2	0,042455153	0,016250726
Суммарные затраты на 1 м. теплопровода, руб					154,94	7,12
Итоговые затраты, руб (50 м)					185926,7692	8545,418127
Экономический эффект, руб						177 381,35

Экономический эффект от перевода участка системы теплоснабжения на более оптимальный график температур позволил бы сэкономить при транспортировке теплоносителя 177381,35 тысяч рублей за отопительный сезон.

По итогам проведенного экспериментального исследования был подписан акт об использовании полученных результатов на некоторых объектах ОАО «ММК» (приложение 3).

Выводы по четвертой главе

Решена задача оптимального управления температурой и расходом теплоносителя с точки зрения минимизации затрат электрической энергии на перекачку и тепловых потерь при транспортировке. Полученное решение позволяет осуществлять выбор графиков количественно-качественного регулирования в зависимости от таких условий как степень изношенности теплопроводов, состояние тепловой изоляции, КПД сетевых насосных установок, соотношение тарифов на тепловую и электрическую энергию, теплотехнические характеристики объекта и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. С использованием проектно-расчётных методов исследованы особенности и оценена эффективность систем теплоснабжения с низкотемпературными параметрами.

2. Разработан алгоритм управления расходом теплоносителя в условиях изменяющейся температуры теплоносителя. Также были определены соотношения для оценки изменения диаметров, удельных потерь давления и теплового потока в зависимости от изменения температуры теплоносителя.

3. Разработана методика нахождения оптимальных температуры и расхода теплоносителя с точки зрения минимизации затрат электрической энергии на его перекачку и тепловых потерь при транспортировке. Данная методика позволяет осуществлять расчет графиков качественно-количественного регулирования в зависимости от таких условий как степень изношенности теплопроводов, состояние тепловой изоляции, КПД сетевых насосных установок, соотношение тарифов на тепловую и электрическую энергию.

4. Разработано программное обеспечение, позволяющее рассчитывать графики качественно-количественного регулирования тепловой нагрузки для различных объектов теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теплоснабжение: учебник для вузов / А.А. Ионин, Б.М. Хлыбов, Б.Н. Братенков, Е.Н. Терлецкая. – М. : Стройиздат, 1982. – 336 с.
2. Козин, В.Е. Теплоснабжение: учебное пособие для студентов вузов / В.Е. Козин, Т.А. Левина, А.П. Марков, И.Б. Пронина, В.А. Слемзин. – М. : Высшая школа, 1980. – 408 с.
3. Авдолимов, Е.М. Реконструкция водяных тепловых сетей: Производственное издание / Е.М. Авдолимов. – М. : Стройиздат, 1990. – 304 с.
4. Трухний, А.Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки: Учебное пособие для вузов / А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин. – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 540 с.
5. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию / И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.; под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.
6. Гуторов, В.Ф. 100 лет развития теплофикации в России / В.Ф. Гуторов, С.А. Байбаков // Энергосбережение. – 2003. – №5. – С. 32–34.
7. Манюк, В.И. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. Справочник / В.И. Манюк, Я.И. Каплинский, Э.Б. Хиж. - М. : Стройиздат, 1988. – 432 с.
8. Богданов, А.Б. Теплофикации нет альтернативы. Виноват метод анализа [Электронный ресурс] / А.Б. Богданов // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2003. – № 6. – Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2003_6/art54.htm
9. Тувальбаев, Б.Г. Отдаленные перспективы использования ТЭС / Б.Г. Тувальбаев // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 4. – С. 2-5.
10. Хараим, А.А. Современная история теплофикации, заслуживающей лучшей судьбы. / А.А. Хараим, В.Н. Ильич // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 5.

11. Ливчак, И.Ф. Развитие теплоснабжения, климатизации и вентиляции в России за 100 последних лет: учебное пособие / И.Ф. Ливчак, Ю.Я. Кувшинов. – Москва : Ассоциация строительных вузов, 2004 г. – 96 с.
12. Хаванов, П.А. Децентрализованное теплоснабжение – альтернатива или шаг назад / П.А. Хаванов // Новости теплоснабжения. – 2006. – № 3.
13. Зарождение централизованного теплоснабжения в России. – Энергосбережение. – 2003. – № 4. – С. 8-10.
14. Вольфберг, Д.Б. Состояние и перспективы российской теплофикации (Из доклада, представленного на международном рабочем совещании в Копенгагене, 07.1988 г) [Электронный ресурс] / Д.Б. Вольфберг, А.А. Кролин, В.П. Шахин. – Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=204
15. Хаванов, П.А. Автономная система теплоснабжения – альтернатива или шаг назад? / П.А. Хаванов // АВОК. – 2004. – № 1. – С. 23-29.
16. Шарапов, В.И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов. – М. : Новости теплоснабжения, 2007. – 164 с.
17. Дюскин, В.К. Количественно-качественное регулирование тепловых сетей / В.К. Дюскин. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1959. – 145 с.
18. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. – 7-е издание. – М. : Издательство мэи, 2001. – 472 с.
19. Панферов, В.И. К теории управления режимами централизованного теплоснабжения / В.И. Панферов, С.В. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2011. – выпуск 12, № 16. – С. 41-45.
20. Козин, В.Е. Режимы отпуска тепла /В.Е. Козин Тула: Тульский политехнич. институт, 1977-50с.
21. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А.А. Николаева. – М.: Стройиздат, 1965. – 360 с.
22. Наумчик, Е.М. Еще раз о регулировании в системах теплопотребления [Электронный ресурс] / Е.М. Наумчик. – Режим доступа: <http://termo-k.by/eshhe-raz-o-regulirovanii-v-sistemax-teplotrebleniya/>

23. Гершкович, В.Ф. О возможности практической реализации регулирования теплопотребления зданий методом периодического прерывания потока теплоносителя [Электронный ресурс] / В.Ф. Гершкович // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2008. – № 2. – Режим доступа: http://www.esco-ecosys.ru/2008_2/art106.htm. Дата обращения 21.01.2011.
24. Мачинский, В.Д. Теплотехнические основы строительства / В.Д. Мачинский. М.: Госстройиздат, 1949. - 326 с.
25. Шкловер, А.М. Теплоустойчивость зданий / А.М. Шкловер. — М.: Госстройиздат, 1952. — 130 с.
26. Табунщиков, Ю.А. Экспериментальные исследования оптимального управления расходом энергии / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач // АВОК. – 2006. – № 1. – С. 32-39.
27. Анисимова, Е.Ю. Идентификация и оптимизация нестационарных температурных режимов зданий / Е.Ю. Анисимова: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Челябинск, 2008. – 172 с.
28. Певной, П. Современное здание. Инженерные системы / П. Певной. – 2006. – 82 с.
29. Пырков, В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование / Пырков В.В. – К. : Данфосс ТОВ, 2007 г.
30. Черковский, Н.М. Особенности режимов работы систем теплоснабжения в условиях автоматизации потребителей тепла / Н.М. Черковский // Энергия и менеджмент. – 2003. – № 6.
31. Мухин, О.А. Автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции / О.А. Мухин. – Минск: Выш. шк., 1986. – 304 с.
32. Чистович, С.А. Перспективы развития автоматического регулирования расхода тепла в современных системах централизованного теплоснабжения / С.А. Чистович, В.С. Фаликов // Водоснабжение и санитарная техника. 1971. – № 3. – С 27-31.

33. Ливчак, В.И. Автоматическое регулирование отопления / В.И. Ливчак // Водоснабжение и санитарная техника. 2000. – №2. — С. 23-25.
34. Стандартные решения «Данфосс». Экономия электроэнергии, сокращение капитальных затрат и увеличение срока службы. – Москва, 2013 г. – 122 с.
35. Проектирование автоматизированных систем водяного отопления многоэтажных жилых и общественных зданий. Пособие ООО «Данфосс». – Москва, 2013 г. – 57 с.
36. Применение средств автоматизации Danfoss в тепловых пунктах систем централизованного теплоснабжения зданий. Пособие ООО «Данфосс». – Москва, 2013 г. – 64 с.
37. Сафронов, А. П. Автоматизация систем централизованного теплоснабжения / А. П. Сафронов. М. : Энергия, 1974. – 272 с.
38. Стандартные автоматизированные блочные тепловые пункты Danfoss. Пособие ООО «Данфосс». – Москва, 2014 г. – 50 с.
39. Электронные регуляторы и электронные средства управления. Каталог ООО «Данфосс». – Москва, 2013 г. – 250 с.
40. Чаплин, В.М. Отопление и вентиляция / В.М. Чаплин. – М.: Чистые пруды. – 1903. – 11 с.
41. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование. -М.: Госстрой России, 2004. 71с.
42. Братенков, В.Н. Теплоснабжение малых населенных пунктов / В.Н. Братенков, П.А. Хаванов, Л.Я. Вэскер. – М. : Стройиздат, 1988. – 223 с.
43. Копьев, С.Ф. Высокотемпературное теплоснабжение от крупных ТЭЦ / С.Ф. Копьев, М.В. Сигал // Теплоэнергетика. – 1973. – №7. – С. 19-24.
44. Пик, М.М. Выбор температурного графика регулирования отпуска тепла в системах централизованного теплоснабжения / М.М. Пик, И.А. Смирнов, Р.Л. Ермаков // Теплоэнергетика. – 1974. – №11. – С. 16-21.

45. Соболев, И.Д. Повышение температуры прямой сетевой воды от центральных котельных / И.Д. Соболев // Электрические станции. – 1982. – №9. – С. 32-35.
46. Филиппов, М.Ф. Расчетная температура теплоносителя в двухтрубной закрытой системе теплоснабжения / М.Ф. Филиппов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1965. – №7. – С. 17-23.
47. Копьев, С.Ф. Теплоснабжение: Учебник для вузов / С.Ф. Копьев. – М.: Госстройиздат, 1953. – 495 с.
48. Сафонов, А.П. К вопросу о температурном графике систем теплоснабжения / А.П. Сафонов // Теплоэнергетика. – 1978. – С. 21-25.
49. Шалагинова, З.И. Задачи и методы расчета температурных графиков отпуска тепла на основе теплогидравлического моделирования систем теплоснабжения // Теплоэнергетика 2004 № 7 — С. 41 -49. Родионов, В.Г. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего / В.Г. Родионов. – М.: ЭНАС, 2010. – 352 с.
50. Родионов, В.Г. Энергетика. Проблемы настоящего и возможности будущего / В.Г. Родионов. – М.: ЭНАС. – 2010. – 352 с.
51. Мельникова, М.П. Политика повышения энергетической эффективности в России / М.П. Мельникова // Энергонадзор и энергоэффективность. – 2004. – № 4.
52. Реутов, Б.Ф. Национальный доклад. Теплоснабжение Российской Федерации. Пути выхода из кризиса / Б.Ф.Реутов, А.Л.Наумов, В.Г.Семёнов, В.В.Муравьев, И.Н.Пыжов. -М.: АНО «РУСДЕМ-Энергоэффект», 2002. 141 с.
53. Гапо, Е.Г. О некоторых способах повышения эффективности теплоснабжения: регулирование или автономное отопление? / Е.Г. Гапо, С.А. Козлов, В.П. Кожевников // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 2. – С.17-22.
54. Табунщиков, Ю.А. Новый век ОВК: проблемы и перспективы / Ю.А. Табунщиков // АВОК. – 2000. – № 3. – С. 10-13.

55. Исупов, Е.А. Провинциальный взгляд на маленькую проблему в теплоснабжении / Е.А. Исупов, А.Г. Никифоров, П.Н. Сергеевков, А.М. Захарцов // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 12. – С. 68-72.
56. Балабанов, М.Ф. Переход на поквартирное отопление как альтернатива решения одной из проблем коммунальной реформы / М.Ф. Балабанов // Новости теплоснабжения. – 2006. – № 3. – С. 56-59.
57. Мартынов, А.В. Децентрализованные системы теплоснабжения / А.В. Мартынов // Новости теплоснабжения. – 2006. – № 7.
58. Гашо, Е.Г. Особенности развития и проблемы повышения эффективности систем энергообеспечения городов / Е.Г. Гашо // Новости теплоснабжения. – 2007. – № 1. – С. 27-32.
59. Гершкович, В.Ф. От централизованного теплоснабжения – к тепловым насосам / В.Ф. Гершкович // Энергосбережение. – 2010. – № 3. – С. 24-28.
60. Пузаков, В.С. Теплоснабжение по-европейски / В.С. Пузаков // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 8. – С. 10-14.
61. Семёнов, В.Г. Зарубежный опыт эксплуатации систем теплоснабжения / В.Г. Семёнов // Энергосбережение. – 2005. – № 7. – С. 62-65.
62. Лека, А. Теплофикация в Румынии: факты и перспективы / А. Лека // Энергетик. – 2005. – № 4.
63. Рыкалов, В. Централизованное теплоснабжение в Дании и Германии [Электронный ресурс] / В. Рыкалов // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2008. – № 9. – Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2008_9/art055.htm
64. Станкявичюс, В. Анализ потребления тепловой энергии для отопления жилых домов / В. Станкявичюс, Ю. Карбаускайте, Р. Морквенас // Труды VII съезда АВОК. Москва. – 2000. – С. 116-120.
65. Ливчак, В.И. К вопросу модернизации централизованного теплоснабжения городов / В.И. Ливчак // Труды VII съезда АВОК. Москва – 2000. – С. 142-144.

66. Laakso Jutta. District heating and combined heat and power in the Finnish Energy System // Euroheat and Power: Fernwarme int. – 1999. - 28, № 3. – P. 12-14.
67. Madsen Mads. 45000 km of prefabricated pipes in Europe // Fjernvarmen. – 1985. - № 3.
68. Persson Tina, Jander Lars. Stockholm – the city of large heat pumps // ASEA journal. – 1985. - № 2.
69. Pudig Wolfgang. Combined heat and power for district heating // Phys. Technol. – 1986. - № 3.
70. Громов, Б.Н. Состояние и перспективы развития централизованного теплоснабжения. Серия Тепловые электростанции. Теплоснабжение (Итоги науки и техники) / Б.Н. Громов, А.А. Саламов, И.А. Смирнов. – М.: ВИНТИ, 1988. – 132 с.
71. Freire R.Z. Non-linear predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings / R.Z. Freire, G.H.C. Oleveira, N. Mendes // Energy saving control in plants and buildings. – 2006. – С. 87-92.
72. Roberto Z.F. Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings / Z.F. Roberto, H.C. Gustavo, N. Mendes // Energy and Buildings. – 2008. - № 7. – С. 1353-1365.
73. Ливчак, В.И. Энергосбережение в системах централизованного теплоснабжения на новом этапе развития / В.И. Ливчак // Энергосбережение. – 2000. – № 2. С. 4-9.
74. Короткова, Л.И. Теплоснабжение городов с градообразующими предприятиями / Л.И. Короткова, Г.А. Павлова // Новости теплоснабжения. – 2006. – № 3. – С. 24-27.
75. Гершкович, В.Ф. Сто пятьдесят... Норма или перебор? (Размышления о параметрах теплоносителя) / В.Ф. Гершкович // Энергосбережение. – 2004. – № 5. – С. 42-49.
76. Чистович, С. А. 100-летняя история и будущее теплофикации и централизованного теплоснабжения России. / С. А. Чистович // 100 лет

теплофикации и централизованному теплоснабжению: сб. статей. – Москва: Изд-во Новости теплоснабжения. – 2003. – С. 198-208.

77. Шелудько, Л.П. Анализ возможности сокращения «перетопа» тепловых потребителей при «изломе» температурного графика теплосети / Л.П. Шелудько // Новости теплоснабжения. – 2004. – №05. – С. 41-44.

78. Шнайдер, Д.А. Автоматизация управления системами теплоснабжения промышленных объектов при низкотемпературных режимах / Д.А. Шнайдер: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Челябинск, 2003. – 147 с.

79. Башмаков, И.А. Повышение энергоэффективности в системах теплоснабжения. Часть 1. Проблемы российских систем теплоснабжения / И.А. Башмаков // Энергосбережение. – 2010. – №2. – С. 46-51.

80. Богданов, А.Б. Национальные показатели энергоэффективности России / А.Б. Богданов // Энергосбережение. – 2010. – № 5. – 46-53.

81. Литвишков, В.М. Отечественный опыт эксплуатации систем теплоснабжения с применением ИТП / В.М. Литвишков // Энергетик. – 2008. – № 10. – С. 32-34.

82. Шойхен, Б. Тепловая изоляция промышленных трубопроводов / Б. Шойхен, Л. Ставрицкая, В. Липовских, В. Кашинский // Энергосбережение в Поволжье. – 2001. – № 1. – С. 76-79.

83. Овчаренко, Е.Г. Тепловая изоляция и энергосбережение / Е.Г. Овчаренко, В.М. Артемьев, Б.М. Шойхет, В.С. Жолудов // Энергосбережение. – 1999. – № 2. – С. 37-42.

84. Копко, В.М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей: учебно-методическое пособие / В.М. Копко. – Минск: «Технопринт», 2002. – 160 с.

85. Казаринов, Л.С. Проведение исследований и разработка технических предложений по оптимизации режимов тепловых сетей промплощадки ОАО «ММК» на основе использования секционирования сетей и многоконтурных схем теплоснабжения (по договору № 120494 от 26.11.03 с ОАО "ММК") Этап №2.

Технические предложения / Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер. // Промежуточный отчет. Челябинск. – 2004 г.

86. Потапова, А.А. Применение тепловых насосов в системе теплоснабжения промышленного предприятия города / А.А. Потапова, И.А. Султангузин // *Металлург*. – 2010. – № 9. – С. 75-78.

87. Богданов, А.Б. Почему не внедряются тепловые насосы / А.Б. Богданов // *С.О.К.* – 2004. – №4.

88. Зубков, В.А. Использование тепловых насосов в системах теплоснабжения / В.А. Зубков // *Теплоэнергетика*. – 1996. – № 2. – С. 17-20.

89. Закиров, Д.Г. Состояние и перспективы использования низкопотенциальной теплоты с помощью тепловых насосов / Д.Г. Закиров // *Промышленная теплоэнергетика*. – 2004. – № 6. – С. 2-9.

90. Гершкович, В.Ф. От централизованного теплоснабжения – к тепловым насосам / В.Ф. Гершкович // *Энергосбережение*. – 2010. – № 3. – С. 24-28.

91. Алимов, Х.А. Тепловые сети. Актуальные проблемы и пути решения / Х.А. Алимов // *Новости теплоснабжения*. – 2007. – № 11.

92. Основные проблемы и задачи развития централизованного теплоснабжения [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2443

93. Махов, Л.М. Вопросы проектирования современных систем отопления зданий в свете новой редакции СНиП / Л.М. Махов // *АВОК*. 2005 – № 4. – С. 34-47.

94. Хрусталёв, Б.М. Теплоснабжение и вентиляция / Б.М. Хрусталёв, Ю.Я. Кувшинов, В.М. Копко // М.: Изд. Ассоциации строительных ВУЗов. 2010. – 784 с.

95. Короткова, Л.И. Основы строительной теплофизики и отопления. Учебное пособие / Л.И. Короткова, Г.А. Павлова. – Магнитогорск: Издательство «МиниТип», 2007. – 144 с.

96. Махов, Л.М. О выборе отопительных приборов и параметров теплоносителя в современной системе водяного отопления / Л.М. Махов // Труды VII съезда АВОК. Москва. – 2000. – С. 112-115

97. Пухкал, В.А. Анализ нормативов потребления теплоты на отопление существующего жилого фонда / В.А. Пухкал // Труды VII съезда АВОК. Москва. – 2000. – С. 122-125

98. Казаринов, Л.С. Оптимизация распределения нагрузки энергетических агрегатов теплофикационного комплекса ТЭЦ-ЦЭС ОАО “ММК” / Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер // Экспресс-отчет. Челябинск. – 2007.

99. Шнайдер, Д.А. Об оптимальной загрузке агрегатов ТЭЦ / Д.А. Шнайдер, О.В. Попова, Д.А. Безруков // Вестник ЮУрГУ. Серия Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2004. – Вып. 3. - № 9 (38).

100. Шнайдер, Д.А. Об оптимальных режимах теплоснабжения промышленных объектов / Д.А. Шнайдер, Д.А. Безруков // Вестник ЮУрГУ. Серия Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2003. – Вып. 2. - № 4 (20). – С. 129 – 131.

101. Голяк, С.А. Снижение температуры теплоносителя в системах теплоснабжения России: За и против / С.А. Голяк, О.Ф. Гавей // Энергосбережение. 2012 – № 3. – С. 42-44.

102. Кравченко, Г.М. Регулирование параметров теплоносителя открытых систем теплоснабжения / Г.М. Кравченко, В.И. Бабенков, Л.Ф. Риполь-Сарагосси // Новости теплоснабжения. 2004 – № 10. – С. 24-26.

103. Рябцев, В.И. Определение значений нормативной температуры обратной сетевой воды в нерасчетном режиме / В.И. Рябцев, Г.А. Рябцев, Г.Т. Курский // Новости теплоснабжения. 2001. – № 3. – С. 12-13.

104. Волов, Г.Я. Влияние понижения температуры теплоносителя на работу системы отопления [Электронный ресурс] / Г.Я. Волов // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2002. - № 7. – Режим доступа: http://esco-ecosys.narod.ru/2002_7/art63.htm

105. Ротов, П.В. О температурном графике работы теплофикационных систем городов / П.В. Ротов, М.Е. Орлова, М.А. Ротова, В.И. Шарапов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2012. – № 6. – С. 39-42.
106. Ротов, П.В. Особенности регулирования нагрузки систем теплоснабжения в переходный период / П.В. Ротов, В.И. Шарапов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. - № 2. – С. 25-28.
107. Ротов, П.В. О работе систем теплоснабжения без излома температурного графика / П.В. Ротов, М.Е. Орлов, В.И. Шарапов // Энергосбережение и водоподготовка. – 2012. - № 2. – С. 12-17.
108. Ротов, П.В. Оценка энергетической эффективности технологий количественного регулирования тепловой нагрузки на ТЭЦ / П.В. Ротов // Труды Академэнерго. – 2014. - № 4. – С. 39-49.
109. Ливчак, В.И. Совершенствование систем централизованного теплоснабжения крупных городов России / В.И. Ливчак // АВОК. – 2004. - № 5. – С. 42-49.
110. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч 1. Отопление. / В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.И. Сканава и др.; под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
111. Шарапов, В.И. О зарубежном опыте экономии топливно-энергетических ресурсов в системах теплоснабжения / В.И. Шарапов, П.В. Ротов // Энергосбережение. – 1999. – № 2. – С. 60-62.
112. Гавей, О.Ф. Сравнение эффективности различных температурных графиков теплоснабжения в современных условиях. / О.Ф. Гавей, В.И. Панферов, С.А. Голяк // Материалы 13-й всероссийской научно-практической конференции «Энергетики и металлурги настоящему и будущему России». Магнитогорск, МГТУ, 2012. – С. 108-111.
113. Зингер, Н.М. Расчет и моделирование гидравлических режимов тепловых сетей / Н.М. Зингер. – М.: Энергия, 1964. – 184 с.

114. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.
115. Расчет тепловых потерь неизолрованными трубопроводами при наземной прокладке. Методические указания. [Электронный ресурс] – Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2010. – № 5. – Режим доступа: <http://esco-ecosys.narod.ru/frames/contents.htm>
116. Гавей, О.Ф. Оценка влияния температуры теплоносителя на тепловые потери теплопроводов. / О.Ф. Гавей, В.И. Панферов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2012. – выпуск 15. – С. 50-54.
117. Строительные нормы и правила. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. – М.: Стройиздат, 1989. – 28 с.
118. Панферов, В.И. Об оптимальной температуре теплоносителя в теплотранспортных системах. / В.И. Панферов, О.Ф. Гавей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2013. – том 13, № 1. – С. 63-66.
119. Панферов, В.И. Об оптимальном управлении температурой теплоносителя в тепловых сетях. / В.И. Панферов, О.Ф. Гавей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2014. – том 14, № 4. – С. 65-70.

Расчёт отопительной нагрузки рассматриваемого здания

Исходные данные:

Расчётная температура наружного воздуха - -34°C

Расчетные параметры внутреннего воздуха:

В жилых комнатах - 20 °С

В кухнях - 18 °С

На лестничных клетках - 16 °С

В отдельных санузлах - 18 °С

В совмещенных санузлах - 25 °С

В ванных комнатах - 25 °С

Относительная влажность воздуха составляет 40 – 60%

Таблица А1. Отопительная нагрузка здания для первого случая

Номер помещения	Наименов.	Характеристики ограждения						Δ Т	Коэф. п	Основн. теплопотери	доб. коэф.			Коэф.д обавок	Общие теплопотери, Вт		Расходы теплоты				
		Обозначения	Ор. по сторонам света	длина	ширина	площадь	Коэф. К				Стор. Света	На входные нар. двери	На угловые помещения		Q огр	Q пом	Инфильт.	Вентил.	Бытовые	Итог	
101	К, 18°C	НС	С	5,90	3,20	18,88	0,30	52	1,00	294,53	0,10		0,15	1,25	368,16						
		НС	З	2,80	3,20	8,96	0,30	52	1,00	139,78	0,05		0,15	1,20	167,73						
		ДО	З	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20	0,05		0,15	1,20	224,64						
		Пл		5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,60	89,13				1,00	89,13						
		ПлК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,60	14,64				1,00	14,64						
															864,30			102,13	144,60	821,82	
102	Жк,	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	54	1,00	139,97	0,10			1,10	153,96						

	20°C	ДО	С	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,10			1,10	213,84					
		Пл		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,60	82,49				1,00	82,49					
		ПлК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,60	21,61				1,00	21,61	471,91	106,06	633,68	139,70	965,89
103	К,	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78	0,10			1,10	148,26					
	18°C	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	52	1,00	262,08	0,10			1,10	288,29					
		Пл		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,60	77,50				1,00	77,50					
		ПлК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,60	47,36				1,00	47,36	561,41		142,98	174,00	530,39
	104	Жк,	НС	С	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52	0,10			1,10	171,07				
		20°C	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,10			1,10	299,38				
		БД	С	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,10			1,10	590,20					
		Пл		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,60	121,62				1,00	121,62	1182,26	441,19	740,28	163,20	1759,34
	105	Жк,	НС	С	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52	0,10			1,10	171,07				
		20°C	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,10			1,10	299,38				
		БД	С	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,10			1,10	590,20					
		Пл		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,60	121,62				1,00	121,62	1182,26	441,19	740,28	163,20	1759,34
	106	к,	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78	0,10			1,10	148,26				
		18°C	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	52	1,00	262,08	0,10			1,10	288,29				
		Пл		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,60	77,50				1,00	77,50					
		ПлК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,60	47,36				1,00	47,36	561,41		142,98	174,00	530,39
	107	Жк,	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	54	1,00	139,97	0,10			1,10	153,96				
		20°C	ДО	С	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,10			1,10	213,84				
		Пл		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,60	82,49				1,00	82,49					
		ПлК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,60	21,61				1,00	21,61	471,91	106,06	633,68	139,70	965,89
	108	К,	НС	С	5,90	3,20	18,88	0,30	52	1,00	294,53	0,10	0,15	1,25	368,16					
		18°C	НС	В	2,80	3,20	8,96	0,30	52	1,00	139,78	0,10	0,15	1,25	174,72					
		ДО	В	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20	0,10	0,15	1,25	234,00						
		Пл		5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,60	89,13				1,00	89,13					
		ПлК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,60	14,64				1,00	14,64	880,64		102,13	144,60	838,17
	109	Жк,	НС	В	3,50	3,20	11,20	0,30	54	1,00	181,44	0,10			1,10	199,58				
20°C		ДО	В	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,10			1,10	299,38					

		БД	В	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,10			1,10	590,20					
		Пл		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,60	140,84				1,00	140,84					
		ПлК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,60	12,52				1,00	12,52	1242,52	441,19	933,51	205,80	1970,23
110	Жк,	НС	В	2,50	3,20	8,00	0,30	54	1,00	129,60	0,10			1,10	142,56					
	20°C	ДО	В	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,10			1,10	213,84					
		Пл		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,60	65,21				1,00	65,21					
		ПлК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,60	31,67				1,00	31,67					
						0,00		54		0,00				1,00	0,00	453,28	106,06	589,68	130,00	912,96
111	Жк,	НС	В	3,80	3,20	12,16	0,30	54	1,00	196,99	0,10		0,15	1,25	246,24					
	20°C	НС	Ю	5,90	3,20	18,88	0,30	54	1,00	305,86			0,15	1,15	351,73					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40			0,15	1,15	223,56					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16			0,15	1,15	312,98					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54			0,15	1,15	617,03					
		Пл		3,30	5,40	17,82	0,23	54	0,60	132,79				1,00	132,79	1884,34	547,25	808,32	178,20	2514,45
112	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78					
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20					
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25					
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	399,92		102,13	108,60	393,44
113	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78					
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20					
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25					
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	399,92		102,13	108,60	393,44
114	Жк,	НС	Ю	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52				1,00	155,52					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		Пл		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,60	96,13				1,00	96,13					
		ПлК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,60	31,30				1,00	31,30	555,11	148,48	775,66	171,00	1159,77
115	Жк,	НС	Ю	5,70	3,20	18,24	0,30	54	1,00	295,49				1,00	295,49					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54				1,00	536,54					
		Пл		3,40	5,70	19,38	0,23	54	0,60	144,42				1,00	144,42	1248,61	441,19	879,08	193,80	1933,89

116	Жк,	НС	Ю	5,70	3,20	18,24	0,30	54	1,00	295,49				1,00	295,49					
	20 ⁰ С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54				1,00	536,54					
		Пл		3,40	5,70	19,38	0,23	54	0,60	144,42				1,00	144,42	1248,61	441,19	879,08	193,80	1933,89
117	Жк,	НС	Ю	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52				1,00	155,52					
	20 ⁰ С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		Пл		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,60	96,13				1,00	96,13					
		ПлК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,60	31,30				1,00	31,30	555,11	106,06	775,66	171,00	1159,77
118	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78					
	18 ⁰ С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20					
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25					
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	399,92		102,13	108,60	393,44
119	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78					
	18 ⁰ С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20					
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25					
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	399,92		102,13	108,60	393,44
120	Жк,	НС	З	3,80	3,20	12,16	0,30	54	1,00	196,99	0,05	0,10	1,15	226,54						
	20 ⁰ С	НС	Ю	5,90	3,20	18,88	0,30	54	1,00	305,86			0,10	1,10	336,44					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40			0,10	1,10	213,84					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16			0,10	1,10	299,38					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54			0,10	1,10	590,20					
		Пл		3,30	5,40	17,82	0,23	54	0,60	132,79				1,00	132,79	1799,19	547,25	808,32	178,20	2429,31
121	Жк,	НС	З	2,50	3,20	8,00	0,30	54	1,00	129,60	0,05		1,05	136,08						
	20 ⁰ С	ДО	З	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,05		1,05	204,12						
		Пл		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,60	65,21				1,00	65,21					
		ПлК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,60	31,67				1,00	31,67	437,08	106,06	589,68	130,00	896,76
122	Жк,	НС	З	3,50	3,20	11,20	0,30	54	1,00	181,44	0,05		1,05	190,51						
	20 ⁰ С	ДО	З	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,05		1,05	285,77						
		БД	З	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,05		1,05	563,37						
		Пл		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,60	140,84				1,00	140,84					

		ПлК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,60	12,52				1,00	12,52	1193,01	441,19	933,51	205,80	1920,72	
Итого по I этажу																	18392,63				26576,74
301	К,	НС	С	5,90	2,80	16,52	0,30	52	1,00	257,71	0,10		0,15	1,25	322,14						
	18 ⁰ С	НС	З	2,80	2,80	7,84	0,30	52	1,00	122,30	0,05		0,15	1,20	146,76						
		ДО	З	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20	0,05		0,15	1,20	224,64	693,54		78,21	144,60	627,15	
302	Жк,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	54	1,00	122,47	0,10			1,10	134,72						
	20 ⁰ С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,10			1,10	213,84	348,56	81,22	633,68	139,70	842,54	
303	К,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94	0,10			1,10	129,73						
	18 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	52	1,00	262,08	0,10			1,10	288,29						
						0,00				0,00				1,00	0,00	418,02		109,49	174,00	353,51	
304	Жк,	НС	С	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08	0,10			1,10	149,69						
	20 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,10			1,10	299,38						
		БД	С	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,10			1,10	590,20	1039,26	337,87	740,28	163,20	1616,34	
305	Жк,	НС	С	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08	0,10			1,10	149,69						
	20 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,10			1,10	299,38						
		БД	С	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,10			1,10	590,20	1039,26	337,87	740,28	163,20	1616,34	
306	К,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94	0,10			1,10	129,73						
	18 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	52	1,00	262,08	0,10			1,10	288,29	418,02		109,49	174,00	353,51	
307	Жк,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	54	1,00	122,47	0,10			1,10	134,72						
	20 ⁰ С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,10			1,10	213,84	348,56	81,22	633,68	139,70	842,54	
308	К,	НС	С	5,90	2,80	16,52	0,30	52	1,00	257,71	0,10		0,15	1,25	322,14						
	18 ⁰ С	НС	В	2,80	2,80	7,84	0,30	52	1,00	122,30	0,05		0,15	1,20	146,76						
		ДО	В	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20	0,05		0,15	1,20	224,64	693,54		78,21	144,60	627,15	
309	Жк,	НС	В	3,50	2,80	9,80	0,30	54	1,00	158,76	0,10			1,10	174,64						
	20 ⁰ С	ДО	В	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,10			1,10	299,38						
		БД	В	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,10			1,10	590,20	1064,21	337,87	933,51	205,80	1791,92	
310	Жк,	НС	В	2,50	2,80	7,00	0,30	54	1,00	113,40	0,10			1,10	124,74						
	20 ⁰ С	ДО	В	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,10			1,10	213,84						
						0,00				0,00				1,00	0,00	338,58	81,22	589,68	130,00	798,26	
311	Жк,	НС	В	3,80	2,80	10,64	0,30	54	1,00	172,37	0,10		0,15	1,25	215,46						

	20°C	НС	Ю	5,90	2,80	16,52	0,30	54	1,00	267,62			0,15	1,15	307,77					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40			0,15	1,15	223,56					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16			0,15	1,15	312,98					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54			0,15	1,15	617,03	1676,80	419,09	808,32	178,20	2306,91
312	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20	305,14		78,21	108,60	274,75
313	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20	305,14		78,21	101,40	281,95
314	Жк,	НС	Ю	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08				1,00	136,08					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16	408,24	113,71	775,66	171,00	1012,90
315	Жк,	НС	Ю	3,40	2,80	9,52	0,30	54	1,00	154,22				1,00	154,22					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54				1,00	536,54	962,93	337,87	879,08	193,80	1648,20
316	Жк,	НС	Ю	3,40	2,80	9,52	0,30	54	1,00	154,22				1,00	154,22					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54				1,00	536,54	962,93	337,87	879,08	193,80	1648,20
317	Жк,	НС	Ю	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08				1,00	136,08					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16	408,24	113,71	775,66	171,00	1012,90
318	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20	305,14		78,21	108,60	274,75
319	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20	305,14		78,21	108,60	274,75
320	Жк,	НС	З	3,80	2,80	10,64	0,30	54	1,00	172,37	0,05		0,10	1,15	198,22					
	20°C	НС	Ю	5,90	2,80	16,52	0,30	54	1,00	267,62			0,10	1,10	294,39					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40			0,10	1,10	213,84					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16			0,10	1,10	299,38					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54			0,10	1,10	590,20	1596,02	419,09	808,32	178,20	2226,14
321	Жк,	НС	З	2,50	2,80	7,00	0,30	54	1,00	113,40	0,05		1,05	119,07						
	20°C	ДО	З	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,05		1,05	204,12	323,19	81,22	589,68	130,00	782,87	
322	Жк,	НС	З	3,50	2,80	9,80	0,30	54	1,00	158,76	0,05		1,05	166,70						

	20°C	ДО	З	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,05			1,05	285,77					
		БД	З	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,05			1,05	563,37	1015,84	337,87	933,51	205,80	1743,55
Итого по 3 этажу																14013,36				22322,31
501	К,	НС	С	5,90	2,90	17,11	0,30	52	1,00	266,92	0,10		0,15	1,25	333,65					
	18°C	НС	З	2,80	2,90	8,12	0,30	52	1,00	126,67	0,05		0,15	1,20	152,01					
		ДО	З	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20	0,05		0,15	1,20	224,64					
		Пг		5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,90	133,69				1,00	133,69					
		ПгК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,90	21,96				1,00	21,96	865,94		15,78	144,60	737,12
502	Жк,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	54	1,00	126,85	0,10			1,10	139,53					
	20°C	ДО	С	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,10			1,10	213,84					
		Пг		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,90	123,74				1,00	123,74					
		ПгК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,90	32,42				1,00	32,42	509,53		633,68	139,70	1003,51
503	К,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15	0,10			1,10	134,36					
	18°C	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	52	1,00	262,08	0,10			1,10	288,29					
		Пг		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,90	116,25				1,00	116,25					
		ПгК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,90	71,04				1,00	71,04	609,94		22,10	174,00	458,04
504	Жк,	НС	С	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94	0,10			1,10	155,03					
	20°C	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,10			1,10	299,38					
		БД	С	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,10			1,10	590,20					
		Пг		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,90	182,42				1,00	182,42	1227,03		740,28	163,20	1804,11
505	Жк,	НС	С	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94	0,10			1,10	155,03					
	20°C	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,10			1,10	299,38					
		БД	С	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,10			1,10	590,20					
		Пг		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,90	182,42				1,00	182,42	1227,03		740,28	163,20	1804,11
506	К,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15	0,10			1,10	134,36					
	18°C	ДО	С	1,40	1,50	2,10	2,40	52	1,00	262,08	0,10			1,10	288,29					
		Пг		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,90	116,25				1,00	116,25					
		ПгК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,90	71,04				1,00	71,04					
						0,00				0,00				1,00	0,00	609,94		22,10	174,00	458,04
507	Жк,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	54	1,00	126,85	0,10			1,10	139,53					

	20°C	ДО	С	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,10			1,10	213,84				
		Пг		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,90	123,74				1,00	123,74				
		ПгК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,90	32,42				1,00	32,42	509,53		633,68	139,70
508	К,	НС	С	5,90	2,90	17,11	0,30	52	1,00	266,92	0,10		0,15	1,25	333,65				
	18°C	НС	В	2,80	2,90	8,12	0,30	52	1,00	126,67	0,10		0,15	1,25	158,34				
		ДО	В	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20	0,10		0,15	1,25	234,00				
		Пг		5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,90	133,69				1,00	133,69				
		ПгК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,90	21,96				1,00	21,96	881,63		15,78	144,60
509	Жк,	НС	В	3,50	2,90	10,15	0,30	54	1,00	164,43	0,10			1,10	180,87				
	20°C	ДО	В	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,10			1,10	299,38				
		БД	В	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,10			1,10	590,20				
		Пг		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,90	211,26				1,00	211,26				
		ПгК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,90	18,78				1,00	18,78	1300,49		933,51	205,80
510	Жк,	НС	В	2,50	2,90	7,25	0,30	54	1,00	117,45	0,10			1,10	129,20				
	20°C	ДО	В	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,10			1,10	213,84				
		Пг		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,90	97,81				1,00	97,81				
		ПгК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,90	47,51				1,00	47,51	488,35		589,68	130,00
511	Жк,	НС	В	3,80	2,90	11,02	0,30	54	1,00	178,52	0,10		0,15	1,25	223,16				
	20°C	НС	Ю	5,90	2,90	17,11	0,30	54	1,00	277,18			0,15	1,15	318,76				
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40			0,15	1,15	223,56				
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16			0,15	1,15	312,98				
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54			0,15	1,15	617,03				
		Пг		3,30	5,40	17,82	0,23	54	0,90	199,19				1,00	199,19	1894,68		808,32	178,20
512	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15				
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20				
		Пг		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38				
		ПгК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	426,25		15,78	108,60
513	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15				
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20				
		Пг		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38				

		ПтК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	426,25		15,78	108,60	333,43
514	Жк,	НС	Ю	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94				1,00	140,94					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		Пт		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,90	144,20				1,00	144,20					
		ПтК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,90	46,95				1,00	46,95	604,24		775,66	171,00	1208,90
515	Жк,	НС	Ю	3,40	2,90	9,86	0,30	54	1,00	159,73				1,00	159,73					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54				1,00	536,54					
		Пт		3,40	5,40	18,36	0,23	54	0,90	205,23				1,00	205,23	1173,66		832,81	183,60	1822,87
516	Жк,	НС	Ю	3,40	2,90	9,86	0,30	54	1,00	159,73				1,00	159,73					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54				1,00	536,54					
		Пт		3,40	5,40	18,36	0,23	54	0,90	205,23				1,00	205,23	1173,66		832,81	183,60	1822,87
517	Жк,	НС	Ю	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94				1,00	140,94					
	20°C	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16				1,00	272,16					
		Пт		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,90	144,20				1,00	144,20					
		ПтК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,90	46,95				1,00	46,95	604,24		775,66	171,00	1208,90
518	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15					
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20					
		Пт		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38					
		ПтК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	426,25		15,78	108,60	333,43
519	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15					
	18°C	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	52	1,00	187,20				1,00	187,20					
		Пт		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38					
		ПтК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	426,25		15,78	108,60	333,43
520	Жк,	НС	З	3,80	2,90	11,02	0,30	54	1,00	178,52	0,05	0,10	1,15	205,30						
	20°C	НС	Ю	5,90	2,90	17,11	0,30	54	1,00	277,18			0,10	1,10	304,90					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40			0,10	1,10	213,84					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16			0,10	1,10	299,38					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54			0,10	1,10	590,20					

		Пг		3,30	5,40	17,82	0,23	54	0,90	199,19				1,00	199,19	1812,81		808,32	178,20	2442,92	
521	Жк,	НС	3	2,50	2,90	7,25	0,30	54	1,00	117,45	0,05			1,05	123,32						
		20°C	ДО	3	1,00	1,50	1,50	2,40	54	1,00	194,40	0,05			1,05	204,12					
		Пг		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,90	97,81				1,00	97,81						
		ПгК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,90	47,51				1,00	47,51	472,76		589,68	130,00	932,44	
522	Жк,	НС	3	3,50	2,90	10,15	0,30	54	1,00	164,43	0,05			1,05	172,65						
		20°C	ДО	3	1,40	1,50	2,10	2,40	54	1,00	272,16	0,05			1,05	285,77					
		БД	3	1,80	2,30	4,14	2,40	54	1,00	536,54	0,05			1,05	563,37						
		Пг		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,90	211,26				1,00	211,26						
		ПгК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,90	18,78				1,00	18,78	1251,83		933,51	205,80	1979,54	
Итого по 5 этажу																18922,29					26274,44
Л.К	16°C	НС	С	3,00	14,80	44,40	0,30	50	1,00	666,00	0,10			1,10	732,60						
		ДО	С	4,00	1,68	6,72	2,56	50	1,00	860,16	0,10			1,10	946,18						
		НД	С	2,20	1,50	3,30	2,02	50	1,00	333,30	0,10	4,00		5,10	1699,83						
		Пг		3,00	5,80	17,40	0,23	50	0,90	180,09				1,00	180,09						
		Пг		1,40	6,00	8,40	0,23	50	0,90	86,94				1,00	86,94						
		ПлIз		0,90	3,00	2,70	0,42	50	1,00	56,70				1,00	56,70						
		ПлIIз		2,00	3,00	6,00	0,22	50	1,00	66,00				1,00	66,00						
		Пл III		2,00	3,00	6,00	0,11	50	1,00	33,00				1,00	33,00						
		ПлIV		1,00	3,00	3,00	0,07	50	1,00	10,50				1,00	10,50						
		НСIз	С	1,10	3,00	3,30	0,03	50	1,00	4,95				1,00	4,95	7633,57		3157,00		10790,57	
																86988,57		130608,69			

Таблица А2. Отопительная нагрузка здания для второго случая

Номер помещения	Наименование помещения, температура воздуха	Характеристики ограждения						Разн. темпер	Коэффициент	Основные теплопотери	Добавки			Коэффициент учета добавок	Общие тепопотери, Вт		Расходы теплоты				
		Обозначения	Ор. по сторонам света	длина	ширина	Поверхность ограждения, кв.м.	Коэффициент К				На ор. по сторонам света	На входные нар. двери	На угловые помещения		Q огр	Q пом	Инфильтрация	Вентилиция	Бытовые	Итого	
101	К, 18 ⁰ С	НС	С	5,90	3,20	18,88	0,30	52	1,00	294,53	0,10		0,15	1,25	368,16						
		НС	З	2,80	3,20	8,96	0,30	52	1,00	139,78	0,05		0,15	1,20	167,73						
		ПО	З	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,05		0,15	1,20	132,91						
		Пл		5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,60	89,13				1,00	89,13						
		ПлК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,60	14,64				1,00	14,64						
																772,57	0,00		144,60	627,97	
102	Жк, 20 ⁰ С	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	54	1,00	139,97	0,10			1,10	153,96						
		ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52						
		Пл		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,60	82,49				1,00	82,49						
		ПлК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,60	21,61				1,00	21,61	384,59	0,00	253,47	139,70	498,36	
103	К, 18,00	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78	0,10			1,10	148,26						
		ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57						
		Пл		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,60	77,50				1,00	77,50						
		ПлК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,60	47,36				1,00	47,36	443,70	0,00		174,00	269,70	
104	жк, 20 ⁰ С	НС	С	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52	0,10			1,10	171,07						
		ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13						
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20						
		Пл		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,60	121,62				1,00	121,62	819,02		296,11	163,20	951,93	
105	Жк, 20 ⁰ С	НС	С	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52	0,10			1,10	171,07						
		ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13						
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20						

		Пл		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,60	121,62				1,00	121,62	819,02		296,11	163,20	951,93
106	к,	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78	0,10			1,10	148,26					
	18 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57					
		Пл		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,60	77,50				1,00	77,50					
		ПлК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,60	47,36				1,00	47,36	443,70			174,00	269,70
107	Жк,	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	54	1,00	139,97	0,10			1,10	153,96					
	20 ⁰ С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52					
		Пл		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,60	82,49				1,00	82,49					
		ПлК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,60	21,61				1,00	21,61	384,59		253,47	139,70	498,36
108	К,	НС	С	5,90	3,20	18,88	0,30	52	1,00	294,53	0,10		0,15	1,25	368,16					
	18 ⁰ С	НС	В	2,80	3,20	8,96	0,30	52	1,00	139,78	0,10		0,15	1,25	174,72					
		ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,10		0,15	1,25	138,45					
		Пл		5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,60	89,13				1,00	89,13					
		ПлК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,60	14,64				1,00	14,64	785,09			144,60	640,49
109	Жк,	НС	В	3,50	3,20	11,20	0,30	54	1,00	181,44	0,10			1,10	199,58					
	20 ⁰ С	ДО	В	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	В	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20					
		Пл		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,60	140,84				1,00	140,84					
		ПлК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,60	12,52				1,00	12,52	879,28		373,40	205,80	1046,88
110	жк,	НС	В	2,50	3,20	8,00	0,30	54	1,00	129,60	0,10			1,10	142,56					
	20 ⁰ С	ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52					
		Пл		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,60	65,21				1,00	65,21					
		ПлК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,60	31,67				1,00	31,67					
						0,00		54		0,00				1,00	0,00	365,96		235,87	130,00	471,83
111	жк,	НС	В	3,80	3,20	12,16	0,30	54	1,00	196,99	0,10		0,15	1,25	246,24					
	20 ⁰ С	НС	Ю	5,90	3,20	18,88	0,30	54	1,00	305,86			0,15	1,15	351,73					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,15	1,15	132,27					

		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,15	1,15	185,18					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,15	1,15	365,07					
		Пл		3,30	5,40	17,82	0,23	54	0,60	132,79				1,00	132,79	1413,30		323,33	178,20	1558,42
112	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76					
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25					
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	323,48			108,60	214,88
113	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76					
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25					
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	323,48			108,60	214,88
114	Жк,	НС	Ю	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52				1,00	155,52					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		Пл		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,60	96,13				1,00	96,13					
		ПлК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,60	31,30				1,00	31,30	443,98		310,26	171,00	583,24
115	Жк,	НС	Ю	3,40	3,20	10,88	0,30	54	1,00	176,26				1,00	176,26					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46					
		Пл		3,40	5,40	18,36	0,23	54	0,60	136,82				1,00	136,82	791,56		333,12	183,60	941,08
116	Жк,	НС	Ю	3,40	3,20	10,88	0,30	54	1,00	176,26				1,00	176,26					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46					
		Пл		3,40	5,40	18,36	0,23	54	0,60	136,82				1,00	136,82	791,56		333,12	183,60	941,08
117	Жк,	НС	Ю	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52				1,00	155,52					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		Пл		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,60	96,13				1,00	96,13					

		ПлК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,60	31,30				1,00	31,30	443,98		310,26	171,00	583,24					
118	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78										
	18 ⁰ С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76										
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25										
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	323,48			108,60	214,88					
119	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78										
	18 ⁰ С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76										
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25										
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	323,48			108,60	214,88					
120	Жк,	НС	З	3,80	3,20	12,16	0,30	54	1,00	196,99	0,05		0,10	1,15	226,54										
	20 ⁰ С	НС	Ю	5,90	3,20	18,88	0,30	54	1,00	305,86			0,10	1,10	336,44										
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,10	1,10	126,52										
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,10	1,10	177,13										
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,10	1,10	349,20	1348,48			322,96	178,00	1493,44				
		Пл		3,30	5,40	17,80	0,23	54	0,60	132,65				1,00	132,65										
121	Жк,	НС	З	2,50	3,20	8,00	0,30	54	1,00	129,60	0,05			1,05	136,08										
	20 ⁰ С	ДО	З	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,05			1,05	120,77										
		Пл		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,60	65,21				1,00	65,21										
		ПлК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,60	31,67				1,00	31,67	353,73			235,87	130,00	459,60				
122	Жк,	НС	З	3,50	3,20	11,20	0,30	54	1,00	181,44	0,05			1,05	190,51										
	20 ⁰ С	ДО	З	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,05			1,05	169,08										
		БД	З	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,05			1,05	333,33										
		Пл		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,60	140,84				1,00	140,84										
		ПлК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,60	12,52				1,00	12,52	846,28			373,40	205,80	1013,89				
Итого по 1 этажу																13824,27									14660,65
301	К,	НС	С	5,90	2,80	16,52	0,30	52	1,00	257,71	0,10		0,15	1,25	322,14										
	18 ⁰ С	НС	З	2,80	2,80	7,84	0,30	52	1,00	122,30	0,05		0,15	1,20	146,76										

		ДО	З	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,05		0,15	1,20	132,91	601,82			144,60	457,22
302	Жк,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	54	1,00	122,47	0,10			1,10	134,72					
	20° С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52	261,24		253,47	139,70	375,01
303	К,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94	0,10			1,10	129,73					
	18° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57					
						0,00				0,00				1,00	0,00	300,30			174,00	126,30
304	Жк,	НС	С	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08	0,10			1,10	149,69					
	20° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20	676,02		296,11	163,20	808,93
305	Жк,	НС	С	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08	0,10			1,10	149,69					
	20° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20	676,02		296,11	163,20	808,93
306	К,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94	0,10			1,10	129,73					
	18° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57	300,30			174,00	126,30
307	Жк,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	54	1,00	122,47	0,10			1,10	134,72					
	20° С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52	261,24		253,47	139,70	375,01
308	К,	НС	С	5,90	2,80	16,52	0,30	52	1,00	257,71	0,10		0,15	1,25	322,14					
	18° С	НС	В	2,80	2,80	7,84	0,30	52	1,00	122,30	0,05		0,15	1,20	146,76					
		ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,05		0,15	1,20	132,91	601,82			144,60	457,22
309	Жк,	НС	В	3,50	2,80	9,80	0,30	54	1,00	158,76	0,10			1,10	174,64					
	20° С	ДО	В	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	В	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20	700,97		373,40	205,80	868,57
310	Жк,	НС	В	2,50	2,80	7,00	0,30	54	1,00	113,40	0,10			1,10	124,74					
	20° С	ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52					
						0,00				0,00				1,00	0,00	251,26		235,87	130,00	357,13
311	Жк,	НС	В	3,80	2,80	10,64	0,30	54	1,00	172,37	0,10		0,15	1,25	215,46					

	20° С	НС	Ю	5,90	2,80	16,52	0,30	54	1,00	267,62			0,15	1,15	307,77					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,15	1,15	132,27					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,15	1,15	185,18					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,15	1,15	365,07	1205,76		323, 33	178,20	1350,8 9
312	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76	228,70			108,60	120,10
313	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76	228,70			108,60	120,10
314	Жк,	НС	Ю	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08				1,00	136,08					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03	297,11		310, 26	171,00	436,37
315	Жк,	НС	Ю	3,40	2,80	9,52	0,30	54	1,00	154,22				1,00	154,22					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46	632,71		333, 12	183,60	782,23
316	Жк,	НС	Ю	3,40	2,80	9,52	0,30	54	1,00	154,22				1,00	154,22					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46	632,71		333, 12	183,60	782,23
317	Жк,	НС	Ю	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08				1,00	136,08					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03	297,11		310, 26	171,00	436,37
318	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76	228,70			108,60	120,10
319	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76	228,70			108,60	120,10
320	Жк,	НС	З	3,80	2,80	10,64	0,30	54	1,00	172,37	0,05		0,10	1,15	198,22					
	20° С	НС	Ю	5,90	2,80	16,52	0,30	54	1,00	267,62			0,10	1,10	294,39					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,10	1,10	126,52					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,10	1,10	177,13					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,10	1,10	349,20	1145,46		322,	178,00	1290,4

																	96		2												
321	Жк,	НС	3	2,50	2,80	7,00	0,30	54	1,00	113,40	0,05			1,05	119,07																
	20 ⁰ С	ДО	3	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,05			1,05	120,77	239,84		235,87	130,00	345,71											
322	Жк,	НС	3	3,50	2,80	9,80	0,30	54	1,00	158,76	0,05			1,05	166,70																
	20 ⁰ С	ДО	3	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,05			1,05	169,08																
		БД	3	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,05			1,05	333,33	669,11		373,40	205,80	836,71											
Итого по 3 этажу															10032,86																11501,93
501	К,	НС	С	5,90	2,90	17,11	0,30	52	1,00	266,92	0,10			0,15	1,25	333,65															
	18 ⁰ С	НС	3	2,80	2,90	8,12	0,30	52	1,00	126,67	0,05			0,15	1,20	152,01															
		ДО	3	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,05			0,15	1,20	132,91															
		Пг			5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,90	133,69					1,00	133,69														
		ПтК			1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,90	21,96					1,00	21,96	774,21		144,60	629,61										
502	Жк,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	54	1,00	126,85	0,10				1,10	139,53															
	20 ⁰ С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10				1,10	126,52															
		Пг			2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,90	123,74					1,00	123,74														
		ПтК			2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,90	32,42					1,00	32,42	422,21		253,47	139,70	535,98									
503	К,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15	0,10				1,10	134,36															
	18 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10				1,10	170,57															
		Пг			3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,90	116,25					1,00	116,25														
		ПтК			3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,90	71,04					1,00	71,04	492,23		174,00	318,23										
504	Жк,	НС	С	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94	0,10				1,10	155,03															
	20 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10				1,10	177,13															
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10				1,10	349,20															
		Пг			3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,90	182,42					1,00	182,42	863,79		296,11	163,20	996,70									
505	Жк,	НС	С	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94	0,10				1,10	155,03															
	20 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10				1,10	177,13															
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10				1,10	349,20															

		Пт		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,90	182,42				1,00	182,42	863,79		296,11	163,20	996,70
506	К,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15	0,10			1,10	134,36					
	18 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57					
		Пт		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,90	116,25				1,00	116,25					
		ПтК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,90	71,04				1,00	71,04				174,00	318,23
						0,00				0,00				1,00	0,00	492,23				
507	Жк,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	54	1,00	126,85	0,10			1,10	139,53					
	20 ⁰ С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52					
		Пт		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,90	123,74				1,00	123,74			253,47	139,70	535,98
		ПтК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,90	32,42				1,00	32,42	422,21				
508	К,	НС	С	5,90	2,90	17,11	0,30	52	1,00	266,92	0,10		0,15	1,25	333,65					
	18 ⁰ С	НС	В	2,80	2,90	8,12	0,30	52	1,00	126,67	0,10		0,15	1,25	158,34					
		ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,10		0,15	1,25	138,45					
		Пт		5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,90	133,69				1,00	133,69					
		ПтК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,90	21,96				1,00	21,96	786,08			144,60	641,48
509	Жк,	НС	В	3,50	2,90	10,15	0,30	54	1,00	164,43	0,10			1,10	180,87					
	20 ⁰ С	ДО	В	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	В	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20					
		Пт		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,90	211,26				1,00	211,26					
		ПтК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,90	18,78				1,00	18,78	937,25		373,40	205,80	1104,85
510	Жк,	НС	В	2,50	2,90	7,25	0,30	54	1,00	117,45	0,10			1,10	129,20					
	20 ⁰ С	ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52					
		Пт		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,90	97,81				1,00	97,81					
		ПтК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,90	47,51				1,00	47,51	401,03		235,87	130,00	506,90
511	Жк,	НС	В	3,80	2,90	11,02	0,30	54	1,00	178,52	0,10		0,15	1,25	223,16					
	20 ⁰ С	НС	Ю	5,90	2,90	17,11	0,30	54	1,00	277,18			0,15	1,15	318,76					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,15	1,15	132,27					

		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,15	1,15	185,18						
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,15	1,15	365,07			323,33	178,20	1568,76	
		Пт		3,30	5,40	17,82	0,23	54	0,90	199,19				1,00	199,19	1423,63					
512	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15						
	18 ⁰ С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76						
		Пт		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38				108,60	241,21	
		ПтК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	349,81					
513	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15						
	18 ⁰ С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76						
		Пт		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38				108,60	241,21	
		ПтК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	349,81					
514	Жк,	НС	Ю	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94				1,00	140,94						
	20 ⁰ С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03						
		Пт		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,90	144,20				1,00	144,20						
		ПтК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,90	46,95				1,00	46,95	493,11			310,26	171,00	632,37
515	Жк,	НС	Ю	3,40	2,90	9,86	0,30	54	1,00	159,73				1,00	159,73						
	20 ⁰ С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03						
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46						
		Пт		3,40	5,40	18,36	0,23	54	0,90	205,23				1,00	205,23	843,44			333,12	183,60	992,97
516	Жк,	НС	Ю	3,40	2,90	9,86	0,30	54	1,00	159,73				1,00	159,73						
	20 ⁰ С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03						
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46				333,12	183,60	992,97
		Пт		3,40	5,40	18,36	0,23	54	0,90	205,23				1,00	205,23	843,44					
517	Жк,	НС	Ю	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94				1,00	140,94						
	20 ⁰ С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03						
		Пт		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,90	144,20				1,00	144,20				310,26	171,00	632,37
		ПтК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,90	46,95				1,00	46,95	493,11					

		Пт		3,00	5,80	17,40	0,23	50	0,90	180,09				1,00	180,09				
		Пт		1,40	6,00	8,40	0,23	50	0,90	86,94				1,00	86,94				
		ПлІз		0,90	3,00	2,70	0,42	50	1,00	56,70				1,00	56,70				
		ПлІІз		2,00	3,00	6,00	0,22	50	1,00	66,00				1,00	66,00				
		Пл ІІІ		2,00	3,00	6,00	0,11	50	1,00	33,00				1,00	33,00				
		ПлІV		1,00	3,00	3,00	0,07	50	1,00	10,50				1,00	10,50				
		НСІз	С	1,10	3,00	3,30	0,03	50	1,00	4,95				1,00	4,95	7633,57		3157,00	10790,57
		66164,16														75401,1			

Таблица А3. Отопительная нагрузка здания для третьего случая

Номер помещения	Наименование помещения, температур воздуха	Характеристики ограждения						Разн. темпер	Коэффициент К	Основные теплотери	Добавки			Коэффициент учета добавок	Общие теплотери, Вт		На инфильтрацию		
		Обозначения	Ор. по сторонам света	длина	ширина	Поверхность ограждения, кв.м.	Коэффициент К				На ор. по сторонам света	На входные нар. двери	На угловые помещения		Q огр	Q пом			
101	К, 18 ⁰ С	НС	С	5,90	3,20	18,88	0,30	52	1,00	294,53	0,10		0,15	1,25	368,16				
		НС	З	2,80	3,20	8,96	0,30	52	1,00	139,78	0,05		0,15	1,20	167,73				
		ПО	З	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,05		0,15	1,20	132,91				
		Пл		5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,60	89,13				1,00	89,13				
		ПлК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,60	14,64				1,00	14,64				
															772,57	0,00		144,60	627,97
102	Жк, 20 ⁰ С	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	54	1,00	139,97	0,10			1,10	153,96				
		ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52				
		Пл		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,60	82,49				1,00	82,49				
		ПлК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,60	21,61				1,00	21,61	384,59	0,00	633,68	139,70
103	К, 18,00	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78	0,10			1,10	148,26				
		ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57				

		Пл		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,60	77,50				1,00	77,50						
		ПлК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,60	47,36				1,00	47,36	443,70	0,00		174,00	269,70	
104	жк,	НС	С	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52	0,10			1,10	171,07						
	20° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13						
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20						
		Пл		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,60	121,62				1,00	121,62	819,02			740,28	163,20	1396,10
105	Жк,	НС	С	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52	0,10			1,10	171,07						
	20° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13						
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20						
		Пл		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,60	121,62				1,00	121,62	819,02			740,28	163,20	1396,10
106	к,	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78	0,10			1,10	148,26						
	18° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57						
		Пл		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,60	77,50				1,00	77,50						
		ПлК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,60	47,36				1,00	47,36	443,70				174,00	269,70
107	Жк,	НС	С	2,70	3,20	8,64	0,30	54	1,00	139,97	0,10			1,10	153,96						
	20° С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52						
		Пл		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,60	82,49				1,00	82,49						
		ПлК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,60	21,61				1,00	21,61	384,59			633,68	139,70	878,57
108		ПлК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,60	14,64				1,00	14,64	785,09				144,60	640,49
	Жк,	НС	В	3,50	3,20	11,20	0,30	54	1,00	181,44	0,10			1,10	199,58						
	20° С	ДО	В	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13						
		БД	В	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20						
		Пл		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,60	140,84				1,00	140,84						
109		ПлК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,60	12,52				1,00	12,52	879,28			933,51	205,80	1606,99
	жк,	НС	В	2,50	3,20	8,00	0,30	54	1,00	129,60	0,10			1,10	142,56						
	20° С	ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52						
		Пл		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,60	65,21				1,00	65,21						
		ПлК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,60	31,67				1,00	31,67						
110						0,00		54		0,00				1,00	0,00	365,96			589,68	130,00	825,64
	жк,	НС	В	3,80	3,20	12,16	0,30	54	1,00	196,99	0,10		0,15	1,25	246,24						

	20° С	НС	Ю	5,90	3,20	18,88	0,30	54	1,00	305,86			0,15	1,15	351,73					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,15	1,15	132,27					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,15	1,15	185,18					
111		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,15	1,15	365,07					
		Пл		3,30	5,40	17,82	0,23	54	0,60	132,79				1,00	132,79	1413,30		808,32	178,20	2043,41
	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76					
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25					
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	323,48			108,60	214,88
113	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76					
		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25					
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	323,48			108,60	214,88
	Жк,	НС	Ю	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52				1,00	155,52					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		ПлК		3,00	1,40	4,20	0,23								31,30	443,98		775,66	171,00	1048,63
115	Жк,	НС	Ю	3,40	3,20	10,88	0,30	54	1,00	176,26				1,00	176,26					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46					
		Пл		3,40	5,40	18,36	0,23	54	0,60	136,82				1,00	136,82	791,56		832,81	183,60	1440,77
116	Жк,	НС	Ю	3,40	3,20	10,88	0,30	54	1,00	176,26				1,00	176,26					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46					
		Пл		3,40	5,40	18,36	0,23	54	0,60	136,82				1,00	136,82	791,56		832,81	183,60	1440,77
117	Жк,	НС	Ю	3,00	3,20	9,60	0,30	54	1,00	155,52				1,00	155,52					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		Пл		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,60	96,13				1,00	96,13					
		ПлК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,60	31,30				1,00	31,30	443,98		775,66	171,00	1048,63
118 119	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76					

		Пл		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,60	54,25				1,00	54,25						
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,60	23,68				1,00	23,68	323,48			108,60	214,88	
	К,	НС	Ю	2,70	3,20	8,64	0,30	52	1,00	134,78				1,00	134,78						
	18 ⁰ С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76						
		Пл						52	0,60	54,25				1,00	54,25						
		ПлК		3,00	1,10	3,30	0,23								23,68	323,48			108,60	214,88	
120	Жк,	НС	3	3,80	3,20	12,16	0,30	54	1,00	196,99	0,05		0,10	1,15	226,54						
	20 ⁰ С	НС	Ю	5,90	3,20	18,88	0,30	54	1,00	305,86			0,10	1,10	336,44						
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,10	1,10	126,52						
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,10	1,10	177,13						
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,10	1,10	349,20	1348,48		807,41	178,00	1977,89	
		Пл		3,30	5,40	17,80	0,23	54	0,60	132,65				1,00	132,65						
	Жк,	НС	3	2,50	3,20	8,00	0,30	54	1,00	129,60	0,05			1,05	136,08						
	20 ⁰ С	ДО	3	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,05			1,05	120,77						
		Пл		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,60	65,21				1,00	65,21						
		ПлК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,60	31,67				1,00	31,67	353,73		589,68	130,00	813,41	
122	Жк,	НС	3	3,50	3,20	11,20	0,30	54	1,00	181,44	0,05			1,05	190,51						
	20 ⁰ С	ДО	3	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,05			1,05	169,08						
		БД	3	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,05			1,05	333,33						
		Пл		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,60	140,84				1,00	140,84						
		ПлК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,60	12,52				1,00	12,52	846,28		933,51	205,80	1573,99	
															13824,27					21036,81	
	К,	НС	С	5,90	2,80	16,52	0,30	52	1,00	257,71	0,10		0,15	1,25	322,14						
	18 ⁰ С	НС	3	2,80	2,80	7,84	0,30	52	1,00	122,30	0,05		0,15	1,20	146,76						
		ДО	3	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,05		0,15	1,20	132,91	601,82			144,60	457,22	
		302,00																			
	20 ⁰ С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52	261,24		633,70	139,70	755,24	
	К,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94	0,10			1,10	129,73						
	18 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57						
						0,00				0,00				1,00	0,00	300,30			174,00	126,30	

	Жк,	НС	С	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08	0,10			1,10	149,69					
	20 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20	676,02		740,30	163,20	1253,12
	Жк,	НС	С	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08	0,10			1,10	149,69					
	20 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20	676,02		740,30	163,20	1253,12
	К,	НС	С	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94	0,10			1,10	129,73					
	18 ⁰ С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57	300,30			174,00	126,30
307	Жк,	НС						54	1,00	122,47	0,10			1,10	134,72					
		ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42				0,10				126,52	261,24		633,70	139,70	755,24
308	К,	НС	С	5,90	2,80	16,52	0,30	52	1,00	257,71	0,10		0,15	1,25	322,14					
	18 ⁰ С	НС	В	2,80	2,80	7,84	0,30	52	1,00	122,30	0,05		0,15	1,20	146,76					
		ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,05		0,15	1,20	132,91	601,82			144,60	457,22
	Жк,	НС	В	3,50	2,80	9,80	0,30	54	1,00	158,76	0,10			1,10	174,64					
	20 ⁰ С	ДО	В	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	В	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20	700,97		933,50	205,80	1428,67
	Жк,	НС	В	2,50	2,80	7,00	0,30	54	1,00	113,40	0,10			1,10	124,74					
	20 ⁰ С	ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52					
						0,00				0,00				1,00	0,00	251,26		589,70	130,00	710,96
	Жк,	НС	В	3,80	2,80	10,64	0,30	54	1,00	172,37	0,10		0,15	1,25	215,46					
	20 ⁰ С	НС	Ю	5,90	2,80	16,52	0,30	54	1,00	267,62			0,15	1,15	307,77					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,15	1,15	132,27					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,15	1,15	185,18					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,15	1,15	365,07	1205,76		808,30	178,20	1835,86
	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18 ⁰ С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76	228,70			108,60	120,10
	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18 ⁰ С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76	228,70			108,60	120,10
314	Жк,	НС	Ю	3,00	2,80	8,40	0,30	54	1,00	136,08				1,00	136,08					

	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03	297,11		775,65	171,00	901,76
315	Жк,	НС	Ю	3,40	2,80	9,52	0,30	54	1,00	154,22				1,00	154,22					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46	632,71		832,80	183,60	1281,91
	Жк,	НС	Ю	3,40	2,80	9,52	0,30	54	1,00	154,22				1,00	154,22					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД						54	1,00	317,46				1,00	317,46			832,80	183,60	1281,91
		НС	Ю	3,00	2,80	8,40	0,30								136,08					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03	297,11		775,70	171,00	901,81
	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76	228,70			108,60	120,10
319	К,	НС	Ю	2,70	2,80	7,56	0,30	52	1,00	117,94				1,00	117,94					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76	228,70			108,60	120,10
320	Жк,	НС	З	3,80	2,80	10,64	0,30	54	1,00	172,37	0,05		0,10	1,15	198,22					
	20° С	НС	Ю	5,90	2,80	16,52	0,30	54	1,00	267,62			0,10	1,10	294,39					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,10	1,10	126,52					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,10	1,10	177,13					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,10	1,10	349,20	1145,46		807,40	178,00	1774,86
	Жк,	НС	З	2,50	2,80	7,00	0,30	54	1,00	113,40	0,05			1,05	119,07					
	20° С	ДО	З	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,05			1,05	120,77	239,84		589,70	130,00	699,54
	Жк,	НС	З	3,50	2,80	9,80	0,30	54	1,00	158,76	0,05			1,05	166,70					
	20° С	ДО	З	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,05			1,05	169,08					
		БД	З	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,05			1,05	333,33	669,11		933,50	205,80	1396,81
																10032,86				17878,21
501	К,	НС	С	5,90	2,90	17,11	0,30	52	1,00	266,92	0,10		0,15	1,25	333,65					
	18° С	НС	З	2,80	2,90	8,12	0,30	52	1,00	126,67	0,05		0,15	1,20	152,01					
		ДО	З	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,05		0,15	1,20	132,91					
		ПтК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,90	21,96				1,00	21,96	774,21			144,60	629,61

	Жк,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	54	1,00	126,85	0,10			1,10	139,53					
	20° С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52					
		Пт		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,90	123,74				1,00	123,74					
		ПтК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,90	32,42				1,00	32,42	422,21		633,80	139,70	916,31
503	К,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15	0,10			1,10	134,36					
	18° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57					
		Пт		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,90	116,25				1,00	116,25					
		ПтК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,90	71,04				1,00	71,04	492,23			174,00	318,23
	Жк,	НС	С	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94	0,10			1,10	155,03					
	20° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД						54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20					
		Пт		3,40	4,80	16,32	0,23								182,42	863,79		740,30	163,20	1440,89
505	Жк,	НС	С	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94	0,10			1,10	155,03					
	20° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	С	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20					
		Пт		3,40	4,80	16,32	0,23	54	0,90	182,42				1,00	182,42	863,79		740,30	163,20	1440,89
506	К,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15	0,10			1,10	134,36					
	18° С	ДО	С	1,40	1,50	2,10	1,42	52	1,00	155,06	0,10			1,10	170,57					
		Пт		3,60	3,00	10,80	0,23	52	0,90	116,25				1,00	116,25					
		ПтК		3,00	2,20	6,60	0,23	52	0,90	71,04				1,00	71,04				174,00	318,23
						0,00				0,00				1,00	0,00	492,23				
	Жк,	НС	С	2,70	2,90	7,83	0,30	54	1,00	126,85	0,10			1,10	139,53					
	20° С	ДО	С	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52					
		Пт		2,70	4,10	11,07	0,23	54	0,90	123,74				1,00	123,74			633,70	139,70	916,21
		ПтК		2,90	1,00	2,90	0,23	54	0,90	32,42				1,00	32,42	422,21				
508	К,	НС	С	5,90	2,90	17,11	0,30	52	1,00	266,92	0,10		0,15	1,25	333,65					
	18° С	НС	В	2,80	2,90	8,12	0,30	52	1,00	126,67	0,10		0,15	1,25	158,34					
		ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76	0,10		0,15	1,25	138,45					
		Пт		5,40	2,30	12,42	0,23	52	0,90	133,69				1,00	133,69					
		ПтК		1,70	1,20	2,04	0,23	52	0,90	21,96				1,00	21,96	786,08			144,60	641,48

	Жк,	НС	В	3,50	2,90	10,15	0,30	54	1,00	164,43	0,10			1,10	180,87					
	20° С	ДО	В	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,10			1,10	177,13					
		БД	В	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46	0,10			1,10	349,20					
		Пт		3,50	5,40	18,90	0,23	54	0,90	211,26				1,00	211,26					
		ПтК		1,40	1,20	1,68	0,23	54	0,90	18,78				1,00	18,78	937,25		933,50	205,80	1664,95
	Жк,	НС	В	2,50	2,90	7,25	0,30	54	1,00	117,45	0,10			1,10	129,20					
	20° С	ДО	В	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,10			1,10	126,52					
		Пт		2,50	3,50	8,75	0,23	54	0,90	97,81				1,00	97,81					
		ПтК		2,50	1,70	4,25	0,23	54	0,90	47,51				1,00	47,51	401,03		589,70	130,00	860,73
	Жк,	НС	В	3,80	2,90	11,02	0,30	54	1,00	178,52	0,10		0,15	1,25	223,16					
	20° С	НС	Ю	5,90	2,90	17,11	0,30	54	1,00	277,18			0,15	1,15	318,76					
		ДО						54	1,00	115,02				1,15	132,27					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42						0,15		185,18					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,15	1,15	365,07		808,30	178,20	2053,73	
		Пт		3,30	5,40	17,82	0,23	54	0,90	199,19				1,00	199,19	1423,63				
	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76					
		Пт		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38			108,60	241,21	
		ПтК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	349,81				
513	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76					
		Пт		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38			108,60	241,21	
		ПтК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	349,81				
514	Жк,	НС	Ю	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94				1,00	140,94					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		Пт		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,90	144,20				1,00	144,20					
		ПтК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,90	46,95				1,00	46,95	493,11		775,70	171,00	1097,81
	Жк,	НС	Ю	3,40	2,90	9,86	0,30	54	1,00	159,73				1,00	159,73					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД						54	1,00	317,46				1,00	317,46					

		Пт		3,40	5,40	18,36	0,23							205,23	843,44			832,80	183,60	1492,64
516	Жк,	НС	Ю	3,40	2,90	9,86	0,30	54	1,00	159,73				1,00	159,73					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46				1,00	317,46			832,80	183,60	1492,64
		Пт		3,40	5,40	18,36	0,23	54	0,90	205,23				1,00	205,23	843,44				
517	Жк,	НС	Ю	3,00	2,90	8,70	0,30	54	1,00	140,94				1,00	140,94					
	20° С	ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03				1,00	161,03					
		Пт		3,00	4,30	12,90	0,23	54	0,90	144,20				1,00	144,20			775,70	171,00	1097,81
		ПтК		3,00	1,40	4,20	0,23	54	0,90	46,95				1,00	46,95	493,11				
518	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76					
		Пт		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38				108,60	241,21
		ПтК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	349,81				
519	К,	НС	Ю	2,70	2,90	7,83	0,30	52	1,00	122,15				1,00	122,15					
	18° С	ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	52	1,00	110,76				1,00	110,76					
		Пт		2,70	2,80	7,56	0,23	52	0,90	81,38				1,00	81,38					
		ПтК		3,00	1,10	3,30	0,23	52	0,90	35,52				1,00	35,52	349,81			108,60	241,21
520	Жк,	НС	3	3,80	2,90	11,02	0,30	54	1,00	178,52	0,05		0,10	1,15	205,30					
	20° С	НС	Ю	5,90	2,90	17,11	0,30	54	1,00	277,18			0,10	1,10	304,90					
		ДО	Ю	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02			0,10	1,10	126,52					
		ДО	Ю	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03			0,10	1,10	177,13					
		БД	Ю	1,80	2,30	4,14	1,42	54	1,00	317,46			0,10	1,10	349,20					
		Пт		3,30	5,40	17,82	0,23	54	0,90	199,19				1,00	199,19	1362,25		807,40	178,00	1991,65
	Жк,	НС	3	2,50	2,90	7,25	0,30	54	1,00	117,45	0,05			1,05	123,32					
	20° С	ДО	3	1,00	1,50	1,50	1,42	54	1,00	115,02	0,05			1,05	120,77					
		Пт						54	0,90	97,81				1,00	97,81			1474,20	130,00	1733,61
		ПтК		2,50	1,70	4,25	0,23								47,51	389,41				
522	Жк,	НС	3	3,50	2,90	10,15	0,30	54	1,00	164,43	0,05			1,05	172,65					
	20° С	ДО	3	1,40	1,50	2,10	1,42	54	1,00	161,03	0,05			1,05	169,08					

Таблица Б1. Расчет отопительных приборов для 1 случая (график 150-70)

Номер помещения	Отопит. нагрузка, Qот, Вт	Темпер. воды, поступающей в прибор, trп	Средняя темпер. теплоносителя в приборе, tср, т	Температурный напор, Δtср, °С	Теплоотдача открыто проложенных труб, Qтр, Вт	Тепловая нагрузка прибора, Qпр, Вт	φ к	Требуемый номин. тепловой поток прибора, Qн.т, Вт	Фактич. номин. условн. тепловой поток Qн.у, Вт	Количество секций
112	393	104	99,7	79,7	0	393	1,12	350	450	3
212	275	95,4	92,4	72,4	0	275	0,99	278	450	3
312	275	89,4	86,4	66,4	0	275	0,88	313	450	3
412	275	83,3	80,3	60,3	0	275	0,78	353	450	3
512	333	77,3	73,6	53,6	0	333	0,67	497	600	4
Qст = 1551, Gст = 41,3; Gпр = 13,6										
111	2515	104	100,4	80,4	0	2515	1,19	2113	2100	14
211	2307	96,8	93,6	73,6	0	2307	1,05	2197	2250	15
311	2307	90,3	87	67	0	2307	0,93	2481	2550	17
411	2307	83,7	80,5	60,5	0	2307	0,82	2813	2850	19
511	2525	77,2	73,6	53,6	0	2525	0,7	3607	3600	24
Qст = 11961; Gст = 319; Gпр = 105										
121	897	103	99,4	79,4	0	897	1,16	773	900	6
221	783	95,9	92,8	72,8	0	783	1,04	753	750	5
321	783	89,7	86,6	66,6	0	783	0,92	851	900	6
421	783	83,5	80,5	60,5	0	783	0,81	967	1050	7
521	932	77,4	73,7	53,7	0	932	0,7	1331	1350	9
Qст = 4178; Gст = 111; Gпр = 36,7										

Таблица Б2. Расчет отопительных приборов для 2 случая (150-70)

Номер помещения	Отопит. нагрузка, Qот, Вт	Темпер. воды, поступающей в прибор, trп	Средняя темпер. теплоносителя в приборе, tср, т	Температурный напор, Δtср, °С	Теплоотдача открыто проложенных труб, Qтр, Вт	Тепловая нагрузка прибора, Qпр, Вт	φ к	Требуемый номин. тепловой поток прибора, Qн.т, Вт	Фактич. номин. условн. тепловой поток Qн.у, Вт	Количество секций
112	215	104	99,4	79,4	0	215	1,149	187	450	3
212	120	94,8	92,2	72,2	0	120	1,016	118	450	3
312	120	89,6	87,05	67,05	0	120	0,924	130	450	3
412	120	84,5	81,9	61,9	0	120	0,832	144	450	3
512	241	79,3	74,65	54,65	0	241	0,708	340	450	3
Qст = 816, Gст = 50,7; Gпр = 16,7										
111	1558	104	100,2	80,2	0	1558	1,194	1305	1350	9
211	1351	96,4	93,1	73,1	0	1351	1,058	1277	1350	9
311	1351	89,8	86,5	66,5	0	1351	0,935	1445	1500	10
411	1351	83,2	79,9	59,9	0	1351	0,817	1654	1800	12
511	1569	76,6	73,3	53,3	0	1569	0,701	2238	2250	15
Qст = 7180; Gст = 446; Gпр = 147,3										
121	460	104	99,95	79,95	0	460	1,181	390	450	3
221	346	95,9	92,9	72,9	0	346	1,048	330	450	3
321	346	89,9	86,85	66,85	0	346	0,937	369	450	3
421	346	83,8	80,75	60,75	0	346	0,827	418	600	4
521	496	77,7	73,85	53,85	0	496	0,707	702	750	5
Qст = 1994; Gст = 124; Gпр = 41										

Продолжение приложения Б

Таблица Б3. Расчет отопительных приборов для 3 случая (150-70)

Номер помещения	Отопит. нагрузка, Qот, Вт	Темпер. воды, поступающей в прибор, tп, т	Средняя темпер. теплоносителя в приборе, tср, т	Температурный напор, Δtср, °С	Теплоотдача открыто проложенных труб, Qтр, Вт	Тепловая нагрузка прибора, Qпр, Вт	Ф к	Требуемый номин. тепловой поток прибора, Qн.т, Вт	Фактич. номин. условн. тепловой поток Qн.у, Вт	Количество секций
112	215	104	99,4	79,4	0	215	1,149	187	450	3
212	120	94,8	92,2	72,2	0	120	1,016	118	450	3
312	120	89,6	87,05	67,05	0	120	0,924	130	450	3
412	120	84,5	81,9	61,9	0	120	0,832	144	450	3
512	241	79,3	74,65	54,65	0	241	0,708	340	450	3
Qст = 816; Gст = 50,7; Gпр = 16,7										
111	2040	104	100,3	80,3	0	1558	1,195	1707	1800	12
211	1836	96,6	93,25	73,25	0	1351	1,06	1732	1800	12
311	1836	89,9	86,55	66,55	0	1351	0,937	1959	2100	14
411	1836	83,2	79,85	59,85	0	1351	0,816	2250	2250	15
511	2055	76,5	73,25	53,25	0	1569	0,701	2932	3000	20
Qст = 9603; Gст = 298,5; Gпр = 98,5										
121	813	104	100,2	80,2	0	813	1,185	686	750	5
221	700	96,4	93,15	73,15	0	700	1,052	665	750	5
321	700	89,9	86,65	66,65	0	700	0,932	751	900	6
421	700	83,4	80,15	60,15	0	700	0,815	859	900	6
521	850	76,9	73,45	53,45	0	850	0,7	1214	1350	9
Qст = 3760; Gст = 117; Gпр = 38,6										

Таблица Б4. Расчет отопительных приборов для 1 случая (график 110-70)

Номер помещения	Отопит. нагрузка, Qот, Вт	Темпер. воды, поступающей в прибор, tп, т	Средняя темпер. теплоносителя в приборе, tср, т	Температурный напор, Δtср, °С	Теплоотдача открыто проложенных труб, Qтр, Вт	Тепловая нагрузка прибора, Qпр, Вт	Ф к	Требуемый номин. тепловой поток прибора, Qн.т, Вт	Фактич. номин. условн. тепловой поток Qн.у, Вт	Количество секций
112	393	94	90,85	70,85	0	393	0,986	398,6	450	3
212	275	87,7	85,45	65,45	0	275	0,895	307,3	450	3
312	275	83,2	81	61	0	275	0,817	336,6	450	3
412	275	78,8	76,6	56,6	0	275	0,741	371,1	450	3
512	333	74,4	72,2	52,2	0	333	0,667	499,3	600	4
Qст = 1551; Gст = 41,3; Gпр = 13,6										
111	2515	94	91,35	71,35	0	2515	1,025	2454	2550	17
211	2307	88,7	86,3	66,3	0	2307	0,932	2475	2550	17
311	2307	83,9	81,5	61,5	0	2307	0,845	2730	2850	19
411	2307	79,1	76,7	56,7	0	2307	0,76	3036	3150	21
511	2525	74,3	72,2	52,2	0	2525	0,683	3697	3750	25
Qст = 11961; Gст = 319; Gпр = 105										
121	897	94	91,3	71,3	0	897	1,016	883	900	6
221	783	88,6	86,25	66,25	0	783	0,924	847	900	6
321	783	83,9	81,6	61,6	0	783	0,84	932	1050	7
421	783	79,3	76,95	56,95	0	783	0,759	1032	1050	7
521	932	74,6	72,3	52,3	0	932	0,679	1373	1500	10
Qст = 4178; Gст = 111; Gпр = 36,7										

Таблица Б5. Расчет отопительных приборов для 2 случая (110-70)

Номер помещения	Отопит. нагрузка, Q _{от} , Вт	Темпер. воды, поступающей в прибор, t _г , °С	Средняя темпер. теплоносителя в приборе, t _{ср} , °С	Температурный напор, Δt _{ср} , °С	Теплоотдача открыто проложенных труб, Q _{тр} , Вт	Тепловая нагрузка прибора, Q _{пр} , Вт	φ к	Требуемый номин. тепловой поток прибора, Q _{н.т} , Вт	Фактич. условн. тепловой поток Q _{н.у} , Вт	Количество секций
112	215	94	90,7	70,7	0	215	0,989	217	450	3
212	120	87,4	85,55	65,55	0	120	0,896	134	450	3
312	120	83,7	81,9	61,9	0	120	0,832	144	450	3
412	120	80,1	78,25	58,25	0	120	0,769	156	450	3
512	241	76,4	73,2	53,2	0	241	0,684	352	450	3
Q _{ст} = 816; G _{ст} = 50,7; G _{пр} = 16,7										
111	1558	94	91,3	71,3	0	1558	1,024	1521	1650	11
211	1351	88,6	86,25	66,25	0	1351	0,93	1453	1500	10
311	1351	83,9	81,55	61,55	0	1351	0,846	1597	1650	11
411	1351	79,2	76,85	56,85	0	1351	0,763	1771	1800	12
511	1569	74,5	72,25	52,25	0	1569	0,683	2297	2400	16
Q _{ст} = 7180; G _{ст} = 446; G _{пр} = 147,3										
121	460	94	91,1	71,1	0	460	1,009	456	600	4
221	346	88,2	86,05	66,05	0	346	0,922	375	450	3
321	346	83,9	81,75	61,75	0	346	0,845	409	450	3
421	346	79,6	77,4	57,4	0	346	0,769	450	600	4
521	496	75,2	72,6	52,6	0	496	0,685	724	750	5
Q _{ст} = 1994; G _{ст} = 124; G _{пр} = 41										

Таблица Б6. Расчет отопительных приборов для 3 случая (110-70)

Номер помещения	Отопит. нагрузка, Q _{от} , Вт	Темпер. воды, поступающей в прибор, t _г , °С	Средняя темпер. теплоносителя в приборе, t _{ср} , °С	Температурный напор, Δt _{ср} , °С	Теплоотдача открыто проложенных труб, Q _{тр} , Вт	Тепловая нагрузка прибора, Q _{пр} , Вт	φ к	Требуемый номин. тепловой поток прибора, Q _{н.т} , Вт	Фактич. условн. тепловой поток Q _{н.у} , Вт	Количество секций
112	215	94	90,7	70,7	0	215	0,989	217	450	3
212	120	87,4	85,55	65,55	0	120	0,896	134	450	3
312	120	83,7	81,9	61,9	0	120	0,832	144	450	3
412	120	80,1	78,25	58,25	0	120	0,769	156	450	3
512	241	76,4	73,2	53,2	0	241	0,684	352	450	3
Q _{ст} = 816; G _{ст} = 50,7; G _{пр} = 16,7										
111	2040	94	91,35	71,35	0	1558	1,025	1990	1950	13
211	1836	88,7	86,3	66,3	0	1351	0,932	1970	1950	13
311	1836	83,9	81,5	61,5	0	1351	0,804	2284	2400	16
411	1836	79,1	76,7	56,7	0	1351	0,76	2416	2550	17
511	2055	74,3	72,15	52,15	0	1569	0,682	3013	3150	21
Q _{ст} = 9603; G _{ст} = 298,5; G _{пр} = 98,5										
121	813	94	91,3	71,3	0	813	1,017	799	900	6
221	700	88,6	86,25	66,25	0	700	0,924	758	900	6
321	700	83,9	81,6	61,6	0	700	0,841	832	900	6
421	700	79,3	76,95	56,95	0	700	0,76	921	1050	7
521	850	74,6	72,3	52,3	0	850	0,679	1252	1350	9
Q _{ст} = 3760; G _{ст} = 117; G _{пр} = 38,6										

Продолжение приложения Б

Таблица Б7. Расчет отопительных приборов для 1 случая (график 90-60)

Номер помещения	Отопит. нагрузка, Qот, Вт	Темпер. воды, поступающей в прибор, trп	Средняя темпер. теплоносителя в приборе, tср, т	Температурный напор, Δtср, °С	Теплоотдача открыто проложенных труб, Qтр, Вт	Тепловая нагрузка прибора, Qпр, Вт	φ к	Требуемый номин. тепловой поток прибора, Qн.т, Вт	Фактич. номин. условн. тепловой поток Qн.у, Вт	Количество секций
112	393	79	76,45	56,45	0	393	0,738	532,5	600	4
212	275	73,9	72,15	52,15	0	275	0,666	412,9	450	3
312	275	70,4	68,6	48,6	0	275	0,608	452,3	600	4
412	275	66,8	65,05	45,05	0	275	0,551	499,1	600	4
512	333	63,3	61,65	41,65	0	333	0,497	670,0	750	5
Qст = 1551; Gст = 41,3; Gпр = 13,6										
111	2515	79	76,9	56,9	0	2515	0,764	3292	3300	22
211	2307	74,8	72,85	52,85	0	2307	0,694	3324	3450	23
311	2307	70,9	69	49	0	2307	0,629	3668	3750	25
411	2307	67,1	65,15	45,15	0	2307	0,565	4083	4200	28
511	2525	63,2	61,6	41,6	0	2525	0,508	4970	5100	34
Qст = 11961; Gст = 319; Gпр = 105										
121	897	79	76,85	56,85	0	897	0,729	1230	1350	9
221	783	74,7	72,85	52,85	0	783	0,663	1181	1200	8
321	783	71	69,1	49,1	0	783	0,602	1301	1350	9
421	783	67,2	65,35	45,35	0	783	0,543	1442	1500	10
521	932	63,5	61,75	41,75	0	932	0,488	1910	1950	13
Qст = 4178; Gст = 111; Gпр = 36,7										

Таблица Б8. Расчет отопительных приборов для 2 случая (90-60)

Номер помещения	Отопит. нагрузка, Qот, Вт	Темпер. воды, поступающей в прибор, trп	Средняя темпер. теплоносителя в приборе, tср, т	Температурный напор, Δtср, °С	Теплоотдача открыто проложенных труб, Qтр, Вт	Тепловая нагрузка прибора, Qпр, Вт	φ к	Требуемый номин. тепловой поток прибора, Qн.т, Вт	Фактич. номин. условн. тепловой поток Qн.у, Вт	Количество секций
112	215	79	76,35	56,35	0	215	0,736	292	450	3
212	120	73,7	72,25	52,25	0	120	0,667	180	450	3
312	120	70,8	69,3	49,3	0	120	0,619	194	450	3
412	120	67,8	66,35	46,35	0	120	0,571	210	450	3
512	241	64,9	62,45	42,45	0	241	0,509	473	600	4
Qст = 816; Gст = 50,7; Gпр = 16,7										
111	1558	79	76,85	56,85	0	1558	0,758	2055	1800	12
211	1351	74,7	72,8	52,8	0	1351	0,693	1949	1950	13
311	1351	70,9	69	49	0	1351	0,629	2148	2250	15
411	1351	67,1	65,25	45,25	0	1351	0,567	2383	2400	16
511	1569	63,4	61,7	41,7	0	1569	0,51	3076	3150	21
Qст = 7180; Gст = 446; Gпр = 147,3										
121	460	79	76,7	56,7	0	460	0,756	608	750	5
221	346	74,4	72,65	52,65	0	346	0,686	504	600	4
321	346	70,9	69,15	49,15	0	346	0,627	552	600	4
421	346	67,4	65,7	45,7	0	346	0,571	606	750	5
521	496	64	62	42	0	496	0,512	969	1050	7
Qст = 1994; Gст = 124; Gпр = 41										

Продолжение приложения Б

Таблица Б9. Расчет отопительных приборов для 3 случая (90-60)

Номер помещения	Отопит. нагрузка, Qот, Вт	Темпер. воды, поступающей в прибор, tr,п	Средняя темпер. теплоносителя в приборе, tср, т	Температурный напор, Δtср, °С	Теплоотдача открыто проложенных труб, Qтр, Вт	Тепловая нагрузка прибора, Qпр, Вт	φ к	Требуемый номин. тепловой поток прибора, Qн.т, Вт	Фактич. номин. условн. тепловой поток Qн.у, Вт	Количество секций
112	215	79	76,35	56,35	0	215	0,736	292	450	3
212	120	73,7	72,25	52,25	0	120	0,667	180	450	3
312	120	70,8	69,3	49,3	0	120	0,619	194	450	3
412	120	67,8	66,35	46,35	0	120	0,571	210	450	3
512	241	64,9	62,45	42,45	0	241	0,509	473	600	4
Qст = 816; Gст = 50,7; Gпр = 16,7										
111	2040	79	76,9	56,9	0	1558	0,764	2670	2700	18
211	1836	74,8	72,85	52,85	0	1351	0,694	2646	2700	18
311	1836	70,9	69	49	0	1351	0,629	2919	3000	20
411	1836	67,1	65,2	45,2	0	1351	0,567	3238	3300	22
511	2055	63,3	61,65	41,65	0	1569	0,509	4037	4050	27
Qст = 9603; Gст = 298,5; Gпр = 98,5										
121	813	79	76,85	56,85	0	813	0,758	1073	1200	8
221	700	74,7	72,85	52,85	0	700	0,689	1016	1200	8
321	700	71	69,1	49,1	0	700	0,626	1118	1200	8
421	700	67,2	65,35	45,35	0	700	0,565	1239	1350	9
521	850	63,5	61,75	41,75	0	850	0,507	1677	1800	12
Qст = 3760; Gст = 117; Gпр = 38,6										

Гидравлический расчет вариантов сетей теплоснабжения

1 уч: длина 2 км, 9 компенсаторов, коэффициент местных сопротивлений – 27,7

2 уч: длина 0,5 км, 3 компенсатора, кмс – 10,9

3 уч: длина 0,9 км, 4 компенсатора, кмс – 13,7

4 уч: длина 0,3 км, 1 компенсатор, кмс – 5,3

5 уч: длина 0,4 км, 2 компенсатора, кмс – 8,1

Расходы теплоносителя на систему отопления определялись по формуле:

$$G_{от} = \frac{3,6 * Q_{от}^{max}}{c * (T_1 - T_2)} \quad (2.18)$$

Расходы теплоносителя на систему горячего водоснабжения определялись по формуле:

$$G_{г.в.}^{max} = \frac{3,6 * Q_{г.в.}^{max}}{c * (T_2 - T_x)} \quad (2.19)$$

1-а случай: параметры теплоносителя 150-70 С, в домах деревянные стеклопакеты, и отопительная нагрузка посчитана по СНиП.

Количество теплоты, требуемой для теплоснабжения каждого микрорайона:

1 микрорайон: $Q_{от} = 6,5$ МВт, $Q_{г.в.} = 1$ МВт. $Q = 7,5$ МВт

2 микрорайон: $Q_{от} = 13,1$ МВт, $Q_{г.в.} = 2$ МВт. $Q = 15,1$ МВт

3 микрорайон: $Q_{от} = 9,1$ МВт, $Q_{г.в.} = 1,4$ МВт. $Q = 10,5$ МВт

Расходы теплоносителя по каждому микрорайону и для каждого участка:

1 микрорайон: $G_{от} = 69809$ кг/ч; $G_{гв} = 15620,2$ кг/ч

2 микрорайон: $G_{от} = 140692$ кг/ч; $G_{гв} = 31240,3$ кг/ч

3 микрорайон: $G_{от} = 97732,6$ кг/ч; $G_{гв} = 21870$ кг/ч

1 уч: $G = 376966,8$ кг/ч

2 уч: $G = 291537,6$ кг/ч

3 уч: $G = 119602,6$ кг/ч

4 уч: $G = 85429,2$ кг/ч

5 уч: $G = 171935,0$ кг/ч

1-б случай: параметры теплоносителя 110-70 С, в домах деревянные стеклопакеты, и отопительная нагрузка посчитана по СНиП.

Расходы теплоносителя по каждому микрорайону и для каждого участка:

1 микрорайон: $G_{от} = 139618,1$ кг/ч; $G_{гв} = 15620,2$ кг/ч

2 микрорайон: $G_{от} = 281384,2$ кг/ч; $G_{гв} = 31240,3$ кг/ч

3 микрорайон: $G_{от} = 195465,4$ кг/ч; $G_{гв} = 21870$ кг/ч

1 уч: $G = 685198,2$ кг/ч

2 уч: $G = 529959,9$ кг/ч

3 уч: $G = 217335,4$ кг/ч

4 уч: $G = 155238,3$ кг/ч

5 уч: $G = 312624,5$ кг/ч

1-в случай: параметры теплоносителя 90-60 С, в домах деревянные стеклопакеты, и отопительная нагрузка посчитана по СНиП.

Расходы теплоносителя по каждому микрорайону и для каждого участка:

1 микрорайон: $G_{от} = 186157,5$ кг/ч; $G_{гв} = 15620,2$ кг/ч

2 микрорайон: $G_{от} = 375179,0$ кг/ч; $G_{гв} = 31240,3$ кг/ч

3 микрорайон: $G_{от} = 260620,5$ кг/ч; $G_{гв} = 21870$ кг/ч

1 уч: $G = 890687,5$ кг/ч

2 уч: $G = 688909,8$ кг/ч

3 уч: $G = 282490,5$ кг/ч

4 уч: $G = 201777,7$ кг/ч

5 уч: $G = 406419,3$ кг/ч

По рассчитанным данным был проведен гидравлический расчет 1 варианта тепловой сети с определением диаметров трубопроводов. Расчет сведен в таблицу.

2-а случай: параметры теплоносителя 150-70 С, в домах пластиковые стеклопакеты, и отопительная нагрузка посчитана с учетом «новых» норм.

Продолжение приложения В

Количество теплоты, требуемой для теплоснабжения каждого микрорайона:

1 микрорайон: $Q_{от} = 3,8$ МВт, $Q_{г.в.} = 1$ МВт. $Q = 4,8$ МВт

2 микрорайон: $Q_{от} = 7,5$ МВт, $Q_{г.в.} = 2$ МВт. $Q = 9,5$ МВт

3 микрорайон: $Q_{от} = 5,3$ МВт, $Q_{г.в.} = 1,4$ МВт. $Q = 6,7$ МВт

Расходы теплоносителя по каждому микрорайону и для каждого участка:

1 микрорайон: $G_{от} = 40811,5$ кг/ч; $G_{гв} = 15620,2$ кг/ч

2 микрорайон: $G_{от} = 80548,9$ кг/ч; $G_{гв} = 31240,3$ кг/ч

3 микрорайон: $G_{от} = 56921,2$ кг/ч; $G_{гв} = 21870$ кг/ч

1 уч: $G = 247012,1$ кг/ч

2 уч: $G = 190580,4$ кг/ч

3 уч: $G = 78791,2$ кг/ч

4 уч: $G = 56431,7$ кг/ч

5 уч: $G = 111789,2$ кг/ч

2-б случай: параметры теплоносителя 110-70 С, в домах пластиковые стеклопакеты, и отопительная нагрузка посчитана с учетом «новых» норм.

Расходы теплоносителя по каждому микрорайону и для каждого участка:

1 микрорайон: $G_{от} = 81622,9$ кг/ч; $G_{гв} = 15620,2$ кг/ч

2 микрорайон: $G_{от} = 161097,9$ кг/ч; $G_{гв} = 31240,3$ кг/ч

3 микрорайон: $G_{от} = 113842,5$ кг/ч; $G_{гв} = 21870$ кг/ч

1 уч: $G = 425293,8$ кг/ч

2 уч: $G = 328050,7$ кг/ч

3 уч: $G = 135712,5$ кг/ч

4 уч: $G = 97243,1$ кг/ч

5 уч: $G = 192338,2$ кг/ч

2-в случай: параметры теплоносителя 90-60 С, в домах пластиковые стеклопакеты, и отопительная нагрузка посчитана с учетом «новых» норм.

Расходы теплоносителя по каждому микрорайону и для каждого участка:

1 микрорайон: $G_{от} = 108830,5$ кг/ч; $G_{гв} = 15620,2$ кг/ч

2 микрорайон: $G_{от} = 214797,1$ кг/ч; $G_{гв} = 31240,3$ кг/ч

3 микрорайон: $G_{от} = 151790$ кг/ч; $G_{гв} = 21870$ кг/ч

1 уч: $G = 544148,1$ кг/ч

2 уч: $G = 419697,4$ кг/ч

3 уч: $G = 173660,0$ кг/ч

4 уч: $G = 124450,7$ кг/ч

5 уч: $G = 246037,4$ кг/ч

По рассчитанным данным был проведен гидравлический расчет 2 варианта тепловой сети с определением диаметров трубопроводов. Расчет сведен в таблицу.

3-а случай: параметры теплоносителя 150-70 С, в домах пластиковые стеклопакеты, отопительная нагрузка посчитана по старым нормам.

Количество теплоты, требуемой для теплоснабжения каждого микрорайона:

1 микрорайон: $Q_{от} = 5,4$ МВт, $Q_{г.в.} = 1$ МВт. $Q = 6,4$ МВт

2 микрорайон: $Q_{от} = 10,8$ МВт, $Q_{г.в.} = 2$ МВт. $Q = 12,8$ МВт

3 микрорайон: $Q_{от} = 7,6$ МВт, $Q_{г.в.} = 1,4$ МВт. $Q = 9,0$ МВт

Расходы теплоносителя по каждому микрорайону и для каждого участка:

1 микрорайон: $G_{от} = 57995,2$ кг/ч; $G_{гв} = 15620,2$ кг/ч

2 микрорайон: $G_{от} = 115990,5$ кг/ч; $G_{гв} = 31240,3$ кг/ч

3 микрорайон: $G_{от} = 81622,9$ кг/ч; $G_{гв} = 21870$ кг/ч

1 уч: $G = 324339,1$ кг/ч

2 уч: $G = 250723,7$ кг/ч

3 уч: $G = 103492,9$ кг/ч

4 уч: $G = 73615,4$ кг/ч

5 уч: $G = 147230,8$ кг/ч

3-б случай: параметры теплоносителя 110-70 С, в домах пластиковые стеклопакеты, отопительная нагрузка посчитана по старым нормам.

Расходы теплоносителя по каждому микрорайону и для каждого участка:

1 микрорайон: $G_{от} = 115990,5$ кг/ч; $G_{гв} = 15620,2$ кг/ч

2 микрорайон: $G_{от} = 231980,9$ кг/ч; $G_{гв} = 31240,3$ кг/ч

3 микрорайон: $G_{от} = 163245,8$ кг/ч; $G_{гв} = 21870$ кг/ч

1 уч: $G = 579947,7$ кг/ч

2 уч: $G = 448337,0$ кг/ч

3 уч: $G = 185115,8$ кг/ч

4 уч: $G = 131610,7$ кг/ч

5 уч: $G = 263221,2$ кг/ч

3-в случай: параметры теплоносителя 90-60 С, в домах пластиковые стеклопакеты, отопительная нагрузка посчитана по старым нормам.

Расходы теплоносителя по каждому микрорайону и для каждого участка:

1 микрорайон: $G_{от} = 154653,9$ кг/ч; $G_{гв} = 15620,2$ кг/ч

2 микрорайон: $G_{от} = 309307,9$ кг/ч; $G_{гв} = 31240,3$ кг/ч

3 микрорайон: $G_{от} = 217661,1$ кг/ч; $G_{гв} = 21870$ кг/ч

1 уч: $G = 750353,4$ кг/ч

2 уч: $G = 580079,3$ кг/ч

3 уч: $G = 239531,1$ кг/ч

4 уч: $G = 170274,1$ кг/ч

5 уч: $G = 340548,2$ кг/ч

По рассчитанным данным был проведен гидравлический расчет 9 вариантов тепловой сети с определением диаметров трубопроводов. Расчеты сведены в таблицу.

Таблица В1. Гидравлический расчет

	t, °С	G, т/ч	Днар, мм	Двн, мм	кэ, мм	L, м	$\Sigma\xi$	v, м/с	R, Па/м
1 случай (150-70)									
1	150	377	350	340	0,5	2000	27,7	1,27	57
2	150	292	300	290	0,5	500	10,9	1,35	83
3	150	120	200	190	0,5	900	13,7	1,29	113
4	150	85	150	140	0,5	300	5,3	1,69	277
5	150	172	200	190	0,5	400	8,1	1,86	239
2 случай (150-70)									
1	150	247	300	290	0,5	2000	27,7	1,14	54
2	150	191	260	250	0,5	500	10,9	1,19	74
3	150	79	200	190	0,5	900	13,7	0,85	49

4	150	56	150	140	0,5	300	5,3	1,11	120
5	150	112	200	190	0,5	400	8,1	1,21	101
2 случай (110-70) 17%									
1	110	377	350	340	0,5	2000	27,7	1,22	54
2	110	292	300	290	0,5	500	10,9	1,29	79
3	110	120	200	190	0,5	900	13,7	1,24	108
4	110	85	150	140	0,5	300	5,3	1,62	265
5	110	172	200	190	0,5	400	8,1	1,78	229
2 случай (90-60) 24%									
1	90	377	350	340	0,5	2000	27,7	1,20	53
2	90	292	300	290	0,5	500	10,9	1,27	78
3	90	120	200	190	0,5	900	13,7	1,22	106
4	90	85	150	140	0,5	300	5,3	1,59	261
5	90	172	200	190	0,5	400	8,1	1,75	225
3 случай (150-70)									
1	150	324	350	340	0,5	2000	27,7	1,09	42
2	150	251	300	290	0,5	500	10,9	1,16	61
3	150	103	200	190	0,5	900	13,7	1,11	83
4	150	74	150	140	0,5	300	5,3	1,47	210
5	150	147	200	190	0,5	400	8,1	1,59	175
3 случай (110-70) 19%									
1	110	377	350	340	0,5	2000	27,7	1,22	54
2	110	292	300	290	0,5	500	10,9	1,29	79
3	110	120	200	190	0,5	900	13,7	1,24	108
4	110	85	150	140	0,5	300	5,3	1,62	265
5	110	172	200	190	0,5	400	8,1	1,78	229
3 случай (90-60) 26%									
1	90	377	350	340	0,5	2000	27,7	1,20	53
2	90	292	300	290	0,5	500	10,9	1,27	78
3	90	120	200	190	0,5	900	13,7	1,22	106
4	90	85	150	140	0,5	300	5,3	1,59	261
5	90	172	200	190	0,5	400	8,1	1,75	225

Таблица Г1. Расчет тепловых потерь вариантов системы теплоснабжения

№ уч.	Температура воды	Температура окруж. воздуха	Наружный диаметр трубы	Длина трубы	Расход теплоносителя	Скорость движения воздуха	Степень черноты поверхности	Тепловой поток в окружающее пространство		
	°С	°С						мм	м	т/ч
1-а случай								#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!	#ДЕЛ/0!
1	150	-34	350	2000	377	3	0,9	6387,416	5492,189	5492189
2	150	-34	300	500	291,5749	3	0,9	1456,255	1252,154	1252154
3	150	-34	200	900	119,5902	3	0,9	1857,993	1597,587	1597587
4	150	-34	150	300	85,44751	3	0,9	508,514	437,243	437243
5	150	-34	200	400	171,9847	3	0,9	848,143	729,272	729272
1-б случай								11058,321		
1	110	-34	440	2000	685,2	3	0,9	5514,519	4741,633	4741633
2	110	-34	375	500	529,9	3	0,9	1238,485	1064,906	1064906
3	110	-34	248	900	217,3	3	0,9	1595,412	1371,807	1371807
4	110	-34	185	300	155,2	3	0,9	432,036	371,484	371484
5	110	-34	248	400	312,6	3	0,9	720,311	619,356	619356
1-в случай								9500,763		
1	90	-34	485	2000	890,7	3	0,9	4902,662	4215,530	4215530
2	90	-34	415	500	688,9	3	0,9	1101,456	947,081	947081
3	90	-34	273	900	282,5	3	0,9	1421,758	1222,492	1222492
4	90	-34	203	300	201,8	3	0,9	383,694	329,918	329918
5	90	-34	273	400	406,4	3	0,9	639,790	550,121	550121
2-а случай								8449,361		
1	150	-34	300	2000	247	3	0,9	5565,937	4785,845	4785845
2	150	-34	260	500	190,6	3	0,9	1295,177	1113,652	1113652
3	150	-34	200	900	78,8	3	0,9	1820,289	1565,166	1565166
4	150	-34	150	300	56,4	3	0,9	504,767	434,022	434022
5	150	-34	200	400	111,8	3	0,9	842,757	724,641	724641
2-б случай								10028,928		
1	110	-34	365	2000	425,3	3	0,9	4717,549	4056,362	4056362
2	110	-34	320	500	328	3	0,9	1091,697	938,690	938690
3	110	-34	240	900	135,7	3	0,9	1535,963	1320,691	1320691
4	110	-34	181	300	97	3	0,9	422,934	363,658	363658
5	110	-34	243	400	192	3	0,9	706,223	607,243	607243
2-в случай								8474,366		
1	90	-34	544	2000	544	3	0,9	5278,409	4538,615	4538615
2	90	-34	420	500	420	3	0,9	1107,614	952,376	952376
3	90	-34	174	900	174	3	0,9	1012,172	870,311	870311
4	90	-34	124	300	124	3	0,9	266,662	229,288	229288
5	90	-34	246	400	246	3	0,9	589,724	507,071	507071
3-а случай								8254,581		
1	150	-34	350	2000	324	3	0,9	6342,413	5453,494	5453494
2	150	-34	300	500	251	3	0,9	1453,441	1249,735	1249735
3	150	-34	200	900	103	3	0,9	1846,261	1587,499	1587499
4	150	-34	150	300	74	3	0,9	507,389	436,276	436276
5	150	-34	200	400	147	3	0,9	846,443	727,810	727810
3-б случай								10995,947		
1	110	-34	435	2000	580	3	0,9	5441,655	4678,981	4678981

2	110	-34	373	500	448	3	0,9	1231,782	1059,142	1059142
3	110	-34	246	900	185	3	0,9	1579,498	1358,124	1358124
4	110	-34	184	300	132	3	0,9	429,657	369,438	369438
5	110	-34	247	400	263	3	0,9	717,167	616,653	616653
3-в случай								9399,759		
1	90	-34	480	2000	750	3	0,9	4846,075	4166,875	4166875
2	90	-34	412	500	580	3	0,9	1094,187	940,832	940832
3	90	-34	272	900	240	3	0,9	1413,360	1215,271	1215271
4	90	-34	201	300	170	3	0,9	380,420	327,103	327103
5	90	-34	272	400	341	3	0,9	637,353	548,025	548025
								8371,396		

Программный комплекс по нахождению оптимальной температуры теплоносителя и регулирования тепловой нагрузки в системах теплоснабжения

```

PROGRAM
CONST <αΣ>=<15>;
      <c>=<4.19>;
      <ρ>=<1000>;
      <ε>=<0.25>;
      <f>=<5.25>;
      <m>=<0.33>;
      <π>=<3.14>;
      <σ>=<1,7>;

TYPE
VAR
  G, Tпр, Тобр, X, Y, Z, Q, твн, D, L, k, η, ξ, a, b, α, σ : Real;
BEGIN
  Write ('Введите тип прокладки :')
  ReadLn (тип прокладки);
  If тип прокладки=наземная бесканальная then
    Write ('Введите значения переменных k, D :')
    ReadLn (k, D);
    X := power (k, ε);
    Y := power (D, f);
    Write ('Введите значения переменных Q, твн, L, η, ξ, a, α, b :');
    ReadLn (Q, L, твн, η, ξ, a, α, b);
    Z := (m*X*Q*Q*Q*(1+α)*a)/(Y*c*c*c* ρ* ρ* π* π* π* η* b)
    Tпр :=Q/K*F+твн + power (Z, ε);
    Write ( 'Значение Tпр = ', Tпр)
    G := Q/(2*c*(Tпр- твн-(Q/K*F)));
    Write ( 'Значение Tпр = ', Tпр)
    Тобр := Tпр - (Q/c*G);
    Write ( 'Значение Тобр = ', Тобр)
  P := Q*Q*(α+ξ*D)/(11,52*1000000000*D*D*D*D*D*Tпр*Tпр);

```

```

Write ( 'Значение P = ', P)
If P<300 then
Write ( 'Потери давления соответствуют нормативным')
else
Write ( 'Рекомендуется увеличить диаметр теплопровода')
else
Write ('Введите значения переменных k, D :')
ReadLn (k, D);
X := power (k, e);
Y := power (D, f);
Write ('Введите значения переменных Q, tвн, L, η, ξ, α, α, b :');
ReadLn (Q, L, tвн, η, ξ, α, α, b) ;
Z := (m*X*Q*Q*Q*(1+α)*α*σ)/(Y*c*c*c* ρ* ρ* π* π* π* η* b)
Тпр :=Q/K*F+tвн + power (Z, e);
Write ( 'Значение Тпр = ', Тпр)
G := Q/(2*c*(Тпр- tвн-(Q/K*F)));
Write ( 'Значение Тпр = ', Тпр)
Тобр := Тпр - (Q/c*G);
Write ( 'Значение Тобр = ', Тобр)
P := Q*Q*(α+ξ*D)/(11,52*1000000000*D*D*D*D*D*Тпр*Тпр);
Write ( 'Значение P = ', P)
If P<300 then
Write ( 'Потери давления соответствуют нормативным')
else
Write ( 'Рекомендуется увеличить диаметр теплопровода')

END.

```


Интерфейс программного комплекса

Определение оптимальной температуры теплоносителя в системе теплоснабжения

Исходные данные Выход

Тип прокладки	Наземная, бесканальная
Тип теплопровода	Ответвление
Тепловая нагрузка, Вт	509000
Коэффициент шероховатости, мм	2
Условный диаметр, мм	80
Толщина тепловой изоляции, мм	35
Температура внутреннего воздуха в помещении Градусов Цельсия:	18
КФ, Вт/°С	7880
КПД насосной сетевой установки	0.5
Тариф на тепловую энергию руб/Гкал	509
Тариф на электрическую энергию руб/кВтч	1.58
Коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, Вт/м*°С:	0.045
Сумма местных сопротивлений на 1м	0.1

Итоги расчетов

Оптимальные значения температур

Тпр: 97.73 Тобр: 67.39

Потери давления на ответвлении

Р, Па/м: 213

Потери давления соответствуют нормативным

Таблица Ж1. Экспериментальные данные из программы АСДУ УГЭ

Дата	W _{об} , Гкал/ч	W _{об} , Вт	t _{пр} , °С	t _{обр} , °С	t _{нар} , °С
01.окт	0,5	0,43103	78,40	66,17	2,4
02.окт	0,51	0,43966	76,94	66,51	1,4
03.окт	0,46	0,39655	74,41	64,83	0,8
04.окт	0,49	0,42241	75,50	64,79	1,1
05.окт	0,48	0,41379	82,22	69,26	0,3
06.окт	0,53	0,4569	81,00	67,69	0,8
07.окт	0,49	0,42241	80,71	67,27	2,2
08.окт	0,48	0,41379	80,90	68,72	5,1
09.окт	0,52	0,44828	82,72	69,51	6,2
10.окт	0,54	0,46552	84,92	71,33	2,4
11.окт	0,5	0,43103	83,97	71,00	5,0
12.окт	0,41	0,35345	77,22	68,38	7,6
13.окт	0,45	0,38793	77,30	68,10	7,1
14.окт	0,52	0,44828	76,82	67,15	2,5
15.окт	0,46	0,39655	76,89	66,25	0,8
16.окт	0,48	0,41379	76,38	65,81	3,5
17.окт	0,5	0,43103	76,83	65,95	4,7
18.окт	0,5	0,43103	78,27	67,72	8,3
19.окт	0,44	0,37931	78,42	68,81	2,3
20.окт	0,42	0,36207	78,35	68,79	4,3
21.окт	0,52	0,44828	78,43	67,74	3,5
22.окт	0,5	0,43103	76,99	67,42	1,2
23.окт	0,51	0,43966	76,90	67,32	-3,1
24.окт	0,52	0,44828	77,37	68,01	-4,1
25.окт	0,53	0,4569	76,15	67,88	3,4
26.окт	0,48	0,41379	78,99	69,59	4,1
27.окт	0,37	0,31897	79,25	69,04	5,2
28.окт	0,06	0,05172	88,94	65,40	6,3
29.окт	0,22	0,18966	86,88	68,29	6,2
30.окт	0,51	0,43966	76,29	66,61	6,8
31.окт	0,49	0,42241	75,88	65,97	8,4
1 ноя	0,48	0,41379	75,72	66,63	7,2
2 ноя	0,51	0,43966	78,38	67,53	1,8
3 ноя	0,47	0,40517	79,64	67,30	2,6
4 ноя	0,46	0,39655	80,40	68,80	5,8
5 ноя	0,49	0,42241	80,44	69,00	5,0
6 ноя	0,51	0,43966	80,24	68,97	4,4
7 ноя	0,5	0,43103	84,7	72,74	6,5
8 ноя	0,46	0,39655	85,13	72,6	5,6

9 ноя	0,43	0,37069	84,05	71,51	2,4
10 ноя	0,45	0,38793	84,22	71,82	2,4
11 ноя	0,51	0,43966	81,47	70,57	-0,8
12 ноя	0,53	0,4569	82,11	71,46	2,5
13 ноя	0,53	0,4569	83,46	71,79	1,4
14 ноя	0,56	0,48276	83,85	72,22	0,2
15 ноя	0,52	0,44828	83,76	72,38	0,5
16 ноя	0,46	0,39655	83,17	71,71	1,6
17 ноя	0,48	0,41379	81,73	71,56	-1,3
18 ноя	0,51	0,43966	78,46	67,74	0,8
19 ноя	0,53	0,4569	77,68	67,11	0,1
20 ноя	0,54	0,46552	78,89	68,51	0,8
21 ноя	0,53	0,4569	78,04	67,75	0,8
22 ноя	0,54	0,46552	77,61	67,53	-0,9
23 ноя	0,51	0,43966	78,45	68,48	-3,4
24 ноя	0,49	0,42241	77,81	68,09	-5,5
25 ноя	0,54	0,46552	77,26	66,95	-5,8
26 ноя	0,57	0,49138	78,44	67,4	-5,6
27 ноя	0,56	0,48276	79,02	67,18	0,4
28 ноя	0,49	0,42241	79,46	67,89	1,3
29 ноя	0,52	0,44828	80,99	67,11	-1,3
30 ноя	0,51	0,43966	79,9	66,89	-1,3
01.дек	0,54	0,46552	80,53	66,51	-5,7
02.дек	0,53	0,4569	79,91	64,76	-4,4
03.дек	0,53	0,4569	80,7	65,8	-2,2
04.дек	0,55	0,47414	78,88	65,63	-7,1
05.дек	0,6	0,51724	79,09	68,2	-9,3
06.дек	0,58	0,5	79,31	68,38	-2,7
07.дек	0,51	0,43966	79,79	68,99	-3,9
08.дек	0,57	0,49138	80,09	69,09	-7,4
09.дек	0,61	0,52586	79,08	67,46	-6,8
10.дек	0,59	0,50862	78,54	66,39	-8,3
11.дек	0,57	0,49138	76,56	65,6	-14,8
12.дек	0,59	0,50862	75,66	65,03	-17,5
13.дек	0,66	0,56897	79,23	68,24	-6,9
14.дек	0,53	0,4569	80,82	68,72	-7,8
15.дек	0,57	0,49138	81,37	68,69	-8,6
16.дек	0,62	0,53448	80,59	67,88	-13,9
17.дек	0,61	0,52586	77,48	66,71	-20,0
18.дек	0,61	0,52586	77,86	67,5	-16,2
19.дек	0,61	0,52586	79,49	69,04	-3,0
20.дек	0,57	0,49138	80,05	69,85	-12,2
21.дек	0,6	0,51724	79,49	69,45	-13,2
22.дек	0,56	0,48276	79,5	69,55	-12,1

23.дек	0,62	0,53448	78,18	68,28	-15,5
24.дек	0,58	0,5	77,67	66,23	-10,7
25.дек	0,61	0,52586	77,64	66,37	-3,8
26.дек	0,61	0,52586	79,34	67,54	-4,2
27.дек	0,57	0,49138	78,76	67,51	-8,6
28.дек	0,55	0,47414	81,51	70,48	-2,3
29.дек	0,58	0,5	81,85	71,05	-5,2
30.дек	0,59	0,50862	80,56	69,2	-8,4
31.дек	0,59	0,50862	80,46	69,81	-4,6
01.янв	0,52	0,44828	81,12	70,65	-5,1
02.янв	0,58	0,5	80,61	69,88	-4,8
03.янв	0,56	0,48276	79,87	69,04	-12,5
04.янв	0,57	0,49138	79,9	68,52	-26,5
05.янв	0,61	0,52586	80,67	68,46	-26,4
06.янв	0,62	0,53448	80,27	68,42	-24,0
07.янв	0,59	0,50862	80,74	67,79	-16,0
08.янв	0,52	0,44828	80,47	68,01	-7,6
09.янв	0,59	0,50862	77,28	65,54	-4,8
10.янв	0,59	0,50862	80,15	67,6	-5,0
11.янв	0,55	0,47414	81,37	68,91	-5,2
12.янв	0,49	0,42241	79,85	68,89	-1,8
13.янв	0,56	0,48276	80,77	68,41	-2,9
14.янв	0,57	0,49138	81,41	68,79	-3,9
15.янв	0,22	0,18966	81,79	69,07	-7,4
19.янв	0	0	0	0	
20.янв	0	0	0	0	
21.янв	0	0	0	0	
22.янв	0,32	0,27586	41,36	34,77	-14,7
23.янв	0,64	0,55172	80,37	67,88	-23,1
24.янв	0,62	0,53448	82,01	69,14	-15,9
25.янв	0,59	0,50862	79,72	67,95	-21,7
26.янв	0,62	0,53448	80,4	67,47	-20,1
27.янв	0,64	0,55172	80,79	67,99	-18,3
28.янв	0,62	0,53448	78,33	66,08	-25,2
29.янв	0,71	0,61207	82,48	68,64	-27,8
30.янв	0,73	0,62931	85,01	70,86	-27,4
31.янв	0,69	0,59483	82,71	69,45	-19,2
01.фев	0,6	0,51724	81,15	68,59	-20,3
02.фев	0,63	0,5431	81,54	69,09	-26,5
03.фев	0,68	0,58621	81,41	68,79	-24,4
04.фев	0,6	0,51724	79,19	68,43	-16,5
05.фев	0,64	0,55172	79,5	68,66	-18,2
06.фев	0,61	0,52586	78,65	68,2	-21,7
07.фев	0,62	0,53448	78,59	68	-19,7

08.фев	0,55	0,47414	79,99	70	-21,1
09.фев	0,6	0,51724	80,97	70,28	-26,5
10.фев	0,59	0,50862	80,19	69,91	-23,2
11.фев	0,62	0,53448	80,88	70,37	-17,5
12.фев	0,56	0,48276	78,71	69,39	-10,5
13.фев	0,6	0,51724	78,71	69,16	-11,2
14.фев	0,55	0,47414	77,73	68,56	-17,7
15.фев	0,57	0,49138	78,49	69,01	-13,9
16.фев	0,53	0,4569	79,45	70,16	-7,2
17.фев	0,56	0,48276	78,27	69,34	-8,5
18.фев	0,57	0,49138	79,87	70,39	-13,9
19.фев	0,56	0,48276	78,66	69,92	-8,7
20.фев	0,51	0,43966	78,99	69,58	-5,8
21.фев	0,57	0,49138	78,83	69,55	-18,5
22.фев	0,57	0,49138	81,6	70,79	-26,2
23.фев	0,57	0,49138	80,15	69,42	-28,8
24.фев	0,6	0,51724	80,9	69,57	-20,5
25.фев	0,58	0,5	79,5	69,12	-9,1
26.фев	0,58	0,5	80,58	70,2	-3,8
27.фев	0,57	0,49138	79,56	69,9	-9,2
28.фев	0,55	0,47414	78,69	68,21	-9,6
01.мар	0,56	0,48276	79,04	67,16	-6,5
02.мар	0,48	0,41379	77,15	63,91	-13,8
03.мар	0,52	0,44828	77,48	63,06	-14,4
04.мар	0,54	0,46552	79,15	65,22	-14,4
05.мар	0,57	0,49138	78,64	66,43	-14,2
06.мар	0,54	0,46552	79,6	66,74	-6,4
07.мар	0,55	0,47414	80,5	67,6	-5,2
08.мар	0,47	0,40517	81,04	68,75	-7,1
09.мар	0,52	0,44828	82,04	69,4	-0,9
10.мар	0,5	0,43103	82,78	70,36	-0,1
11.мар	0,49	0,42241	80,78	67,83	-0,3
12.мар	0,44	0,37931	78,38	63,85	-2,9
13.мар	0,44	0,37931	77,46	61,79	-4,0
14.мар	0,43	0,37069	77,31	62,65	-0,9
15.мар	0,45	0,38793	80,12	63	-1,6
16.мар	0,42	0,36207	80,56	65,17	-2,5
17.мар	0,44	0,37931	80,06	64,37	-0,3
18.мар	0,5	0,43103	80,34	65,7	-2,5
19.мар	0,49	0,42241	79,56	65,41	-2,6
20.мар	0,48	0,41379	79,41	64,48	-3,3
21.мар	0,51	0,43966	80,57	65,44	-1,9
22.мар	0,46	0,39655	80,74	67,39	-4,8
23.мар	0,45	0,38793	81,47	67,4	1,0

24.мар	0,46	0,39655	82,67	67,91	-1,3
25.мар	0,47	0,40517	80,88	64,94	3,6
26.мар	0,45	0,38793	79,27	62,78	5,3
27.мар	0,4	0,34483	76,84	60,26	1,3
28.мар	0,4	0,34483	76,02	59,4	-2,7
29.мар	0,36	0,31034	77,72	59,78	-0,8
30.мар	0,38	0,32759	78,71	59,01	-1,8
31.мар	0,38	0,32759	77,98	58,84	-0,4
01.апр	0,4	0,34483	77,95	58,22	-1,8
02.апр	0,39	0,33621	77,32	57,75	-1,4
03.апр	0,37	0,31897	77,96	58,21	-0,4
04.апр	0,38	0,32759	78,37	58,55	-2,7
05.апр	0,35	0,30172	78,7	58,41	-0,2
06.апр	0,34	0,2931	79,67	58,31	-0,3
07.апр	0,4	0,34483	80,72	59,81	-0,6
08.апр	0,39	0,33621	78,93	58,33	2,9
09.апр	0,37	0,31897	80,82	57,16	0,8
10.апр	0,4	0,34483	85,67	57,87	-2,4
11.апр	0,43	0,37069	85,33	60,24	-3,8
12.апр	0,44	0,37931	85	63,48	-2,2
13.апр	0,41	0,35345	84,05	62,57	1,5
14.апр	0,39	0,33621	80,76	59,91	2,8
15.апр	0,37	0,31897	80,11	56,65	2,9
16.апр	0,3	0,25862	81,22	60,94	5,6
17.апр	0,26	0,22414	83,55	59,39	8,1
18.апр	0,25	0,21552	85,52	59,37	9,4
19.апр	0,27	0,23276	86,42	63,54	6,9
20.апр	0,26	0,22414	87,31	65,98	9,4
21.апр	0,27	0,23276	87,33	59,88	9,3
22.апр	0,3	0,25862	86,45	61,47	3,4
23.апр	0,32	0,27586	83,95	67,26	6,2
24.апр	0,32	0,27586	84,19	67,45	8,5
25.апр	0,28	0,24138	82,53	62,98	-0,5
26.апр	0,23	0,19828	79,08	64,69	-0,3
27.апр	0,26	0,22414	79,47	58,58	-0,1
28.апр	0,3	0,25862	81,9	57,66	5,6
29.апр	0,24	0,2069	87,75	56,24	10,4
30.апр	0,28	0,24138	90,72	56,17	8,2

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ЦЭСТ

ОАО «Магнитогорский металлургический
комбинат»

Д.Ф. Целиканов

2015 г.

АКТ**об использовании результатов диссертационного исследования**

Настоящим подтверждаем, что Центром энергосберегающих технологий (ЦЭСТ) ОАО «ММК» проведена оценка возможности использования результатов диссертационного исследования Гавей О.Ф. на тему «Исследование особенностей и управление функционированием систем низкотемпературного теплоснабжения».

Сокращение затрат при транспортировке теплоносителя в системах теплоснабжения ОАО «ММК» является важным энергосберегающим мероприятием, поэтому полученные результаты являются актуальными и представляют практический интерес при осуществлении управления процессами теплоснабжения для ОАО «ММК». Результаты данной диссертационной работы планируются к применению на некоторых объектах предприятия.

Начальник отдела наладки и
эксплуатации систем паротеплоснабжения
ОАО «ММК»

А.Л. Булатов