

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования

**Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина**

УДК 621.1.016
№ госрегистрации 01200959558
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ
Проректор университета
по научной работе
_____Тютиков В.В.
« ____ » _____ 2010 г.

ОТЧЁТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по теме: «Разработка систем, обеспечивающих устранение тепловой и гидравлической
разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения»
государственный контракт № 02.516.11.6195 от 26 июня 2009 г.

Шифр «2009-06-1.6-31-25-022»

Этап 4. Разработка технических решений для устранения тепловой и гидравлической
разбалансированности трубопроводных
сетей тепло- и водоснабжения
(заключительный)

Начальник НИСа

_____ Таланов С.Б.
подпись, дата

Руководитель темы

_____ Созинов В.П.
подпись, дата

Иваново 2010

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, д.т.н., профессор _____ В.П. Созинов (раздел 4, 5, 6, 7)
подпись, дата

Исполнители темы:

Ведущий научн. сотр., к.т.н., доцент _____ А.А. Генварев (раздел 4, 5, 6, 7)
подпись, дата

К.т.н., доцент _____ В.В. Сенников (раздел 4, 5, 6, 7)
подпись, дата

Ведущий программист к.ф.-м.н. _____ А.С. Приходько (раздел 4, 5, 6, 7)
подпись, дата

К.т.н., профессор _____ В.М. Захаров (раздел 4, 5, 6, 7)
подпись, дата

Инженер _____ А.Е. Костров (раздел 4, 5, 6, 7)
подпись, дата

Инженер _____ М.Г. Козлов (раздел 4, 5, 6, 7)
подпись, дата

Аспирант _____ С.А. Банникова (раздел 4, 5, 6, 7)
подпись, дата

Соисполнители ГОУВПО «МЭИ (ТУ)»:

Д.т.н., профессор _____ А.В. Волков (раздел 2, 3, 6)
подпись, дата

К.т.н., доцент _____ Е.Х. Китайцева (раздел 2, 3, 6)
подпись, дата

К.т.н., доцент _____ Ю.В. Яворовский (раздел 2, 3, 6)
подпись, дата

Зав. НИЛ _____ В.Г. Хромченков (раздел 2, 3, 6)
подпись, дата

Аспирант _____ Е.Н. Штин (раздел 2, 3, 6)
подпись, дата

Инженер _____ Т.Ю. Полуэктова (раздел 2, 3, 6)
подпись, дата

Соисполнители ЗАО «Коутингплазм»:

К.т.н., старший научн. сотр. _____ А.Ф. Медников (раздел 1, 6)
подпись, дата

РЕФЕРАТ

Отчет с. 152, рис. 39, табл. 9, источника 72

ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ, ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ, ПАДЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ, ПАДЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ, ПОТЕРИ ТЕПЛА, РАСПОЛАГАЕМЫЕ НАПОРЫ

В отчёте приведены материалы объектов исследований - систем теплоснабжения и водоснабжения.

Цель работы – повышение эффективности функционирования трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения потребителей за счет комплексного устранения тепловой и гидравлической разбалансированности систем теплоснабжения потребителей.

На 4 этапе в процессе работы

- разработаны технические решения для определения степени тепловой и гидравлической разрегулированности систем тепло- и водоснабжения.

- разработаны технические решения для определения оптимальных толщин изоляции теплопроводов с учетом энергетических и экономических показателей и фактора разбалансированности;

- разработаны технические решения для определения фактических тепловых потерь при транспортировке и распределении тепловой энергии с учетом фактора разбалансированности;

- разработана система технических решений для устранения и предотвращения появления тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения потребителей.

- проведена технико-экономическая оценка рыночного потенциала полученных результатов

- разработан проект технического задания на ОКР (ОТР) на разработку программного продукта для устранения тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения.

- подготовлен итоговый научно-технический отчет;

- проведены исследования теплогидравлических режимов тепловых сетей с потребителями, оборудованными местными установками количественного регулирования (ИТП).

Для выполнения указанных работ были

- составлена универсальная компьютерная программа гидравлического расчета для выполнения наладочных работ по устранению разбалансированности радиальных тепловых сетей;

- составлена компьютерная программа по построению характеристик насосов и параллельной работы насосов;

- составлена компьютерная программа по расчету обточки колеса центробежного насоса и построения его характеристик;
- составлена компьютерная программа для расчета характеристик центробежных насосов на новое число оборотов;

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ТЕПЛОВОЙ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗРЕГУЛИРОВАННОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛО- И ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	9
1.1 Наладка гидравлических режимов тепловых сетей.....	10
1.2 Построение характеристик насосов.....	13
1.3 Обточка рабочего колеса насоса.....	15
1.4 Изменение числа оборотов насоса	17
2 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ТОЛЩИН ИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОПРОВОДОВ С СОВМЕСТНЫМ УЧЕТОМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ФАКТОРА РАЗБАЛАНСИРОВАННОСТИ	20
2.1 Общие сведения и принципы для определения оптимальных толщин изоляция теплопроводов.....	20
2.2 Технические решения по оптимизации толщин изоляции теплопроводов с совместным учетом энергетических и экономических показателей и фактора разбалансированности	33
3 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ С УЧЕТОМ ФАКТОРА РАЗБАЛАНСИРОВАННОСТИ.....	44
3.1 Необходимость определения потерь тепла с поверхности изоляции трубопроводов	44
3.2 Определение фактических тепловых потерь с поверхности изоляции трубопроводов	45
3.2.1. Технические решения для измерения толщины стенок трубопровода	46
3.2.2. Технические решения для измерения температуры теплоносителя	48
3.3 Пример практического применения технического решения для определения фактических тепловых потерь при транспортировке и распределении тепловой энергии с учетом фактора разбалансированности	58
3.4 Техническое решение для экспериментального определения тепловых потерь с созданием циркуляционного контура	63

3.5 ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ МЕТОДОМ «ТЕМПЕРАТУРНОЙ ВОЛНЫ».....	65
4 РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЯВЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ТЕПЛО- И ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ.....	76
4.1 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ.	76
4.2 ЗАМЕНА ЭЛЕВАТОРОВ НА НАСОСНЫЕ УЗЛЫ СМЕШЕНИЯ.	86
4.3 УСТРАНЕНИЕ «ПЕРЕТОПА» В ДВУХТРУБНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ В ОСЕННЕ-ВЕСЕННИЕ ПЕРИОДЫ ГОДА	90
5 ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ РЫНОЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.	95
6 РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА ОКР (ОТР) НА РАЗРАБОТКУ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ РАЗБАЛАНСИРОВАННОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ТЕПЛО- И ВОДОСНАБЖЕНИЯ.....	99
7 ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ПОТРЕБИТЕЛЯМИ, ОБОРУДОВАННЫМИ МЕСТНЫМИ УСТАНОВКАМИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ (ИТП).....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	102
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	106
ПРИЛОЖЕНИЕ А	111
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	112
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	113

ВВЕДЕНИЕ

Целью заключительного 4 этапа по теме «Разработка систем, обеспечивающих устранение тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения» является разработка теоретических и технических решений.

В отчёте по 1-му этапу работы показано, что в настоящее время отсутствуют единые критерии, позволяющие оценивать тепловую и гидравлическую разбалансированность.

Анализ показывает, что такие сложные системы как системы тепло- и водоснабжения, состоящие из множества участков разных длин и диаметров, выполненных из разных материалов, питающихся от нескольких источников, имеющих повысительные подстанции, и к которым подключены потребители с неравномерным по суткам и дням недели потреблением, являются системами, которые невозможно охарактеризовать каким-то одним параметром.

В процессе выполнения работы выяснено, что степень определения тепловой и гидравлической разрегулированности может быть определена лишь на основе комплексного анализа отклонений всех параметров гидравлической системы от расчётного или нормативного режима. Так как разбалансированность возникает не только в результате нарушений эксплуатирующих организаций, но и ввиду старения сетей и внутренних систем, вызванных внутренней и наружной коррозией, то факторами разбалансированности являются величины гидравлических сопротивлений участков трубопроводов и трубопроводов внутренних систем потребителей.

Осуществить приборный контроль всей гидравлической сети практически невозможно, так как необходимо знать падение давления на каждом участке, знать расходы жидкости, температуры, а также указанные параметры у потребителей.

Установка приборов учёта, которые по Постановлению должны быть у потребителей до 2011 года, обеспечивает приборный контроль конечных точек сети.

Для анализа фактических параметров самой сети как правило существуют лишь так называемые «контрольные точки», которых ничтожное количество.

Таким образом оценка разбалансированности гидравлических сетей возможна лишь на основе использования расчётного метода математической модели гидравлической сети в виде компьютерной программы.

В сетях теплоснабжения чрезвычайно актуальной с точки зрения разбалансированности являются тепловые потери и связанные с ними температурные потери.

В данном отчете приведены технические решения по определению оптимальных толщин изоляции теплопроводов с совместным учётом энергетических и экономических показателей и фактора разбалансированности, а также разработаны технические решения для определения фактических тепловых потерь при транспортировке и распределении тепловой энергии.

В настоящее время в тепловых сетях можно применить технические решения, которые уменьшат разбалансированность и позволят экономить тепловую энергию.

В отчёте приведены материалы по разработанным конструктивным размерам гидравлического распределителя, применение которого обеспечивает стабильность теплогидравлического режима источника теплоснабжения и устраняет влияние переменной нагрузки горячего водоснабжения.

Разработана схема замены элеваторного узла смешения на насосный с регулированием частоты по коэффициенту смешения, определяемому по температурам потоков воды.

В осенний и весенний периоды, когда температура наружного воздуха более $+ 3^{\circ}\text{C}$, в двухтрубных тепловых сетях с нагрузкой горячего водоснабжения для устранения «перетопа» разработана схема с насосом и переключкой с регулируемым сопротивлением. В качестве параметра регулирования определен коэффициент смешения, который находится по температурам потоков воды.

Проведена технико-экономическая оценка рынка применения рассмотренных технических решений: гидравлического распределителя, насосного узла смешения и схемы устранения «перетопа».

Разработан проект технического задания на опытно-конструкторскую разработку (ОКР), опытно-технологическую разработку (ОТР) на программный продукт для устранения тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения.

Проведены работы на объектах теплоснабжения по проведению исследований теплогидравлических режимов тепловых сетей с потребителями, оборудованными местными установками количественного регулирования (ИТП).

1 Разработка технических решений для определения степени тепловой и гидравлической разрегулированности систем тепло- и водоснабжения.

Разрегулированность систем тепло- и водоснабжения возникает по ряду причин:

- 1) низкое научно-техническое качество проектов систем теплоснабжения (ошибочные проектные решения);
- 2) выдача эксплуатирующими теплоснабжающими организациями технических условий на подключение без выполнения теплогидравлических расчётов с учётом вновь подключаемых потребителей и реконструкции тепловых сетей;
- 3) отсутствие контроля теплоснабжающими организациями за соблюдением потребителями расчётного утверждённого теплогидравлического режима (самовольная замена или удаление дроссельных органов – сопел элеваторов и регулировочных шайб);
- 4) содержание в водопроводной воде механических примесей и органических соединений, вызывающих уменьшение проходного сечения трубопроводов и увеличение гидравлического сопротивления;
- 5) отсутствие обессоливания и деаэрации подпиточной с сетевой воды в тепловых сетях;
- 6) увеличение сопротивления отопительных систем зданий по мере старения и деятельные реконструкции с нарушением проекта.
- 7) влияние режимных факторов – суточной неравномерности потребления горячей воды.

Все указанные причины в той или иной мере присутствуют в каждой тепловой сети.

Применение современных вычислительных средств позволяет выполнять не только наладочные, но и поверочные теплогидравлические расчёты.

В последние годы проводится активная работа по установке узлов учёта количества жидкости и тепловой энергии у потребителей.

Использование информации узлов учёта приборов измерения давления, температуры и расхода жидкости в компьютерных программах позволяет расчётным методом выявить факторы, вызывающие разбалансированность теплогидравлических режимов.

Гидравлические расчеты тепловых сетей выполняются в соответствии с методикой, приведенной в «Тепловые сети». СНиП 2.04.07-86* и книге Соколов Е.Я. «Теплофикация и тепловые сети», Издательство МЭИ. 2001. -472 с.

1.1 Наладка гидравлических режимов тепловых сетей.

Наладка гидравлических режимов заключается в выполнении регулировочных работ по устранению разбалансированности для обеспечения всех подключенных к сети потребителей расчетными располагаемыми напорами. Эта работа для малых сетей может быть выполнена опытным путем, а для сетей с количеством подключенных потребителей более 20 на основании наладочных гидравлических расчетов.

Проведение наладочных работ обеспечивает подачу тепла потребителям в соответствии с санитарными нормами и, кроме того, сокращает расход циркулируемой воды, что приводит к сокращению расхода топлива на источнике теплоснабжения и к сокращению расхода электроэнергии на перекачку сетевой воды.

Для наиболее распространенных радиальных тепловых сетей с одним источником питания разработана наладочная компьютерная программа, реализованная на VBA в EXCEL – приложение А

Техническое решение, обеспечивающее устранение тепловой и гидравлической разрегулировки, осуществляется на основе установки дроссельных органов – сопел элеваторов и шайб, рассчитанных по специальной универсальной компьютерной программе.

Программа обладает большой наглядностью. Все исходные данные и результаты расчета приведены на рисунке 1.1. Программа не требует специального обучения и может использоваться специалистами, выполняющими наладочные работы.

Для расчета необходимо составить буквенно-цифровую нумерацию узлов схемы, задать напоры на источнике, температурный график, тип схемы теплоснабжения – открытая или закрытая, параметры по участкам, тепловые нагрузки по абонентам, геодезические высоты узлов и потребителей, вид дроссельных элементов: сопел или шайб или совместно.

Программа позволяет изобразить схему сети в электронном виде. Разработаны программы-макросы нанесения участков тепловых сетей, домиков – потребителей тепла и тепловых камер. Для их построения необходимо ввести геометрические координаты.

В результате расчета получают расходы воды по участкам, потери напора, располагаемые напоры, диаметры дроссельных устройств: сопел элеваторов и шайб.

На рисунке 1.2 приведена схема налаживаемой тепловой сети.

По полученным результатам расчета изготавливаются сопла и шайбы, после установки которых у абонентов, происходит устранение разбалансированности.

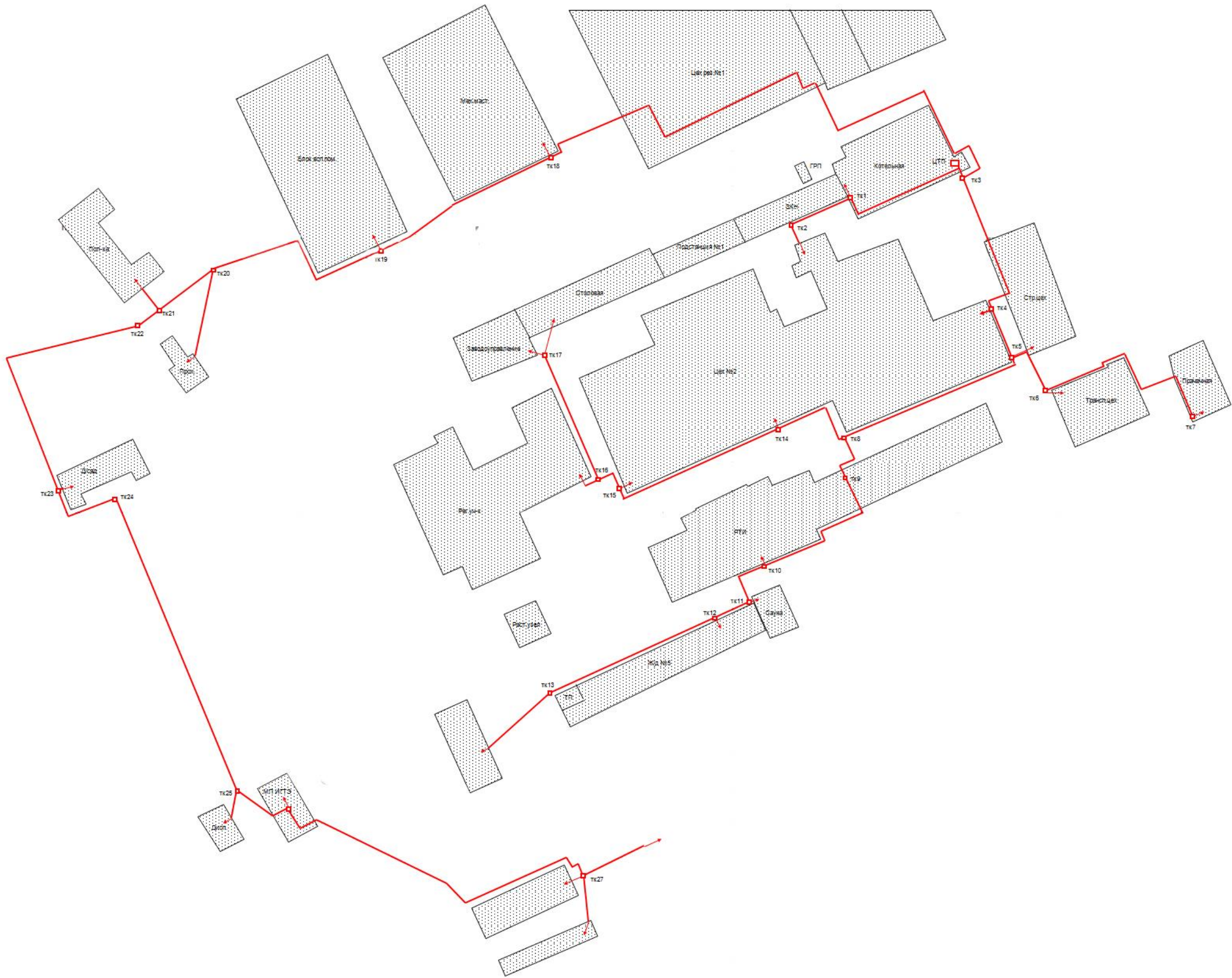


Рисунок 1.2 – Схема тепловой сети

1.2 Построение характеристик насосов

При проведении работ по устранению разбалансированности тепловых и водопроводных сетей требуется проведение анализа режимов работы насосных установок.

Зачастую паспортные характеристики отсутствуют или насос при длительной эксплуатации изменил характеристику, что вызывает необходимость экспериментального определения характеристики насоса.

Статистическая обработка зависимостей напора, мощности, КПД и кавитационного запаса производится методом наименьших квадратов.

При использовании коэффициентов полиномов строится характеристика параллельной работы нескольких однотипных насосов. – приложение А.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1																						
2																						
3			Расчет характеристики параллельного соединения насосов																			
4																						
5		Число точек=	7																			
6		Порядок полинома=	2				К 20/30 (2К-6)															
7		Мин. подача=	0 м ³ /час																			
8		Макс. подача=	30 м ³ /час																			
9		Шаг подачи=	5 м ³ /час																			
10		Число насосов=	2																			
11																						
12		Характеристика насоса						Результаты расчета по полиному							Харак. паралл. насосов							
13																						
14		№	Q	H		Козфф. полинома		№	Q	H		Козфф. полинома паралл. насосов		№	Q	H						
15		п/п	м ³ /час	м				п/п	м ³ /час	м				п/п	м ³ /час	м						
16		1	0	34,300000		C	0	34,45477295	1	0	34,5		CR	0	34,45477295	1	0	34,5				
17		2	5	35		C	1	0,158569455	2	5	34,8		CR	1	0,079284728	2	5	34,7				
18		3	10	34,4		C	2	-0,017333277	3	10	34,3		CR	2	-0,004333319	3	10	34,8				
19		4	15	33		C	3		4	15	32,9		CR	3		4	15	34,7				
20		5	20	30,4					5	20	30,7					5	20	34,3				
21		6	25	27,6					6	25	27,6					6	25	33,7				
22		7	30	23,7					7	30	23,6					7	30	32,9				
23		8																				
24		9																				
25		10																				
26		11																				
27		12																				
28		13																				
29																						
30																						
31																						
32																						
33																						
34																						
35																						
36																						
37																						
38																						

Рисунок 1.3 – База исходных данных и результатов расчёта программы построения характеристик параллельной работы насосов

1.3 Обточка рабочего колеса насоса

В системах тепло- и водоснабжения применяется большое количество насосов. По требованиям эффективной работы насосного оборудования кпд насоса должен находиться в пределах 0.6-0.8.

Анализ многочисленных насосных установок показывает, что на практике зачастую устанавливаются насосы завышенной производительности и напора, которые работают на подключенную сеть с низким кпд, с большим перерасходом электрической энергии.

Для обеспечения экономичной работы насосного оборудования наиболее простым является способ обточки рабочего колеса.

Подбираемый насос должен иметь или расчетный напор, или превосходить его не более чем на 10%. В противном случае необходимо произвести обточку рабочего колеса.

Принятые обозначения в программе.

НОВ - необходимый напор насоса, м;

QOB - необходимая подача насоса, м³/ч;

C0, C1, C2 - коэффициенты основной характеристики насоса $H = f(Q)$;

N0 - мощность насоса при нулевой подаче, кВт;

QR - расчетная подача насоса при максимальном кпд, м³/ч;

HR - расчетный напор насоса при максимальном кпд, м.в.ст.;

N - число оборотов насоса, об/мин;

A - начальное значение подачи насоса для построения характеристики, м³/ч;

B - конечное значение подачи для построения характеристики, м³/ч;

S - шаг подачи, м³/ч;

P0, P1, P2, P3, P4 - коэффициенты полинома для кпд;

PLOTN - плотность жидкости, кг/м³.

- приложение А.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																

Программа "Обрезка колеса насоса"

Исходные данные

НОВ=	50
QОВ=	200
D=	405
C0=	51,55149
C1=	4,206958E-02
C2=	-1,601739E-04
N0=	17,07069
BX=	2
QR=	275
HR=	53
N=	1450
A=	0
B=	400
S=	50
P0=	4,751734E-03
P1=	7,195087E-03
P2=	-2,597132E-05
P3=	4,874137E-08
P4=	-4,568454E-11
PLOTN=	1000,0

Результаты расчета

NS=	52,65674973
Обр.доп.-недоп.	Обт.доп.
DOB=	391,8801575
C0OB=	48,26560211
C1OB=	0,04070675
C2OB=	-0,000160174
P0OB=	-0,003475716
P1OB=	0,007497444
P2OB=	-2,79687E-05
P3OB=	5,42473E-08
P4OB=	-5,25475E-11

Хар-ка НОВ=f(QОВ)

QОВ	НОВ
0	48,2656
50	49,90051
100	50,73454
150	50,7677
200	50
250	48,43142
300	46,06198
350	42,89166
400	38,92048

Хар-ка КПД=f(QОВ)

QОВ	КПД
0	-0,00348
50	0,307927
100	0,515574
150	0,648327
200	0,727166
250	0,76519
300	0,767614
350	0,731773
400	0,647118

Хар-ка НОВ=f(QОВ)

QОВ	НОВ
0	15,46485
50	22,07972
100	26,8151
150	32,00747
200	37,47424
250	43,11858
300	49,05545
350	55,90248
400	65,55734

Рисунок 1.4 - База исходных данных и результатов расчёта программы обрезка колеса

1.4 Изменение числа оборотов насоса

Самым эффективным способом регулирования насосов является регулирование изменением числа оборотов.

В настоящее время с применением частотного регулирования асинхронных двигателей требуется выполнение расчета изменения характеристик насосов.

Для проведения вычислений необходимо задать исходные данные.

N - исходное число оборотов в минуту;

N_1 - новое число оборотов в минуту;

H_{ATM} - напор, соответствующий атмосферному давлению, м;

H_{PAR} - напор, соответствующий давлению насыщенных паров, м;

A - начальное значение подачи для построения характеристик, м³/ч;

B - конечное значение подачи для построения характеристики, м³/ч;

S - шаг подачи, м³/ч;

D_{BC} - диаметр всасывающего патрубка насоса, м;

C_0, C_1, C_2 - коэффициенты полинома характеристики $H = f(Q)$;

A_0, A_1, A_2, A_3 - коэффициенты полинома характеристики $N = f(Q)$;

B_0, B_1, B_2, B_3, B_4 - коэффициенты полинома характеристики $\eta = f(Q)$;

D_0, D_1, D_2 - коэффициенты полинома характеристики $\Delta h_{oon} = f(Q)$.

- приложение А.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1																				
2		Пересчет характеристики насоса на новое число оборотов																		
3																				
4		Исходные данные			Результаты расчета			Хар-ка H1=f(Q1)			Хар-ка NN1=f(Q1)			Хар-ка КПД=f(Q1)			Хар-ка DHDOP=f(Q1)			
5																				
6		N=	2950,00	C01=	49,81879044	Q1	H1	Q1	NN1	Q1	КПД	Q1	DHDOP							
7		N1=	2900,00	C11=	0,041356537	0	49,81879	0	16,21732	0	0,004752	0	10,3874							
8		HATM=	10,00	C21=	-0,000160174	50	51,48618	50	23,80898	50	0,30963	50	7,537049							
9		HPAR=	0,24	C21=	-0,000160174	100	52,35271	100	30,52796	100	0,514334	100	5,42959							
10		A=	0,00	A01=	16,21731758	150	52,41836	150	36,48538	150	0,646338	150	4,065021							
11		B=	400,00	A11=	0,161301047	200	51,68314	200	41,79236	200	0,725777	200	3,443341							
12		S=	50,00	A21=	-0,000196763	250	50,14706	250	46,56002	250	0,765449	250	3,564552							
13		DBC=	0,20	A31=	1,48167E-07	300	47,8101	300	50,89951	300	0,770814	300	4,428653							
14		C0=	51,551490	B01=	0,004751734	350	44,67228	350	54,92192	350	0,739995	350	6,035644							
15		C1=	4,20696E-02	B11=	0,00731914	400	40,73358	400	58,7384	400	0,663777	400	8,385524							
16		C2=	-1,60174E-04	B21=	-2,68746E-05															
17		A0=	17,070690	B31=	5,13062E-08															
18		A1=	0,1669111	B41=	-4,89176E-11															
19		A2=	-2,001550E-04	D01=	10,38739872															
20		A3=	1,481667E-07	D11=	-0,064435884															
21		B0=	4,751734E-03	D21=	0,000148578															
22		B1=	7,195087E-03																	
23		B2=	-2,597132E-05																	
24		B3=	4,874137E-08																	
25		B4=	-4,568454E-11																	
26		D0=	1,040915E+01																	
27		D1=	-6,554685E-02																	
28		D2=	1,485780E-04																	
29																				
30																				
31																				

Рисунок 1.5 - База исходных данных и результатов расчёта программы изменения числа оборотов насоса

Выводы по главе 1

1. Разработана для практического применения компьютерная программа для устранения разбалансировки тепловых сетей.
2. Разработана программа построения полиномов наилучшего приближения для характеристик насосов и получения характеристик параллельно соединенных насосов.
3. Разработана программа построения характеристик центробежных насосов для обточки колес.
4. Разработана программа построения характеристик насосов для изменения числа оборотов колеса.

2 Разработка технических решений для определения оптимальных толщин изоляции теплопроводов с совместным учетом энергетических и экономических показателей и фактора разбалансированности

2.1 Общие сведения и принципы для определения оптимальных толщин изоляции теплопроводов

В современных условиях необходимым фактором экономически эффективного функционирования промышленных предприятий, а также предприятий, снабжающих теплом различных потребителей, и, в первую очередь, ЖКХ, является рациональное использование тепловой энергии. От качества теплоизоляционной конструкции теплопровода зависит значение тепловых потерь с поверхности трубопроводов и его долговечность, так как эта конструкция одновременно защищает наружную поверхность трубы от коррозии.

В связи с этим становится актуальной проблема расчета потерь теплоты при транспортировке теплоносителя с учетом влияющих факторов, а также определение наиболее эффективной конструкции теплопроводов, которая обеспечивает экономически обоснованные потери теплоты. Определяющая роль в снижении тепловых потерь промышленного оборудования и теплоизолированных трубопроводов принадлежит тепловой изоляции. К сожалению, обычно требуемая толщина теплоизоляции вообще не рассчитывается, это характерно как для промышленных предприятий, так и МУП ЖКХ.

В настоящее время толщину теплоизоляции технологических трубопроводов и тепловых сетей определяют в соответствии с нормативными документами СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» и СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов».

В соответствии со СНиП 41-03-2003 теплоизоляционная конструкция должна обеспечивать нормативный уровень тепловых потерь при различных диаметрах для различных способов прокладки трубопроводов. При известной нормативной плотности теплового потока производится расчет соответственно нормативной толщины теплоизоляции, которая зависит от диаметра трубопровода, типа прокладки, температуры теплоносителя и других факторов. Очевидно, что СНиП учитывает лишь общие тенденции к ужесточению требований к потерям теплоты при транспортировке теплоносителя. При этом сложно учесть влияние всех факторов, особенно экономических, для всего перечня диаметров трубопроводов, поэтому определение требуемой толщины теплоизоляции, обеспечивающей нормативные потери теплоты, не всегда является экономически обоснованным.

Толщина теплоизоляции, рассчитанная по нормативным потерям с поверхности трубопроводов, не предусматривает изменения теплофизических свойств материала с течением времени, увлажнения материала в процессе эксплуатации, а также не учитывает тарифов на тепловую энергию и стоимость теплоизоляционных материалов. Поэтому более эффективным в современных условиях представляется переход к практике гибкого нормирования, учитывающего конъюнктуру цен на тепловую энергию и теплоизоляционные материалы, а также специфику условий эксплуатации теплоизоляционных конструкций, характерных для различных регионов страны.

Все эти факторы, а также влияние стоимости тепловой изоляции и стоимости потерянной теплоты учтены при расчете оптимальной толщины теплоизоляции и реализованы в компьютерной программе, позволяющей достаточно просто, при наборе исходных данных определить оптимальную для данных условий толщину теплоизоляции с учетом фактора времени, ухудшения теплопроводности изоляционного материала, а также изменения с течением времени тарифов на тепловую энергию.

При заданной стоимости тепла и теплоизоляционного материала оптимальная толщина изоляционного слоя рассчитывается по минимуму годовых затрат. Однако следует учесть, что при наличии возможности выбора типа и марки теплоизоляционных и защитно-покровных материалов экономически оптимальное техническое решение принимается на основе сопоставления минимальных годовых затрат при использовании различных вариантов теплоизоляционных конструкций.

В программе реализован алгоритм определения оптимальной толщины теплоизоляции трубопровода путем сравнения затрат на теплотери на последовательно выполняемых шагах.

Критерием оптимизации оптимальной толщины изоляции служит минимальное значение суммарных затрат на тепловую изоляцию и тепловые потери. Цикл реализуется до тех пор, пока каждое предыдущее значение годовых издержек меньше следующего. Как только величина годовых издержек становится больше предыдущей – величина оптимальной толщины изоляции найдена.

Принципиальные зависимости для определения оптимальной толщины теплоизоляции приведены на рисунке 2.1. С ростом толщины изоляции соответственно возрастают издержки на покупку материала теплоизоляции, и уменьшаются издержки на потери теплоты с поверхности трубопроводов. Суммарный график издержек на тепловые потери и покупку материала теплоизоляции имеет минимум, которому соответствует оптимальное значение толщины теплоизоляции.

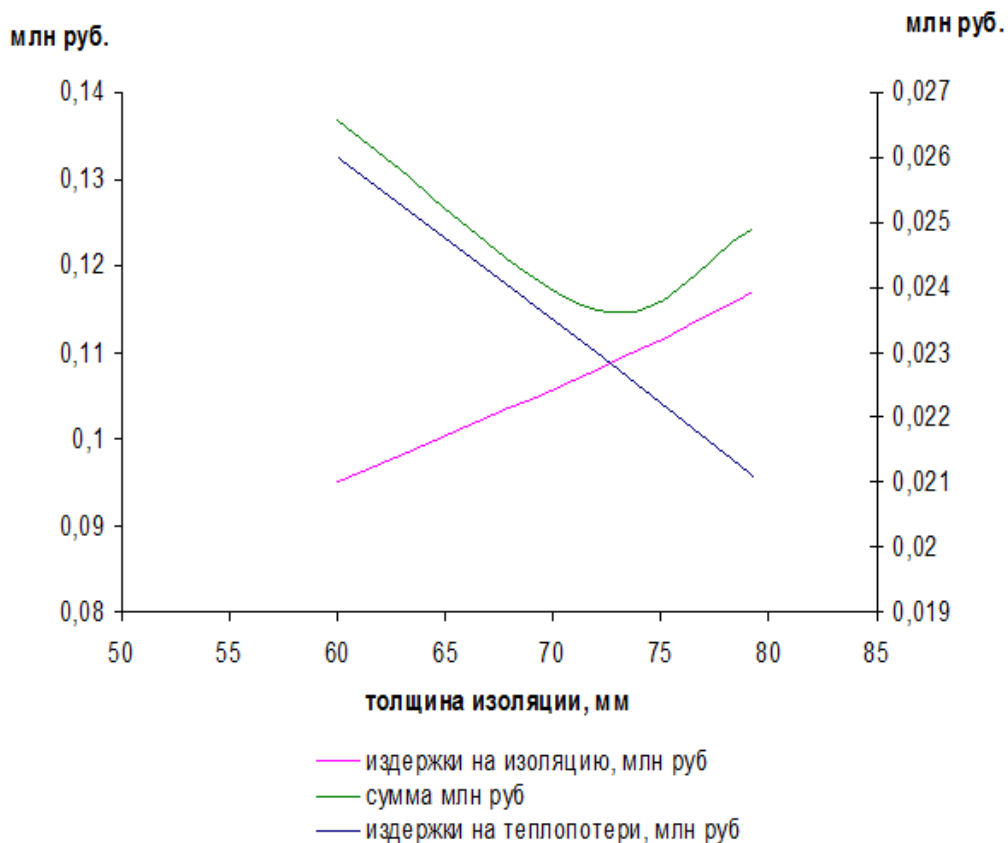
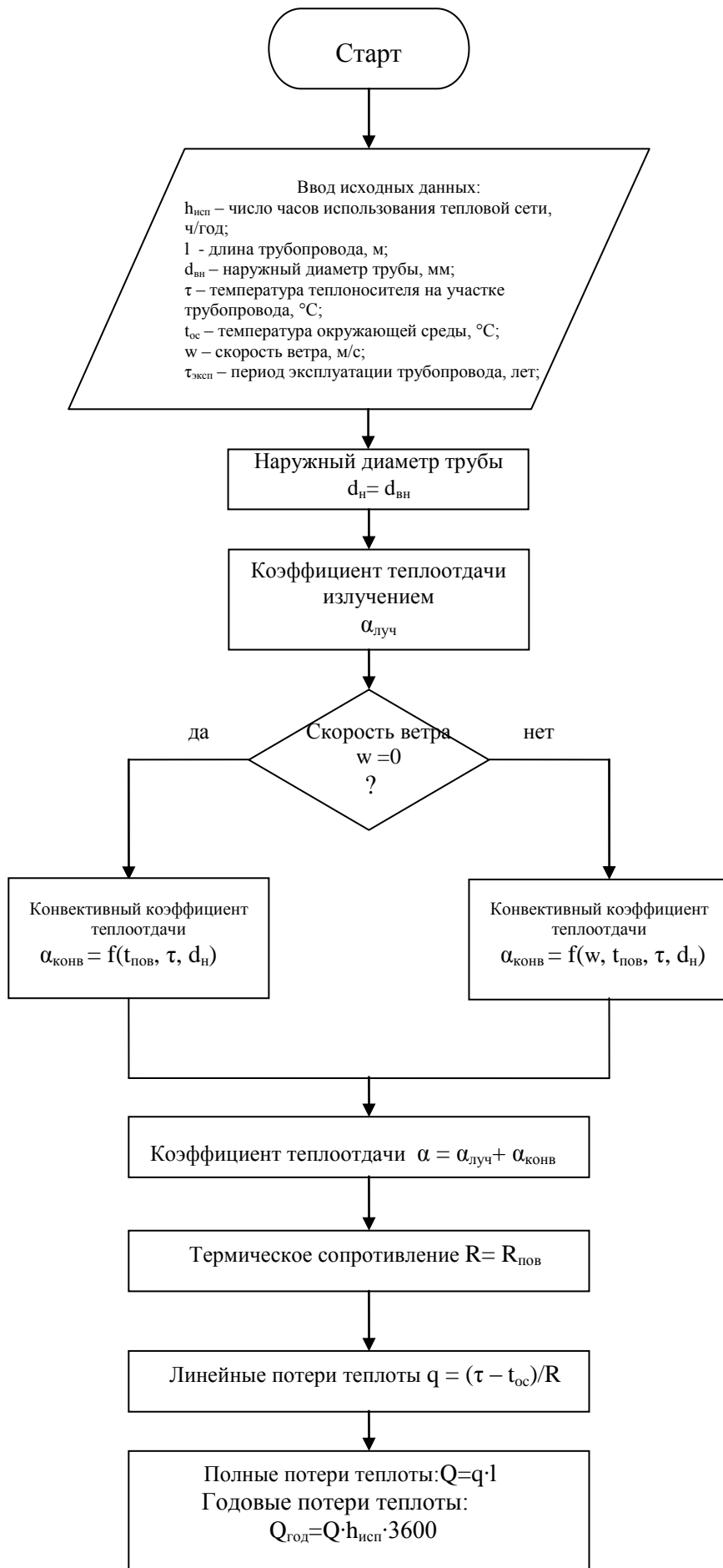


Рисунок 2.1 - Оптимизация толщины изоляции

Для практических расчетов оптимальной толщины теплоизоляции трубопроводов создана компьютерная программа, которая позволяет за короткое время при наличии ряда исходных данных определить оптимальную толщину теплоизоляции для данных конкретных условий работы трубопровода с учетом основных влияющих факторов. Расчет возможен для различных видов прокладки трубопроводов: надземной (воздушной), подземной бесканальной и подземной канальной, как однострунной, так и двухтрубной. В каждом случае используются соответствующие типу прокладки трубопроводов формулы для расчета процесса теплообмена и определения оптимальной толщины тепловой изоляции.

Для нахождения конкретных технических решений в результате определения оптимальных толщин изоляции теплопроводов были разработаны алгоритмы программ.

Блок-схемы алгоритмов определения оптимальной толщины теплоизоляции для различных способов прокладки трубопровода приведены на рисунках 2.2 – 2.5.



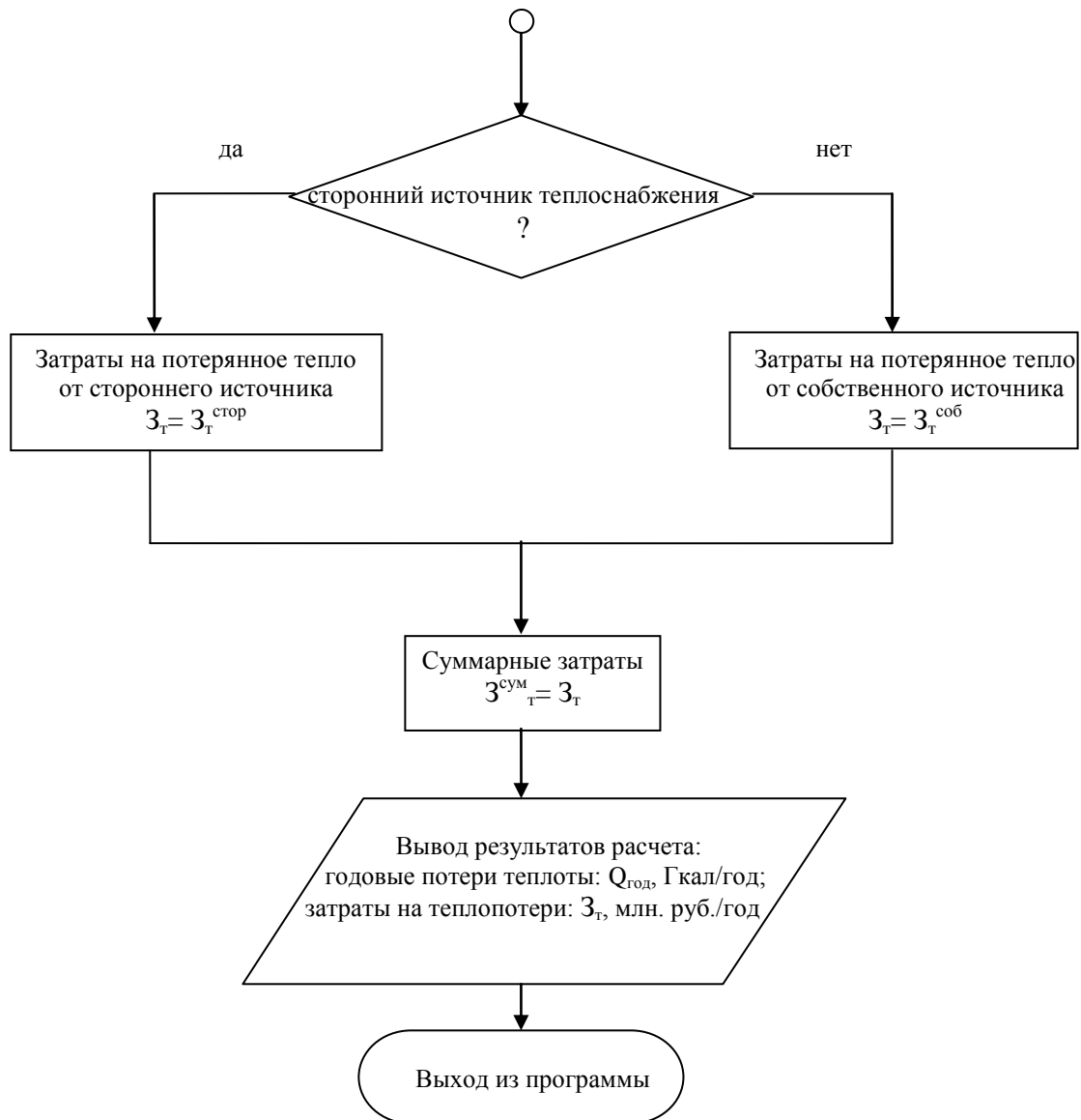
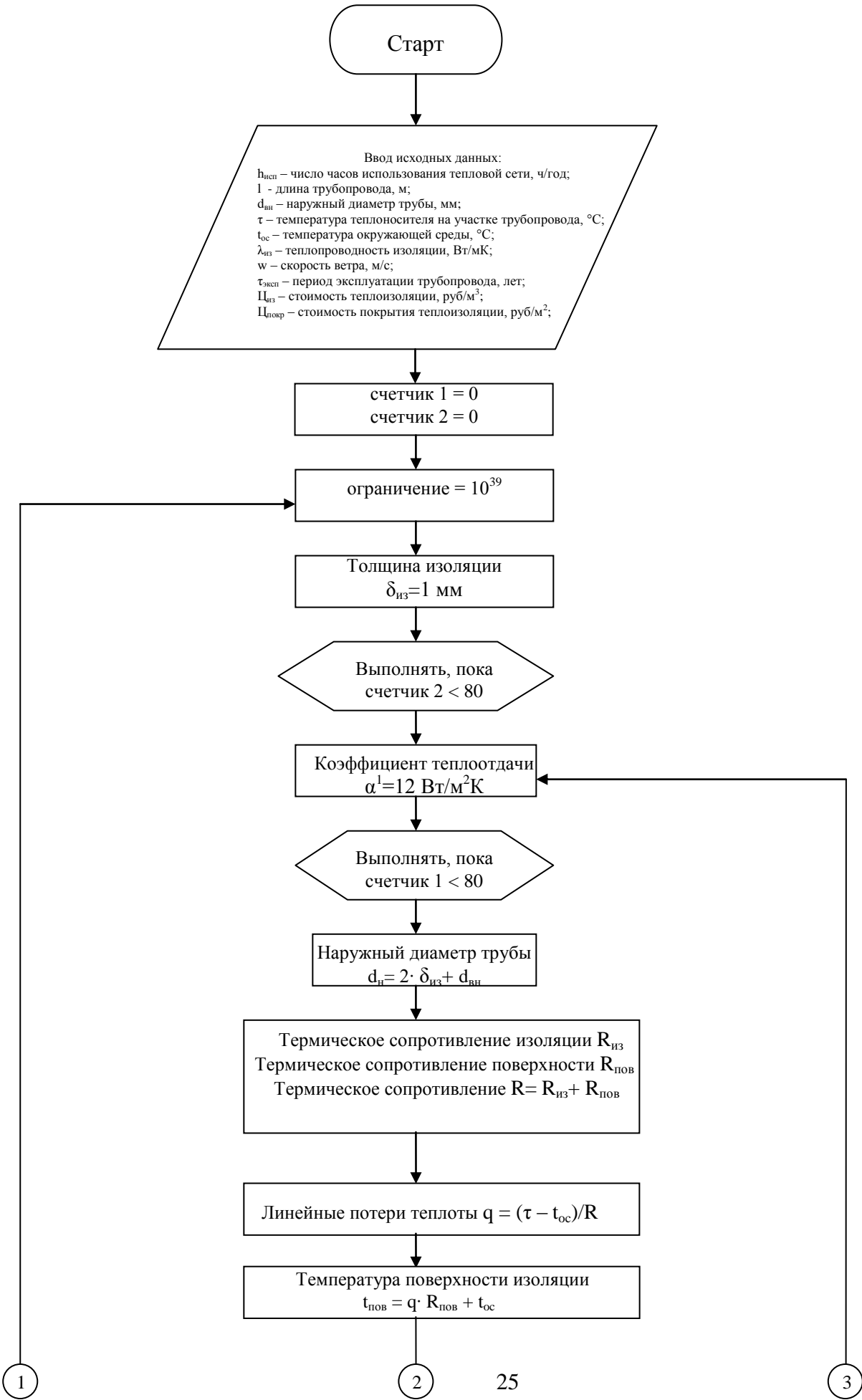
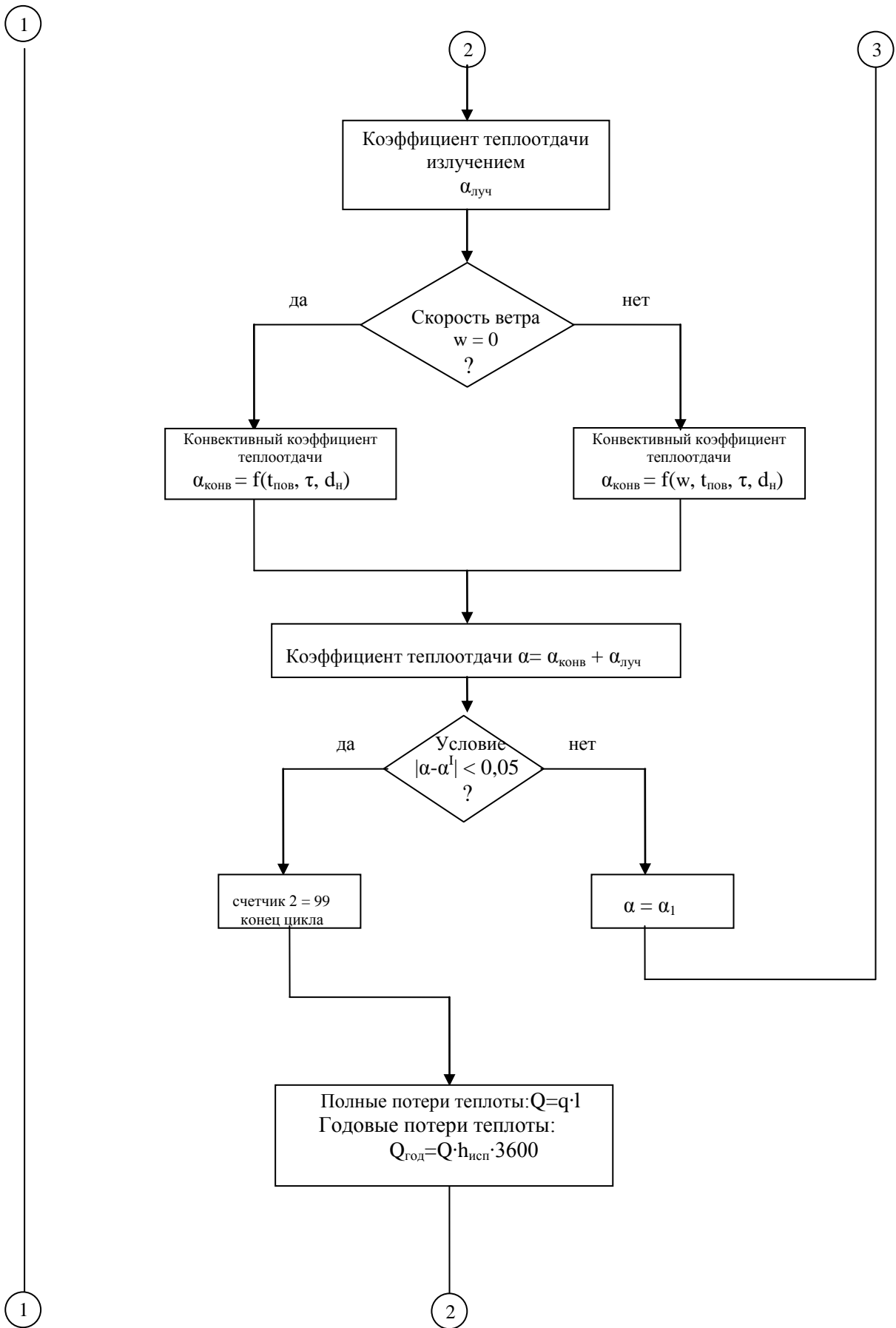
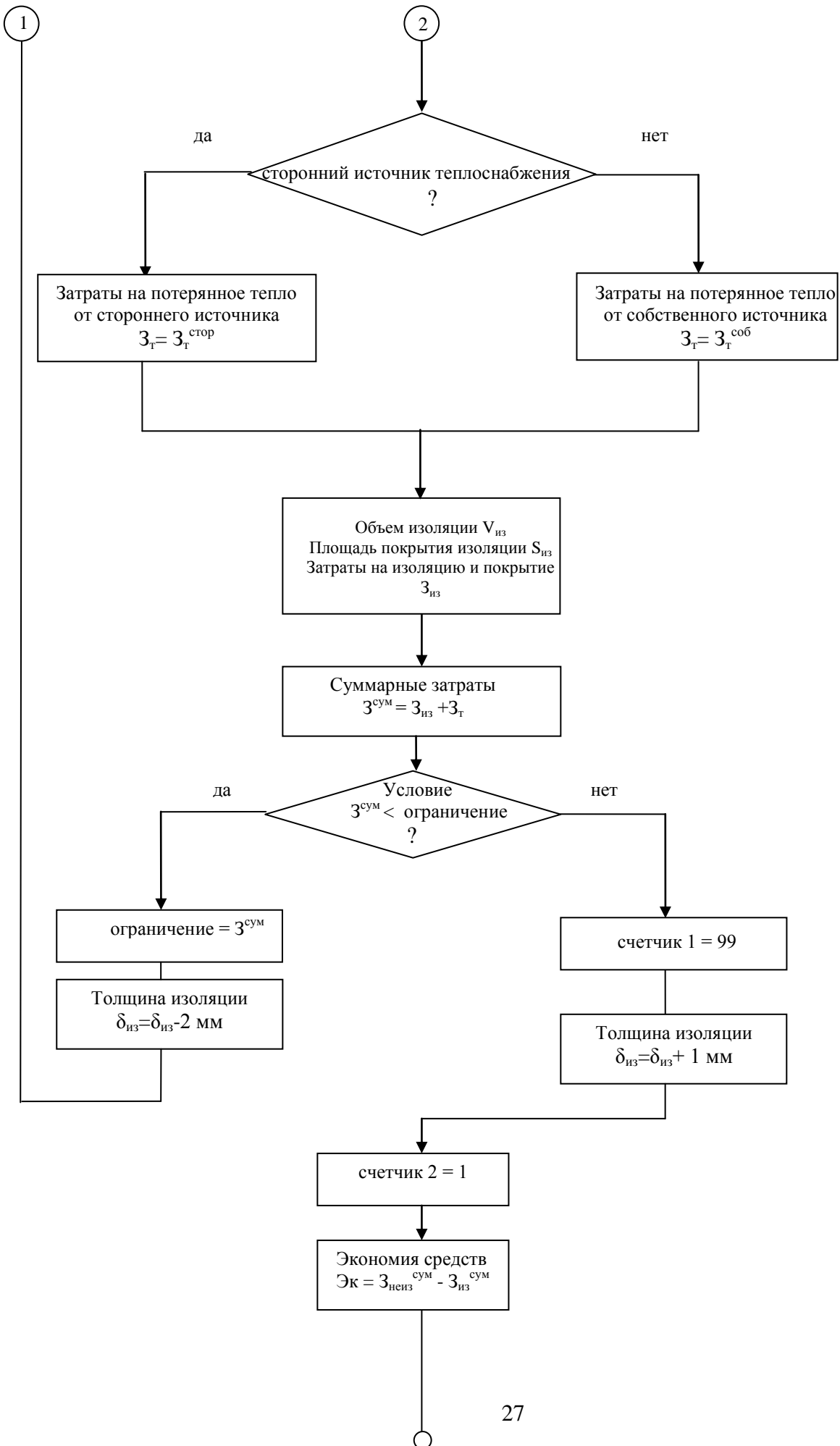


Рисунок 2.2 – Блок-схема определения потерь теплоты с неизолированных участков трубопроводов.







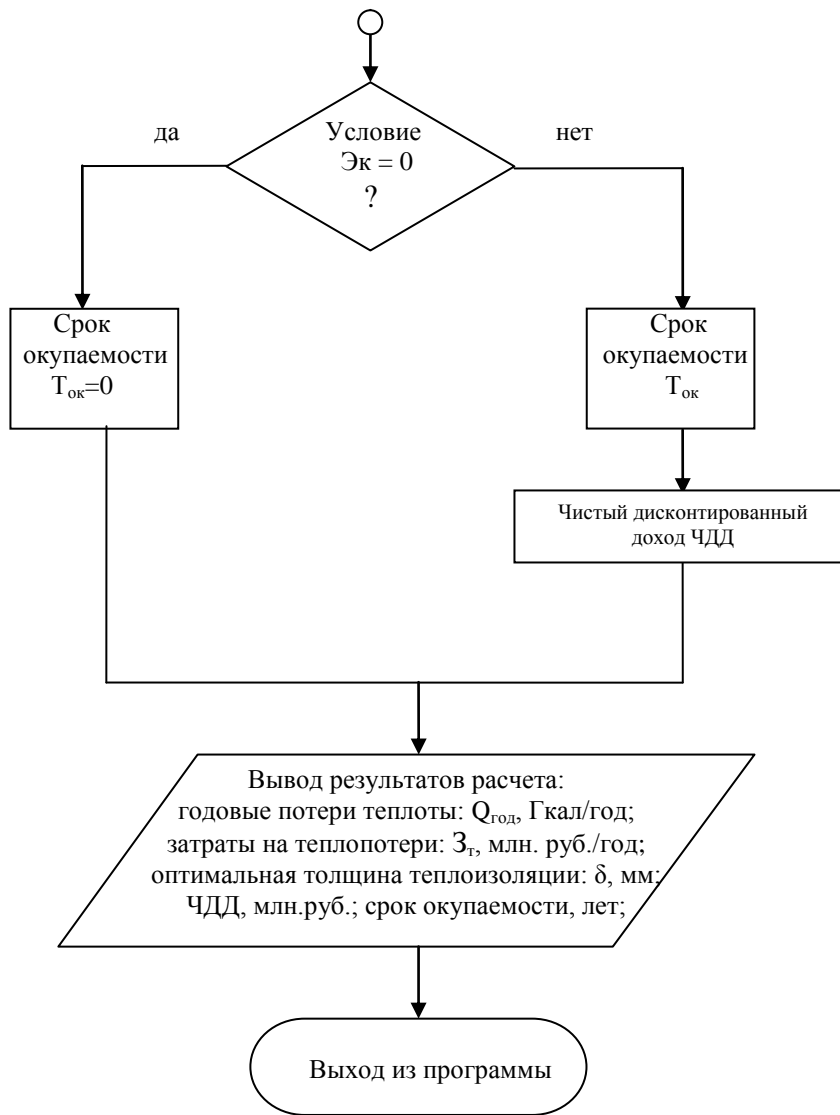


Рисунок 2.3 – Блок-схема определения оптимальной толщины теплоизоляции при надземном способе прокладки трубопроводов.

Старт

Ввод исходных данных:
 $h_{исп}$ – число часов использования тепловой сети, ч/год;
 l – длина трубопровода, м;
 $d_{вн}$ – наружный диаметр трубы, мм;
 τ – температура теплоносителя на участке трубопровода, °C;
 $t_{гр}$ – температура грунта на глубине заложения оси трубопровода, °C;
 $\lambda_{из}$ – теплопроводность изоляции, Вт/мК;
 $\lambda_{гр}$ – теплопроводность грунта, Вт/мК;
 $\tau_{эсп}$ – период эксплуатации трубопровода, лет;
 h – глубина заложения оси трубопровода, м;
 b – расстояние между осями подающего и обратного трубопроводов, м;
 $C_{из}$ – стоимость теплоизоляции, руб/м³;
 $C_{покп}$ – стоимость покрытия теплоизоляции, руб/м²;

ограничение = 10^{39}

Цикл для:
толщина изоляции (шаг 1 мм)
подающий $\delta_{из}^{под}$ – от 1 мм до 50 мм
обратный $\delta_{из}^{обр}$ – от 1 мм до 50 мм

Наружный диаметр трубы
 $d_{н}^{под} = 2 \cdot \delta_{из}^{под} + d_{вн}^{под}$
 $d_{н}^{обр} = 2 \cdot \delta_{из}^{обр} + d_{вн}^{обр}$

Термическое сопротивление изоляции $R_{из}^{под}, R_{из}^{обр}$
Термическое сопротивление грунта $R_{гр}^{под}, R_{гр}^{обр}$
Суммарное термическое сопротивление $R^{под} = R_{из}^{под} + R_{гр}^{под}$
 $R^{обр} = R_{из}^{обр} + R_{гр}^{обр}$
Термическое сопротивление, учитывающее взаимное влияние труб друг на друга, R_0

Линейные потери теплоты $q^{под}, q^{обр}$

Полные потери теплоты: $Q = q \cdot l$
Годовые потери теплоты:
 $Q_{год} = Q \cdot h_{исп} \cdot 3600$

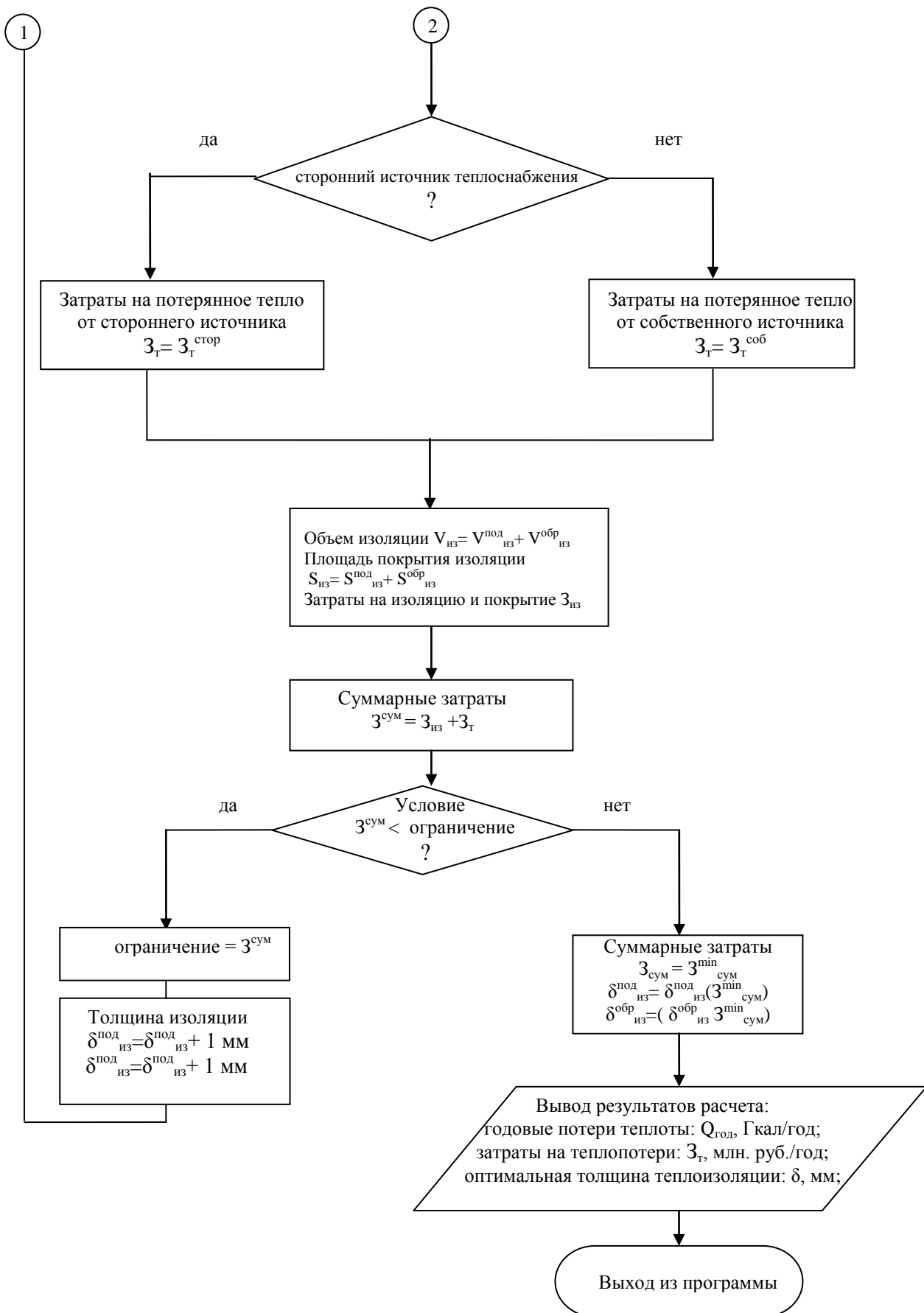


Рисунок 2.4 – Блок-схема для определения оптимальной толщины теплоизоляции при подземном бесканальном способе прокладки трубопроводов.

Старт

Ввод исходных данных:

$h_{исп}$ – число часов использования тепловой сети, ч/год;
 l – длина трубопровода, м;
 $d_{вн}$ – наружный диаметр трубы, мм;
 τ – температура теплоносителя на участке трубопровода, °С;
 $t_{гр}$ – температура грунта на глубине заложения оси теплопровода, °С;
 $\lambda_{из}$ – теплопроводность изоляции, Вт/мК;
 $\lambda_{кан}$ – теплопроводность материала канала, Вт/мК;
 $\lambda_{гр}$ – теплопроводность грунта, Вт/мК;
 $\tau_{эсп}$ – период эксплуатации трубопровода, лет;
 h – глубина заложения оси теплопровода, м;
 b – расстояние между осями подающего и обратного трубопроводов, м
 $\Pi_{из}$ – стоимость теплоизоляции, руб/м³;
 $\Pi_{покр}$ – стоимость покрытия теплоизоляции, руб/м²;

ограничение = 10^{39}

Цикл для:
толщина изоляции (шаг 1 мм)
подающий $\delta_{из}^{под}$ – от 1 мм до 50 мм
обратный $\delta_{из}^{обр}$ – от 1 мм до 50 мм

Наружный диаметр трубы
 $d_n^{под} = 2 \cdot \delta_{из}^{под} + d_{вн}^{под}$
 $d_n^{обр} = 2 \cdot \delta_{из}^{обр} + d_{вн}^{обр}$
эквивалентный диаметр
канала $d^{экр}$

Термическое сопротивление изоляции $R_{из}^{под}, R_{из}^{обр}$
Термическое сопротивление поверхности изоляции $R_{п.из}^{обр}, R_{п.из}^{под}$
Термическое сопротивление грунта $R_{гр}^{под}, R_{гр}^{обр}$
Термическое сопротивление канала $R_{кан}$
Термическое сопротивление поверхности канала $R_{п.кан}$
Суммарное термическое сопротивление:
 $R^{под} = R_{п.кан} + R_{кан} + R_{п.из}^{под} + R_{из}^{под} + R_{гр}^{под}$
 $R^{обр} = R_{п.кан} + R_{кан} + R_{п.из}^{обр} + R_{из}^{обр} + R_{гр}^{обр}$

Линейные потери теплоты $q^{под}, q^{обр}$

Полные потери теплоты: $Q = q \cdot l$
Годовые потери теплоты:
 $Q_{год} = Q \cdot h_{исп} \cdot 3600$

1

2

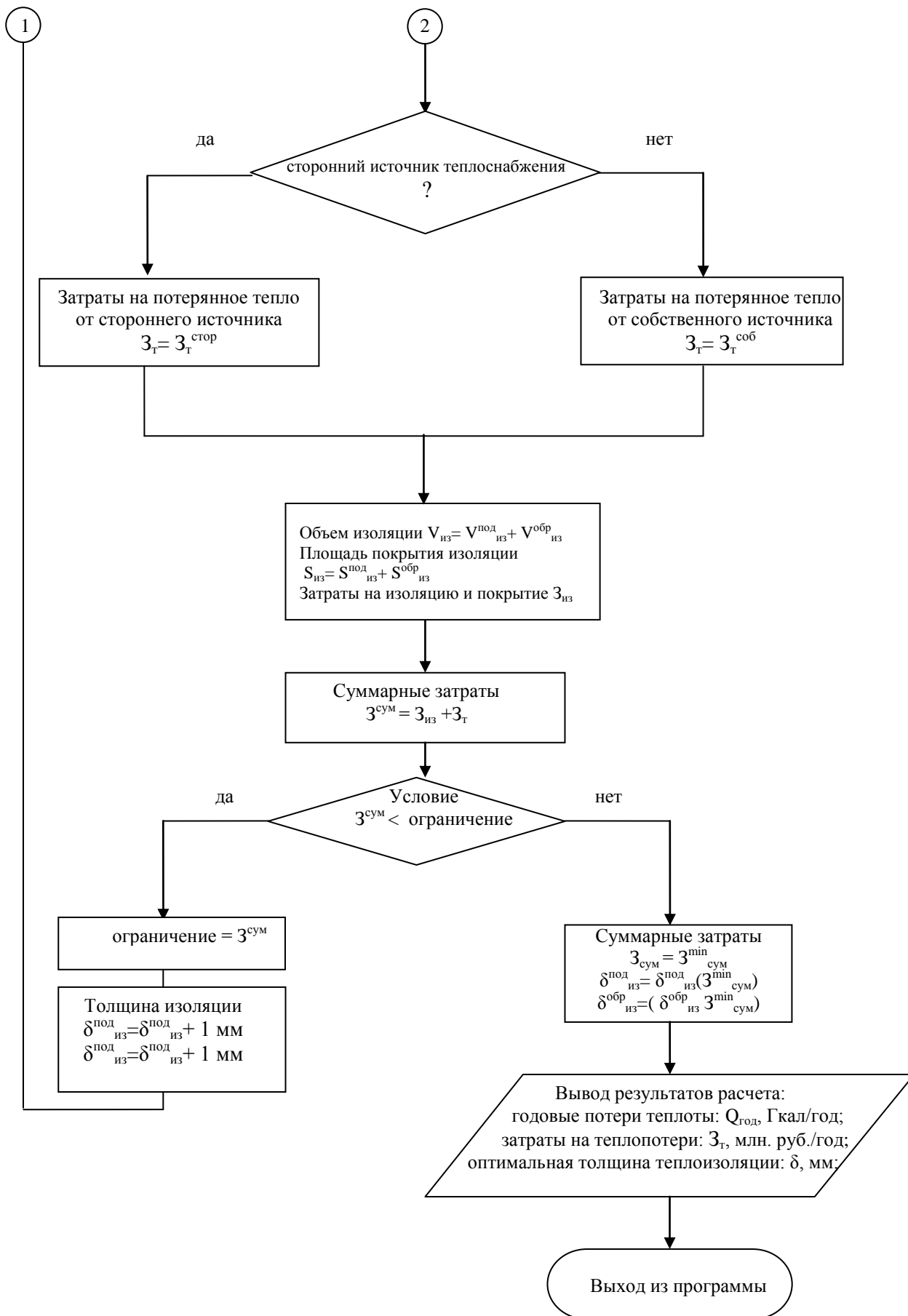


Рисунок 2.5 – Блок-схема для определения оптимальной толщины теплоизоляции при подземном канальном способе прокладки трубопроводов.

2.2 Технические решения по оптимизации толщин изоляции теплопроводов с совместным учетом энергетических и экономических показателей и фактора разбалансированности

Как показали исследования, в каждом конкретном случае рекомендуемые технические решения по толщине теплоизоляции теплопроводов будут зависеть от набора исходных данных.

Расчеты показали, что на величину оптимальной толщины теплоизоляции влияют такие факторы, как температура теплоносителя, диаметр трубопровода, теплопроводность теплоизоляционного материала и ее изменение в процессе эксплуатации, температура окружающей среды, срок эксплуатации трубопровода, стоимость материала теплоизоляции, тарифы на тепловую энергию и другие.

Исключительно большое влияние на определение оптимальной толщины тепловой изоляции оказывает принадлежность источника тепла. В случае стороннего источника величина экономии рассчитывается с учетом стоимости единицы тепла. Если же источник тепла принадлежит организации, ведущей работы по замене тепловой изоляции трубопроводов различного назначения или проектированию новых тепловых сетей, расчеты проводятся с учетом стоимости сэкономленного топлива. Принадлежность источника тепла может оказать большое влияние на выбор оптимальной толщины изоляции.

Также большое влияние на величину оптимальной толщины теплоизоляции оказывают исходные условия решаемой задачи, а именно стоимость теплоизоляции. Так, например, стоимость предизолированных труб в пенополиуретановой теплоизоляции будет существенно отличаться от стоимости скорлуп ППУ. Таким образом, будет различаться и величина оптимальной толщины теплоизоляции. Исходные данные для определения оптимальной толщины теплоизоляционной конструкции должны определяться исходя из проекта по прокладке нового или изоляции существующего трубопровода. Ниже представлены примеры технических решений применительно к конкретным ситуациям и условиям эксплуатации для определения оптимальных толщин теплоизоляции при различных способах прокладки трубопроводов для ряда влияющих факторов с учетом стоимости трубопроводов.

- *зависимость технических решений для определения оптимальной толщины теплоизоляции от материала изоляции (ее теплопроводности) при надземной прокладке*

Исходные данные:

- внешний диаметр трубопровода: 219 мм;

- температура теплоносителя: 50; 100; 110 °С;
- скорость ветра: 3,8 м/с;
- температура окружающей среды: 4,1 °С;
- число часов использования трубопровода: 8000 ч;
- расчетный период эксплуатации: 10 лет;
- стоимость тепловой энергии: 250 руб/ГДж;
- коэффициент удорожания теплоты: 1,05;
- константа работоспособности: 0,007;
- теплоснабжение от стороннего источника;

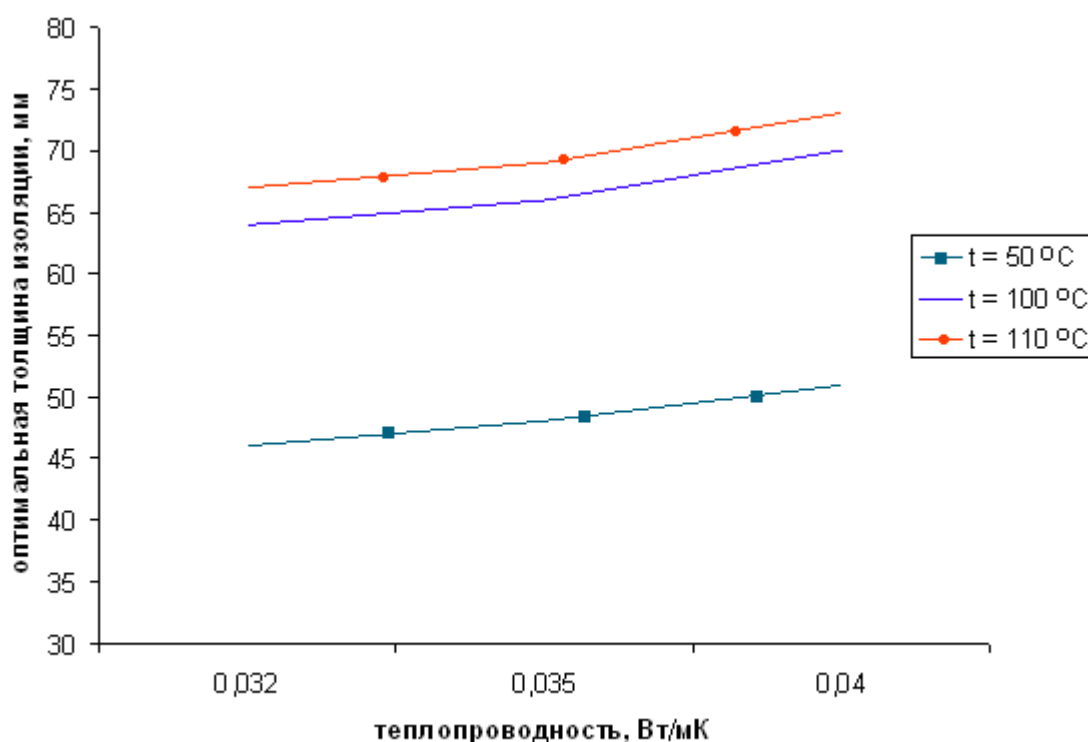


Рисунок 2.6 - Зависимость оптимальной толщины изоляции от теплопроводности материала

Для исходных данных данного примера найдены технические решения по оптимальной толщине теплоизоляции. Из графиков видно, что оптимальная толщина теплоизоляции увеличивается при снижении термического сопротивления теплоизоляционной конструкции и увеличении теплопроводности материала теплоизоляции, толщина слоя теплоизоляции растет с ростом температуры теплоносителя, что связано с ростом тепловых потерь с поверхности трубопровода. Как видно из графиков, например, для трубопровода с температурой теплоносителя 100°С, приведенном наборе исходных данных и коэффициенте теплопроводности теплоизоляции от 0,032 до 0,04 Вт/(м К), техническим решением по оптимальной толщине теплоизоляции будут

величины от 64-70 мм. Из приведенного графика можно также найти технические решения, аналогичные приведенным, для других температур теплоносителя.

- **зависимость технических решений оптимальной толщины изоляции от температуры теплоносителя, надземная прокладка**

Исходные данные:

- внешний диаметр трубопровода: 219 мм;
- материал теплоизоляции:
 - пенополиуретан с $\lambda_{нач}=0,032$ Вт/м·К;
 - пенополистирол с $\lambda_{нач}=0,038$ Вт/м·К;
 - минеральная вата с $\lambda_{нач}=0,05$ Вт/м·К;
- скорость ветра: 3,8 м/с;
- температура окружающей среды: 4,1 °С;
- число часов использования трубопровода в год: 8000 ч;
- расчетный период эксплуатации: 10 лет;
- стоимость тепловой энергии: 250 руб/ГДж;
- коэффициент удорожания теплоты: 1,05;
- константа работоспособности: пенополиуретан, пенополистирол 0,007;
минеральная вата 0,018
- теплоснабжение от стороннего источника;

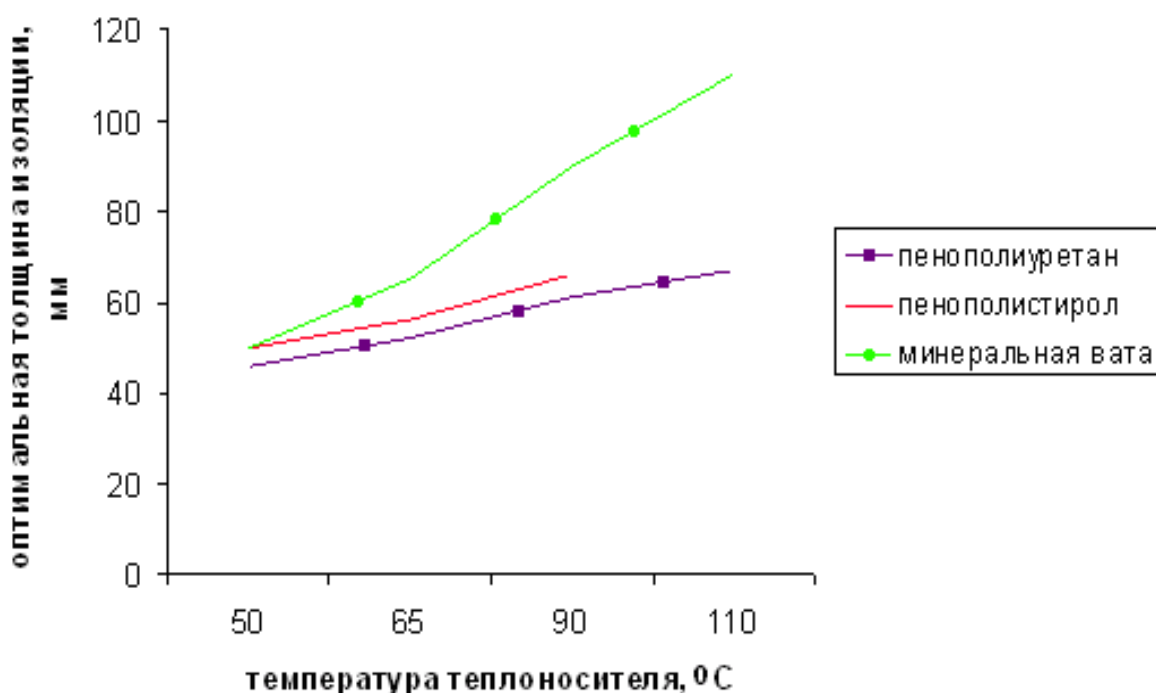


Рисунок 2.7 - Зависимость оптимальной толщины изоляции от температуры теплоносителя

С ростом температуры теплоносителя и теплопроводности теплоизоляционного материала увеличивается оптимальная толщина теплоизоляции. Теплоизоляция из пенополиуретана, обладая хорошими теплозащитными свойствами, показывает наименьшие значения оптимальной толщины теплоизоляции.

- ***зависимость технических решений для определения оптимальной толщины изоляции от срока эксплуатации, подземная бесканальная прокладка***

Исходные данные:

- внешний диаметр трубопроводов: 219 мм;
- теплопроводность теплоизоляции:
 $\lambda_{нач1}=0,032$ Вт/м·К;
 $\lambda_{нач2}=0,035$ Вт/м·К;
- теплопроводность грунта $\lambda_{гр}=1,36$ Вт/м·К;
- глубина прокладки оси теплотрассы 1,5 м;
- температурный график 65/50 °С;
- расстояние между трубами 1 м;
- температура грунта: 7,4 °С;
- число часов использования трубопровода в год: 8000 ч;
- расчетный период эксплуатации: 10 лет;
- стоимость тепловой энергии: 250 руб/ГДж;
- коэффициент удорожания теплоты: 1,05;
- константа работоспособности: 0,000165;
- теплоснабжение от стороннего источника;

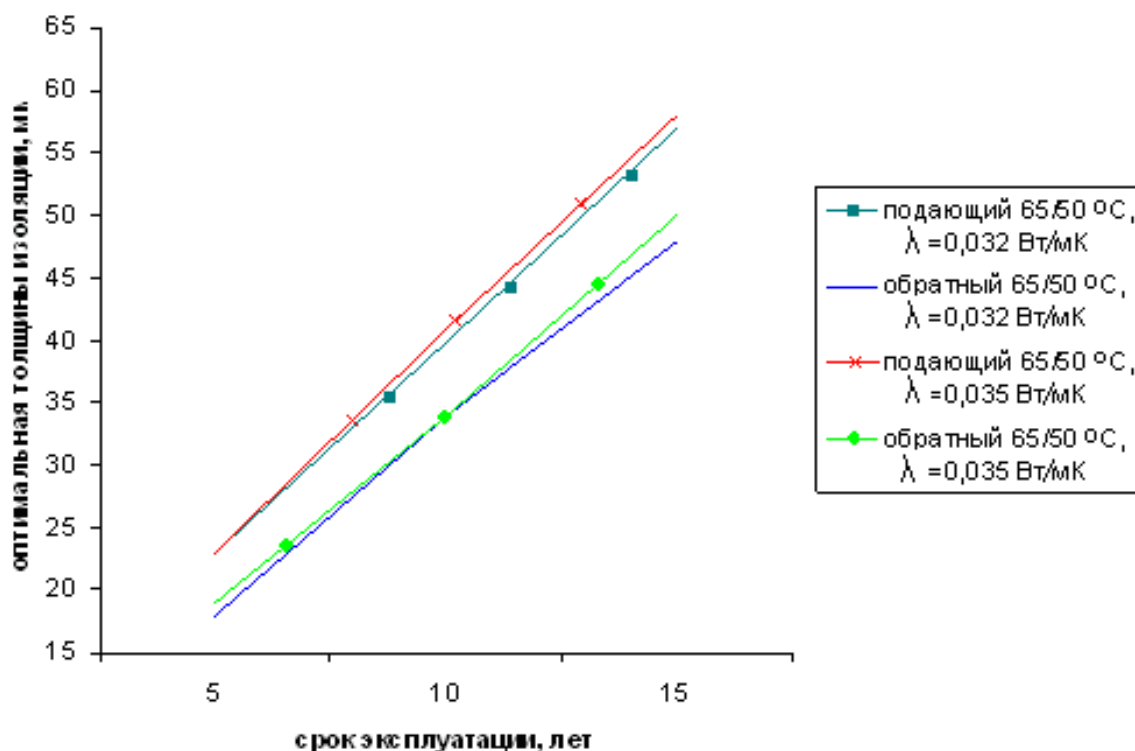


Рисунок 2.8 - Зависимость оптимальной толщины изоляции от срока эксплуатации трубопровода при подземной бесканальной прокладке

Из графиков видно, что при увеличении расчетного срока эксплуатации теплоизоляционной конструкции в 2 раза, в 1,5 - 2 раза может возрасти значение оптимальной толщины теплоизоляции. Предлагаемые технические решения учитывают, что в процессе эксплуатации снижаются теплозащитные свойства материала, и увеличивается коэффициент теплопроводности теплоизоляции, соответственно, возрастают тепловые потери с поверхности трубопровода, и возрастает значение требуемой толщины теплоизоляции.

- **зависимость технических решений по определению оптимальной толщины изоляции от температуры грунта, подземная бесканальная прокладка**

Исходные данные:

- внешний диаметр трубопроводов: 219 мм;

- теплопроводность теплоизоляции:

$$\lambda_{нач1}=0,032 \text{ Вт/м}\cdot\text{К};$$

$$\lambda_{нач2}=0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{К};$$

- теплопроводность грунта $\lambda_{гр}=1,36 \text{ Вт/м}\cdot\text{К};$

- глубина прокладки оси теплотрассы 1,5 м;

- температурный график 65/50 °C;

- расстояние между трубами 1 м;
- число часов использования трубопровода в год: 8000 ч;
- расчетный период эксплуатации: 10 лет;
- стоимость тепловой энергии: 250 руб/ГДж;
- коэффициент удорожания теплоты: 1,05;
- константа работоспособности: 0,000165;
- теплоснабжение от стороннего источника;

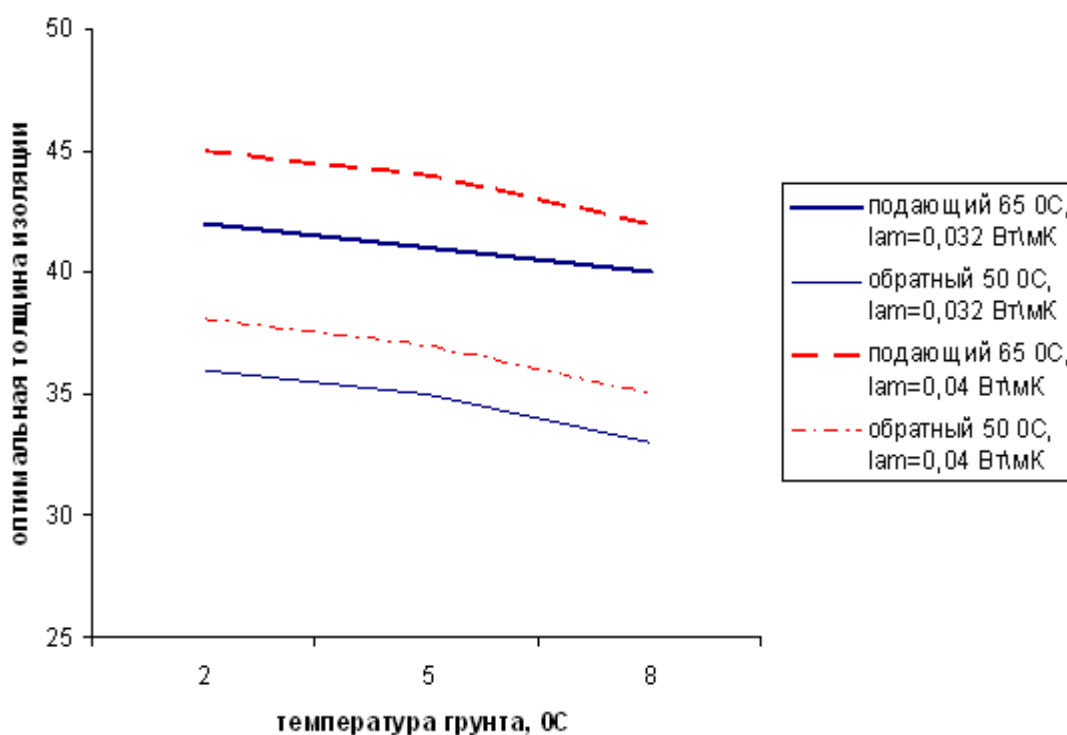


Рисунок 2.9 - Зависимость оптимальной толщины изоляции от температуры грунта при подземной бесканальной прокладке

С ростом среднегодовой температуры грунта уменьшается значение оптимальной толщины теплоизоляции, так как снижаются тепловые потери в окружающую среду. При увеличении температуры теплоносителя требуемая толщина теплоизоляции возрастает. Следует заметить, что зависимость очень слабая и практические технические решения в широком диапазоне изменения среднегодовых значений температур грунта отличаться не будут.

Таким образом, на технические решения, полученные в результате определения оптимальной толщины теплоизоляции влияет ряд факторов, как экономических, таких, как стоимость тепловой изоляции, тариф на тепловую энергию, так эксплуатационных, таких, как

способ прокладки трубопровода, температура теплоносителя, температура окружающей среды и других.

Скорейшее внедрение в практику проектирования тепловой изоляции оборудования и трубопроводов программы для расчета оптимальной толщины изоляции для данных климатологических и экономических условий региона, учитывающих фактические цены на тепловую энергию и теплоизоляционные материалы в промышленности и ЖКХ, направлено на экономию топливно-энергетических ресурсов и является реальным, быстро окупающимся мероприятием по реализации программы энергосбережения. Программа – это средство и важный компонент технических решений по определению оптимальной толщины тепловой изоляции в конкретных эксплуатационных условиях.

Внешний вид окна ввода данных разработанной программы приведен на рисунке 2.13 – для надземной прокладки, на рисунке 2.14 – подземной канальной и бесканальной.

Длина, м	Внеш. диаметр трубопровода, мм	Температура теплоносителя, С	Теплопроводность изоляции Вт/м*К	Прежняя величина толщины изоляции мм	Стоимость изоляции, руб/м3	Стоимость покрытия изоляции, руб/м2
10	219	65	0.036	0	50000	300
10	219	100	0.036000	0	50000	300
10	219	150	0.036000	0	50000	300
10	219	50	0.035000	0	50000	300
10	219	100	0.035000	0	50000	300
10	219	110	0.035000	0	50000	300
10	219	50	0.040000	0	50000	300
10	219	100	0.040000	0	50000	300
10	219	110	0.040000	0	50000	300
10	219	50	0.050000	0	50000	300

Теплоснабжение от:

собственной котельной

стороннего источника

Число часов использования трубопровода, часов в год: 8000

Скорость ветра, м/с: 3.8

Температура окружающей среды, С: 4.1

Срок эксплуатации, лет: 5

коэффициент удорожания теплоты: 1.05

коэффициент ухудшения свойств материала изоляции: 0.007

Стоимость тепловой энергии, руб/ГДж: 235

КПД котельной, в долях: 0.89

Теплотворная способность топлива кДж/куб. м: 30000

Стоимость газа, руб/тыс. куб. м: 3000

норма дисконтирования: 0.15

Выбор оптимальной толщины изоляции

Выход

Рисунок 2.13 - Внешний вид окна ввода данных для надземной прокладки трубопроводов.

Рисунок 2.14 - Внешний вид окна ввода данных для подземной канальной и бесканальной прокладки трубопроводов.

Для расчета и принятия конкретных технических решений по определению оптимальной толщины теплоизоляции как для нового проектируемого трубопровода, так и для существующего необходимо задать ряд исходных данных.

1) длина участка трубопровода, м – длина участка трубопровода, имеющего одинаковые параметры: вид прокладки (надземная, подземная канальная, подземная бесканальная), диаметр трубопровода и расход теплоносителя, среднегодовая температура теплоносителя;

2) среднегодовая температура теплоносителя, °С, определяемая для трубопроводов тепловых сетей по СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов» в зависимости от температурного графика тепловой сети либо среднегодовая температура теплоносителя для технологических трубопроводов;

3) диаметр трубопровода, мм – внешний диаметр трубопровода, определенный по ГОСТ после проведения гидравлического расчета трубопроводов и нахождения внутреннего диаметра трубопроводов;

Гидравлический расчет трубопроводов может быть проведен с помощью пакетов прикладных программ, таких как ZULU THERMO, GRAST и других.

4) теплопроводность теплоизоляционного материала, Вт/м·К – определяется в зависимости от используемого теплоизоляционного материала по СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов»;

5) стоимость теплоизоляционного материала и покрытия – текущая рыночная стоимость теплоизоляционного материала и покрытия, руб/м³, руб/м²;

6) параметры окружающей среды – среднегодовая скорость ветра, м/с, среднегодовая температура окружающего воздуха, °С, (при надземной прокладке), среднегодовая температура грунта на глубине прокладки оси трубопровода (при подземной прокладке), определяется по СНиП 21-01-99 «Строительная климатология»;

7) расчетный срок эксплуатации теплоизолированного трубопровода, лет – по техническим условиям для конкретного вида тепловой изоляции, информацию можно получить у производителя материала тепловой изоляции;

8) число часов использования трубопровода в год, ч/год;

9) стоимость покупаемой теплоты у теплоснабжающей организации, руб/ГДж – тариф на теплоту для потребителя в случае проведения расчетов для стороннего источника теплоты;

10) стоимость покупаемого природного газа, руб/тыс.м³, КПД источника теплоты (котельной) в долях и теплотворная способность топлива кДж/м³ – при наличии собственного источника теплоты (котельной);

11) коэффициент удорожания теплоты – коэффициент, учитывающий ежегодное повышение тарифа на теплоту;

12) коэффициент ухудшения свойств материала теплоизоляции – коэффициент, учитывающий снижение теплозащитных свойств материала теплоизоляции и увеличение коэффициента теплопроводности теплоизоляции, константа работоспособности, определяемая в зависимости от вида материала теплоизоляции и условий эксплуатации трубопровода по МДС 41-7.2004 «Методика оценки влияния влажности на эффективность теплоизоляции оборудования и трубопроводов»;

13) норма дисконтирования– это приемлемая для инвестора норма дохода (прибыли) на рубль авансированного капитала по альтернативному безопасному способу вложения.

При определении нормы дисконта следует учитывать следующие факторы:

- уровень инфляции;
- процент по депозитам банков;
- среднюю доходность ликвидных ценных бумаг;
- субъективные оценки инвестора, основанные на его знаниях и опыте работы;
- цену капитала, если финансирование инвестиционного проекта осуществляется из нескольких источников.

После введения всех исходных данных следует нажать кнопку «Расчет».

Полученное значение толщины теплоизоляции будет являться оптимальным техническим решением для данных конкретных условий работы трубопровода, текущей стоимости материала теплоизоляции и тарифа на тепловую энергию.

В тех случаях, когда со временем меняются характеристики тепловой сети в процессе ее эксплуатации, при отключении старых или подключении новых потребителей, изменении требуемой ими тепловой нагрузки (ввод в действие новых и вывод старых зданий, технологических установок, перевод части системы на теплоснабжение от других источников, переход на лучистое отопление и др.), происходит изменение теплового и гидравлического режимов работы тепловой сети. При этом возникает необходимость оптимизации режимов работы существующих сетей и их последующей наладки у потребителей.

Из-за изменения перепада давлений на участках сети на них происходит изменение расхода теплоносителей, а, следовательно, изменение тепловой нагрузки потребителей относительно требуемых значений. Таким образом, в разбалансированной тепловой сети могут наблюдаться избыток тепловой энергии, поставляемой одним потребителям, находящимся ближе к источнику теплоснабжения, и недостаток ее у других.

При подключении новых потребителей наблюдается снижение скорости теплоносителя на участках тепловой сети, расположенных после вновь подключенного потребителя, расход теплоносителя также будет ниже, что приведет к снижению количества тепла, передаваемого потребителю. Стремясь восполнить недостаток теплоты, потребитель будет вынужден использовать дополнительные источники тепла, что приведет к значительным затратам. У потребителя, расположенного ближе к источнику тепла, ситуация будет противоположная – стремясь избавиться от избытка тепла, он будет сбрасывать излишки в окружающую среду, что также приведет к значительным необоснованным потерям теплоты и, соответственно, материальным затратам. Для корректировки подачи теплоты потребителям в качестве технического решения может быть предложена автоматизация подачи теплоты путем контроля внутренней температуры зданий.

Повышение передаваемого теплового потока до необходимого значения у «холодных» потребителей в разбалансированной сети приводит к дополнительным затратам на перемещение теплоносителей – потребуются новые, более мощные насосы для увеличившегося потока теплоносителя, возрастут затраты электроэнергии на перекачку теплоносителя, Также будет наблюдаться повышение температуры обратной воды и давления в трубопроводах, что может увеличить утечки (а значит, и затраты воды на подпитку сети) и уменьшить срок эксплуатации сети.

Оптимизационные расчеты толщины теплоизоляции не связаны с разбалансировкой и проведением наладочных расчетов и мероприятий, а представляют собой оптимизацию толщины теплоизоляционного покрытия для расчетных режимов тепловой сети с совместным учетом энергетических и экономических показателей.

Выводы по главе 2

1. Разработаны технические решения для определения оптимальных толщин изоляции теплопроводов, включающие средство получения результата – программу оптимизации толщины тепловой изоляции, результаты и рекомендации, полученные для конкретных условий эксплуатации трубопроводов.

2. Приведены примеры определения технических решений для различных исходных данных, проанализированы зависимости технических решений по оптимальной толщине тепловой изоляции от теплопроводности материала, температуры теплоносителя, срока эксплуатации, температуры грунта. Результаты исследований, которые легли в основу разработанных технических решений для различных видов прокладки трубопроводов, были подробно рассмотрены в отчете за 3 этап.

3. Разработанная программа, применяемая для получения технических решений по оптимальной толщине изоляции, как было показано на приведенных примерах, позволяет осуществлять расчет с совместным учётом энергетических и экономических показателей и факторов, вызывающих разбалансированность тепловых сетей.

3 Разработка технических решений для определения фактических тепловых потерь при транспортировке и распределении тепловой энергии с учетом фактора разбалансированности

3.1 Необходимость определения потерь тепла с поверхности изоляции трубопроводов

Знание тепловых потерь с поверхности изоляции трубопроводов, а они, как правило, являются доминирующими при транспорте теплоносителя, необходимо для грамотного проектирования системы теплоснабжения потребителей, определения себестоимости потребленного тепла и т.д. Для этих целей теплоснабжающие организации производят расчеты нормативных (по данным СНиП) потерь тепла, которые напрямую учитывают основные влияющие факторы: длину трубопровода, его диаметр и температуры теплоносителя и окружающей среды. Не учитывают нормативные потери только фактическое состояние изоляции трубопроводов. Определение реальных тепловых потерь и сравнение их с нормативными значениями позволяет обосновать эффективность проведения работ по модернизации сетей с заменой трубопроводов и/или их изоляции.

Значения тепловых потерь тепловыми сетями через теплоизоляционные конструкции в общем виде зависят от

- вида теплоизоляционной конструкции и примененных теплоизоляционных материалов;
- типов прокладки (надземная, подземная канальная, бесканальная и т. п.) и их соотношений для данной тепловой сети;
- температурного режима и продолжительности работы тепловой сети в течение года;
- параметров окружающей среды: температуры наружного воздуха, грунта и характера ее изменения в течение года, а в отдельных случаях — от скорости ветра (при надземной прокладке);
- материальной характеристики тепловой сети и ее структуры по диаметрам и протяженности трубопроводов по типам прокладки и видам теплоизоляционных конструкций;
- срока и условий эксплуатации тепловых сетей.

3.2 Определение фактических тепловых потерь с поверхности изоляции трубопроводов

Знание реальных тепловых потерь очень важно, так как они, как показал опыт, могут в несколько раз превышать нормативные значения. Такая информация позволит иметь представление о фактическом состоянии тепловой изоляции трубопроводов ТС, определить участки с наибольшими тепловыми потерями и рассчитать экономическую эффективность замены трубопроводов. Кроме того, наличие такой информации позволит обосновать реальную стоимость единицы отпущенного тепла в региональной энергетической комиссии. Если тепловые потери, связанные с утечкой теплоносителя, можно определить по фактической подпитке ТС при наличии соответствующих данных на источнике ТЭ, а при их отсутствии рассчитать их нормативные значения, то определение реальных потерь тепла с поверхности изоляции трубопроводов является весьма трудной задачей.

В соответствии с РД 34.09.255-97 «Методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях» для определения фактических тепловых потерь на испытываемых участках двухтрубной водяной ТС и сравнения их с нормативными значениями, должно быть организовано циркуляционное кольцо, состоящее из прямого и обратного трубопроводов с перемычкой между ними.

Все ответвления и отдельные абоненты должны быть от него отсоединены, а расход на всех участках ТС должен быть одинаков. При этом минимальный объем испытываемых участков по материальной характеристике должен быть не менее 20% материальной характеристики всей сети, а перепад температур теплоносителя должен составлять не менее 8 °С. Таким образом должно образоваться кольцо большой протяженности (несколько километров).

Учитывая практическую невозможность проведения испытаний по данной методике и выполнения ряда ее требований, в условиях отопительного периода, а также сложность и громоздкость, нами предлагается методика тепловых испытаний, основанная на простых физических законах теплопередачи.

Суть ее заключается в том, что, зная снижение («сбег») температуры теплоносителя в трубопроводе от одной точки измерения до другой при известном и неизменном его расходе, легко вычислить потерю тепла на данном участке ТС. Затем при конкретных температурах теплоносителя и окружающей среды в соответствии с РД 34.09.255-97 полученные значения тепловых потерь пересчитываются на среднегодовые условия и сравниваются с нормативными, также приведенными к среднегодовым условиям для данного региона с учетом температурного графика теплоснабжения. После этого определяется коэффициент превышения фактических потерь тепла над нормативными значениями.

3.2.1. Технические решения для измерения толщины стенок трубопровода

Для корректного определения скорости движения теплоносителя необходимо знание толщины стенки трубы.

Толщина трубы измеряется при помощи ультразвукового толщиномера, например, TIME TT120, представляющего собой портативный ультразвуковой прибор для измерения толщины. Данный прибор, управляемый центральным процессором, позволяет быстро и точно измерять толщину без разрушения трубопровода. Толщиномер включает в себя блок излучения, блок приема, высокочастотный генератор, блок стробирования счетчика, центрального процессора, клавиатуры и монитора. Принцип работы толщиномера заключается в использовании отраженных импульсов ультразвуковых колебаний.

Область применения прибора: измерение толщины стальных объектов с температурой от 0 до 300 °С и диапазоном измерения от 4 до 80 мм.

Требования к плоскостям объекта контроля: на всех объектах с плоскостями, размеры которых превышают или равны размерам контактной плоскости преобразователя, можно проводить измерения. Но для протяженных тонких объектов результаты измерения могут быть ошибочными, если измерения проводятся в осевом направлении или если боковые поверхности объекта не перпендикулярны контролируемой поверхности, в то время как размеры последней очень малы.

Требования к кривизне поверхности: в тех случаях, когда объект имеет криволинейную поверхность (такую, как боковые стенки котла или трубчатая конфигурация) радиус кривизны должен быть $R \geq 10$, а толщина стенки ≥ 3 мм, но данное ограничение распространяется только на сталь.

Требования к шероховатости поверхности: результат измерений может быть ошибочным, если шероховатость поверхности слишком велика из-за значительной коррозии, в этом случае необходимо подобрать преобразователь с большим значением частоты колебаний.

Рабочие условия окружающей среды:

- относительная влажность < 90%;
- отсутствие сильной вибрации и коррозионной среды;
- прибор не должен подвергаться воздействию влаги;

Методика проведения измерений: поверхность объекта перед проведением измерения должна быть очищена от пыли, грязи, продуктов коррозии. Различные покрытия должны быть удалены. Слишком грубая поверхность может послужить причиной ошибочных результатов измерения или их отсутствия. Перед началом измерений необходимо сгладить контролируемую поверхность шлифованием, полированием или обработкой напильником. Можно также

использовать контактную среду высокой вязкости. Регулярные мелкие бороздки шероховатой поверхности, обработанной на станке, также могут послужить источником ошибок при измерениях. Хороший результат можно получить, если подобрать угол пересечения экрана раздельно-совмещенного преобразователя (тонкий слой металла, который виден на торце преобразователя и проходит через его центр) с мелкими бороздками на поверхности контролируемого материала (90° или 180°).

Для цилиндрической поверхности важно выбрать правильный угол пересечения экрана раздельно-совмещенного преобразователя с осевой линией контролируемого материала в тех случаях, когда измеряется толщина объекта с цилиндрической поверхностью, как в случаях с трубами или барабанами. Необходимо установить преобразователь на объект так, чтобы экран раздельно-совмещенного преобразователя был параллелен либо перпендикулярен осевой линии объекта, затем сделать легкие возвратно-поступательные перемещения преобразователем вдоль осевой линии измеряемого объекта. При этом результаты измерения будут постоянно меняться, необходимо выбрать минимальный результат измерения. Конкретное значение оптимального угла пересечения определяется радиусом кривизны материала. Для труб большого диаметра экран раздельно-совмещенного преобразователя устанавливается перпендикулярно осевой линии трубы, для труб меньшего диаметра – параллельно осевой линии. Измеренной толщиной считают минимальный результат измерения. При измерениях на объектах с сопрягаемыми поверхностями можно проводить измерения как и в случае цилиндрической поверхности.

Для того, чтобы получить удовлетворительный отраженный ультразвуковой сигнал, противоположная поверхность контролируемого объекта должна быть параллельна или соосна поверхности, с которой производится контроль. В противном случае результаты измерения будут ошибочными или их не будет вовсе.

При измерениях на сверхтонких материалах, толщина которых меньше нижнего предела измерения преобразователя, иногда можно получить такой ошибочный результат как «двойное отражение». Это означает, что отображаемый результат измерения вдвое больше, чем реальная величина. Другая ошибка – циклическая пульсация огибающей импульса. В этом случае результат также будет больше реальной толщины. Чтобы этого избежать, необходимо провести повторные измерения. Пятна ржавчины и коррозионные язвы могут быть причиной того, что результаты измерений будут изменяться нерегулярным образом, либо их не будет вовсе. При многократных измерениях следует все время изменять ориентацию раздельно-совмещенного преобразователя.

Для передачи высокочастотных ультразвуковых колебаний от преобразователя к материалу и обратно следует использовать контактную среду. Ее следует наносить ровным слоем на исследуемую поверхность, либо, при проведении измерений на объектах с высокой температурой – на доннышко преобразователя. Если поверхность исследуемого объекта гладкая, то следует

использовать контактную среду с низкой вязкостью, если поверхность грубая или расположена вертикально или в потолочном положении – с высокой вязкостью.

3.2.2. Технические решения для измерения температуры теплоносителя

Учитывая очень малые значения перепада температур теплоносителя (десятые доли градуса), повышенные требования предъявляются как к измерительному прибору (шкала должна быть как минимум с десятыми долями градуса С), так и тщательности самих измерений.

При измерении температуры поверхность труб должна быть зачищена от ржавчины, а трубы в точках проведения измерений (на концах участка) желательно иметь одного диаметра (одинаковой толщины).

С учетом вышесказанного температура теплоносителей (прямого и обратного трубопроводов) должна измеряться в местах разветвления ТС (обеспечение постоянного расхода), т.е. в тепловых камерах и колодцах.

Измерение температуры поверхности трубопровода осуществляется контактным способом с помощью термоэлектрических преобразователей (термопар) или термопреобразователей сопротивления (термометров сопротивления). Выбор конкретного типа прибора основан на достижении требуемой точности измерений, а также на диапазоне температур, измеряемых в ходе испытаний.

Термометр сопротивления это термометр, как правило, в металлическом или керамическом корпусе, чувствительный элемент которого представляет собой резистор, выполненный из металлической проволоки или пленки и имеющий известную зависимость электрического сопротивления от температуры. Самый популярный тип термометра – платиновый ТС, это объясняется высоким температурным коэффициентом платины, ее устойчивостью к окислению и хорошей технологичностью. В качестве рабочих средств измерений применяются также медные и никелевые термометры. Главное преимущество термометров сопротивления – широкий диапазон температур, высокая стабильность, близость характеристики к линейной зависимости, высокая взаимозаменяемость. Недостаток термометров и чувствительных элементов сопротивления – необходимость использования для точных измерений трех- или четырех- проводной схемы включения, т.к. при подключении датчика с помощью двух проводов, их сопротивление включается измеренное сопротивление термометра. Важнейшей технологической проблемой для ТС проволочного типа является герметизация корпуса ЧЭ специальной глазурью, состав глазури должен быть подобран так, чтобы при колебаниях температуры в пределах рабочего диапазона не происходило разрушение герметизирующего слоя. Промышленные платиновые ТС в большинстве случаев используются со стандартной зависимостью сопротивление-температура (НСХ), что

обуславливает допуск не лучше 0,1 °С (класс АА при 0 °С). Однако высокая стабильность этих термометров позволяет делать их индивидуальную градуировку и определять характерную именно для них зависимость сопротивление-температура. Такая градуировка может повысить точность до нескольких сотых градуса. Для измерения очень малых значений перепада температур теплоносителя необходимо использовать термометры сопротивления класса допуска АА или с индивидуальной градуировкой классов АА и А.

Основополагающие требования, обеспечивающие правильность выбора и эксплуатации термопреобразователей сопротивления:

- соответствие измеряемой температуры пределам измерений термопреобразователя сопротивления;
- допустимая погрешность измерений;
- правильный выбор места установки термопреобразователя сопротивления;
- соответствие прочности и материала арматуры условиям эксплуатации;
- правильный выбор длины монтажной части термопреобразователя сопротивления.

Таблица 3.1 - Классы допуска и диапазоны измерений для термометров сопротивления и чувствительных элементов

Класс допуска	Допуск, °С	Диапазон измерений, °С			
		Платиновый ТС, ЧЭ		Медный ТС, ЧЭ	Никелевый ТС, ЧЭ
		проволочный	пленочный		
АА W 0.1 F 0.1	$\pm (0,1+0,0017 t)$	От -50 до +250	От -50 до +250	-	-
А W 0.15 F 0.15	$\pm (0,15+0,002 t)$	От -100 до +450	От -50 до +450	От -50 до +120	-
В W 0.3 F 0.3	$\pm (0,3+0,005 t)$	От -196 до +660	От -50 до +600	От -50 до +200	-
С W 0.6 F 0.6	$\pm (0,6+0,01 t)$	От -196 до +660	От -50 до +600	От -180 до +200	От -60 до +180

Тепловая инерционность датчика

Скорость реакции чувствительного элемента на изменение температуры процесса зависит от конструкции чувствительного элемента, материала корпуса термометра, изоляции между чувствительным элементом и корпусом. При измерении температуры поверхности трубы необходимо выдерживать время, не меньшее времени реакции чувствительного элемента. Снятие измерений с прибора необходимо осуществлять только после завершения прогрева датчика, который практически можно определить по тому моменту, когда показания прибора перестанут изменяться.

Таблица 3.2 - Примерное время термической реакции для платиновых ТС различного диаметра

Описание ТС	Время термической реакции (63% от полного изменения)
ЧЭ	0,3 – 3 с
Диаметр 3,5 мм	2 – 3 с
Диаметр 5,0 мм	4 – 5 с
Диаметр 6,0 мм	5 – 7 с
Диаметр 6,0 мм, монтированный в гильзу	15 – 20 с

Тепловой контакт с объектом

Необходимо всегда учитывать, что термометр фактически регистрирует температуру его собственного чувствительного элемента, а не температуру среды или объекта в которую он погружен. То, на сколько температура чувствительного элемента близка к измеряемой температуре объекта зависит от суммарного теплового сопротивления между чувствительным элементом и объектом. Монтаж термометра в измерительный канал осуществляется, как правило, с помощью прижимающего элемента, пружины, а канал иногда заполняется теплопроводящим материалом. Если контакт с объектом нарушен, то это может привести к ложным значениям регистрируемой температуры. Для проверки теплового контакта разработаны специальные методики, наиболее распространенная из которых – исследование времени реагирования ТС на импульсный нагрев током. Для максимального приближения температуры датчика к температуре

измеряемого объекта необходимо датчик закрыть сверху тепловой изоляцией, по возможности имеющей максимально низкую теплоемкость и теплопроводность.

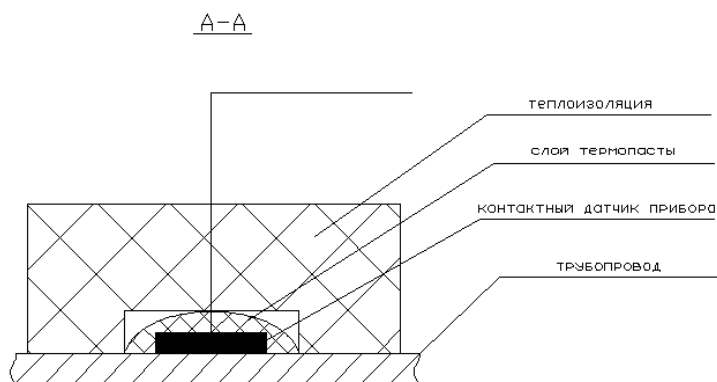
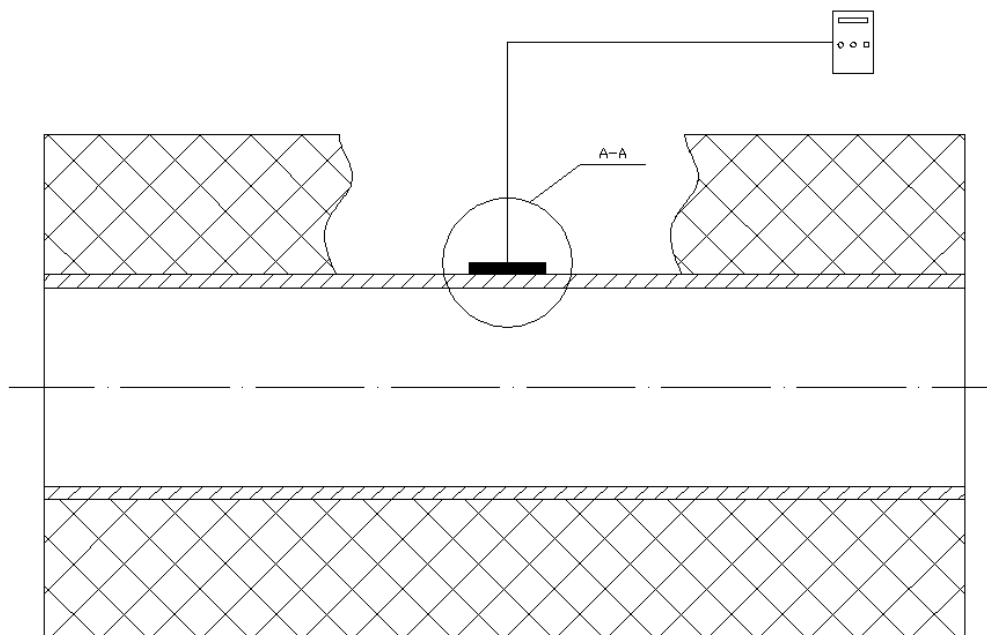


Рисунок 3.1. Схема крепления контактного температурного датчика к трубопроводу

Для достижения как можно меньших погрешностей в определении температуры теплоносителя необходимо создать как можно большее термическое сопротивление между температурным датчиком и окружающей средой, термическое сопротивление стенки трубопровода не учитывается.

Для этого производится закрепление температурного датчика на поверхности трубопровода непосредственно на стальной его стенке, при этом покрывной гидроизоляционный и теплоизоляционный слои снимаются. Датчик закрепляется слоем терморасты, затем поверх него устанавливается слой теплоизоляции.

Источники неопределенности измерения температуры на объекте

Источники неопределенности измерения температуры промышленным термометром сопротивления можно разделить на источники, связанные с физическими условиями работы ТС и электрическим преобразованием сигнала.

- теплопроводящие свойства данной конструкции термометра и монтажных элементов;
- перенос тепла излучением в окружающую среду;
- теплоемкость датчика температуры;
- скорость изменения измеряемой температуры;
- утечки тока (качество заземления);
- электрические шумы;
- точность измерителя или преобразователя сигнала.

Для измерения температуры трубопровода возможно также использовать термопары. Термопары, уступают термометрам сопротивления в точности, но имеют ряд преимуществ: они дешёвы, просты по устройству, надёжны в эксплуатации и значительно менее инерционны. Наиболее точные термопары – с термоэлектродами из благородных металлов: платинородий-платиновые ПП (тип S (Pt-10%Rh / Pt) (тип R (Pt-13%Rh / Pt), платинородий-платинородиевые ПР (тип В (Pt-30%Rh / Pt-6%Rh)). Преимуществом является значительно меньшая термоэлектрическая неоднородность, чем у термопар из неблагородных металлов, устойчивость к окислению, вследствие чего высокая стабильность. Хотя платинородиевые термопары превосходят по точности и стабильности термопары из неблагородных металлов и сплавов, минимальная расширенная неопределенность результата измерения температуры в диапазоне до 1100 °С составляет 0,2-0,3 °С.

Преимуществом термопар также является высокая чувствительность. Особенно удобны в обращении кабельные термопары, электроды которых заключены в специальный герметичный гибкий кабель с минеральной изоляцией. Такая конструкция позволяет расположить термопару в самых сложных конструктивных узлах объекта. Одной из существенных составляющих неопределенности измерений термопарами является учет температуры холодных спаев или точность компенсации спаев в цифровых преобразователях.

Источники погрешности термопар

Принцип действия термопар и особенности преобразования и передачи сигнала приводят к следующим возможным проблемам при их эксплуатации, вызывающим ошибку в определении температуры.

Источниками погрешностей в измерении температуры с помощью термопар являются:

1. Дефекты формирования рабочего спая термопары;
2. Возникновение термоэлектрической неоднородности по длине термоэлектродов и изменение градуировочной характеристики термопары;
3. Электрическое шунтирование проводников изоляцией и возможное возникновение гальванического эффекта;
4. Тепловое шунтирование;
5. Электрические шумы и утечки.

Рекомендации по работе с термопарами

Целостность и точность измерительной системы, включающей термопарный датчик, может быть повышена с помощью следующих мер:

- использование проволоки большого диаметра, которая, однако, не будет изменять температуру объекта измерения;
- если необходимо использовать миниатюрную термопару из очень тонкой проволоки, следует использовать ее только в месте измерения, вне объекта следует использовать удлинительные провода;
- избегать механических натяжений и вибраций термопарной проволоки;
- если необходимо использовать очень длинные термопары и удлинительные провода следует соединить экран провода с экраном вольтметра и тщательно перекручивать выводы;
- по-возможности избегать резких температурных градиентов по длине термопары;
- использовать термопару только в пределах рабочих температур, желательно с запасом;
- использовать подходящий материал защитного чехла при работе во вредных условиях, чтобы обеспечить надежную защиты термопарной проволоки;
- использовать удлинительные провода в их рабочем диапазоне и при минимальных градиентах температур;
- вести электронную запись всех событий и непрерывно контролировать сопротивление термоэлектродов;
- для дополнительного контроля и диагностики измерений температуры применяют специальные термопары с четырьмя термоэлектродными, которые позволяют проводить

дополнительные измерения температуры, электрических помех, напряжения и сопротивления для контроля целостности и надежности термопар.

Для измерения температуры поверхности трубопровода в качестве технического решения предлагается использовать термометр FLUKE серии 1523-P1, оснащенный платиновыми термопреобразователями (ПТС), имеющий регистратор для записи результатов измерений.

Диапазон измеряемых температур ПТС составляет от -200 °С до 1000 °С, разрешение и наибольшая точность: 0,001 °С и $\pm 0,011$ °С.

3.2.3 Технические решения для измерения расхода теплоносителя

Расход теплоносителя должен быть определен на каждом из неразветвленных участков ТС. При проведении испытаний иногда удается использовать портативный ультразвуковой расходомер. Сложность непосредственного измерения расхода воды прибором связана с тем, что чаще всего, обследуемые участки ТС расположены в непроходных подземных каналах, а в тепловых колодцах из-за расположенной в нем запорной арматуры, не всегда возможно соблюсти требование, касающееся необходимых длин прямолинейных участков до и после места установки прибора.

Поэтому для определения расходов теплоносителя на обследуемых участках теплотрассы наряду с непосредственными измерениями расходов в таких случаях возможно использовать данные с теплосчетчиков, установленных на зданиях, присоединенных к этим участкам сети.

Таким образом, зная расход теплоносителя на выходе из котельных, а также на других участках, включая здания, присоединенные к обследуемым участкам теплосети, можно определить расходы практически на всех участках ТС.

В качестве технического решения для измерения расхода предлагается использовать хорошо зарекомендовавший себя на практике ультразвуковой расходомер Portaflow 300, предназначенный для измерения расхода жидкости в заполненных трубах при помощи накладных датчиков без врезки в трубопровод. Датчики работают в двух диапазонах температур: от -20 до +125 °С или от -20 до +200 °С. Измерения можно проводить в любом трубопроводе с внутренним диаметром от 13 мм до 5000 мм, изготовленном из различных материалов (при использовании различных ультразвуковых датчиков).

Параметры измерений и характеристики прибора:

- Измеряет расход любой чистой жидкости
- Скорость потока - от 0,2 м/с до 8 м/с (в зависимости от диаметра трубы)
- Температура труб - от -20°С до +200°С

- Внутренний диаметр труб:

13 - 89 мм датчик А

90 - 1000 мм датчик В

300 - 2000 мм датчик С

- Материал труб: сталь, чугун, медь, пластмасса, бетон, любой однородный материал

- Питание от сети 220 В или от аккумулятора (15 – 24 ч.)

- Крепеж датчиков: ленты "липучки", металлические ленты или цепочки, магнитный крепеж.

Portaflow 300 – это портативный ультразвуковой расходомер, предназначенный для работы с накладными датчиками, что позволяет делать точные измерения без врезки в трубу. Когда ультразвук передается от датчика X к Y, поток жидкости ускоряет распространение волны. В случае, когда датчики находятся напротив друг друга, поток жидкости, наоборот, тормозит распространение ультразвука. Время, затрачиваемое на прохождение ультразвука прямо пропорционально скорости потока. Получив измерения скорости потока и, зная площадь сечения трубы, расчет объемного расхода не составит труда. Встроенный логгер данных позволяет сохранять до 50,000 значений. Интервал измерений – от 5 секунд до 1 часа.

Позиционирование датчиков – поскольку датчики расходомера крепятся к наружной поверхности трубы, то расходомер не определяет точно, что происходит в самом потоке. Поэтому необходимо считать, что жидкость равномерно течет по трубопроводу, либо этот поток полностью ламинарный, либо турбулентный. Для работы прибора необходимо равномерное поле скоростей. Нарушение поля скоростей вызвано возмущениями до места установки прибора (колена труб, тройники и т.д.). Для обеспечения равномерного поля скоростей датчики необходимо устанавливать на достаточно большом расстоянии от источников возмущения. Минимальная длина прямолинейного участка трубопровода до места установки прибора – 20 диаметров трубы, за местом – 10 диаметров.

Измерения на трубах большого диаметра: для измерений на трубах в диагональном режиме (внутренний диаметр более 216 мм) существует возможность достичь оптимальной силы сигнала, передвигая датчик по поверхности трубы. Этот режим полезен в тех случаях, когда затруднено точное расположение датчика из-за слабого сигнала или больших размеров трубы. При проведении измерений на трубах большого диаметра необходимо нанести большое количество смазки, особенно на подвижный сенсор.

Измерения на трубах малого диаметра: чем меньше диаметр трубы, тем труднее обрабатывать отраженный сигнал, т.к. уменьшается время прохождения сигнала по диагональной траектории поперек трубы. Кроме того при уменьшении диаметра труб из обычной стали уменьшается и отношения диаметра к толщине стенок. Сигнал, траектория которого проходит вдоль стенок трубы, обладает относительно большей энергией и в большей степени

взаимодействует с сигналом, траектория которого лежит через поток жидкости. Такое взаимодействие снижает точность в тех случаях, когда отношение диаметра к толщине стенок менее чем 10:1. Тонкостенные трубы (толщина стенок около 1 мм) обеспечивают относительную легкость измерений при внутреннем диаметре не менее 13 мм. Для таких труб следует использовать минимальное количество смазочного материала, а также использовать процедуру балансировки нуля.

При монтаже датчиков необходимо обратить внимание на состояние поверхности трубопровода – неровная поверхность, препятствующая плотной посадке датчиков может привести к появлению проблем с уровнем сигнала и сдвигом нуля. Датчики могут быть установлены непосредственно на покрашенную поверхность, которая должна быть гладкой и, кроме того, на металлической поверхности под слоем краски не должно быть ржавчины. На трубопроводах, покрытых битумом или резиной, в зоне под датчиками необходимо удалить покрытие, т.к. предпочтительно устанавливать датчики непосредственно на металл. Датчики могут устанавливаться как на горизонтальных, так и на вертикальных трубопроводах. При установке на горизонтальных трубопроводах рекомендуется устанавливать датчик под углом 45° к горизонту.

Параметры теплоносителей: ультразвуковые датчики лучше всего работают с жидкостями, которые не содержат в большом количестве растворенных газов и твердых примесей. При значительном их содержании сигнал может быть очень слабым, что мешает проведению измерений. Расходомер PORTAFLOW 300 был откалиброван для работы с турбулентными потоками с числом Рейнольдса около 100000. При снижении числа Рейнольдса до 4000-5000 калибровка становится недействительной. Если режим потока ламинарный, но необходимо рассчитать число Рейнольдса и ввести поправочный коэффициент.

При измерении расходов жидкостей с температурой, отличающейся от окружающей среды, необходимо, чтобы датчики вышли на рабочую температуру. Это можно проверить по показаниям прибора – для контроля выхода датчиков на рабочую температуру в приборе имеется температурный сенсор. При работе прибора в условиях отрицательных температур необходимо не допускать появления ледяной корки между трубопроводом и датчиками, т.к. это приведет к потере сигнала.

Точность измерений прибора:

2% или $\pm 0,02\%$ м/с, выбрать наибольшее (на пластиковых трубах с внутренним диаметром 4'', в идеальных условиях);

3% или $\pm 0,03\%$ м/с, выбрать наибольшее (на трубах из углеродистой стали, нержавеющей стали, с покрытиями из эпоксидной смолы, резины и т.п., в условиях, близких к идеальным);

На рисунке 3.1 показана схема проведения тепловых испытаний участка тепловой сети. На участке подающего трубопровода достаточно проводить измерение температуры по одной точке в тепловой камере. На обратном трубопроводе необходимо измерять температуру поверхности трубопровода в двух точках: до и после подвода обратного теплоносителя от потребителей, т.к. после смешения его температура может измениться в любую сторону, как увеличиться, так и понизиться. Расстояние от точек ответвления трубопроводов до точек измерений температуры (см. рисунок 3.2) должно быть насколько возможно минимальным, для измерения расхода теплоносителя должно выполняться условие минимальной длины прямолинейного участка трубопровода до места установки прибора – 20 диаметров трубы, за местом установки – 10 диаметров.

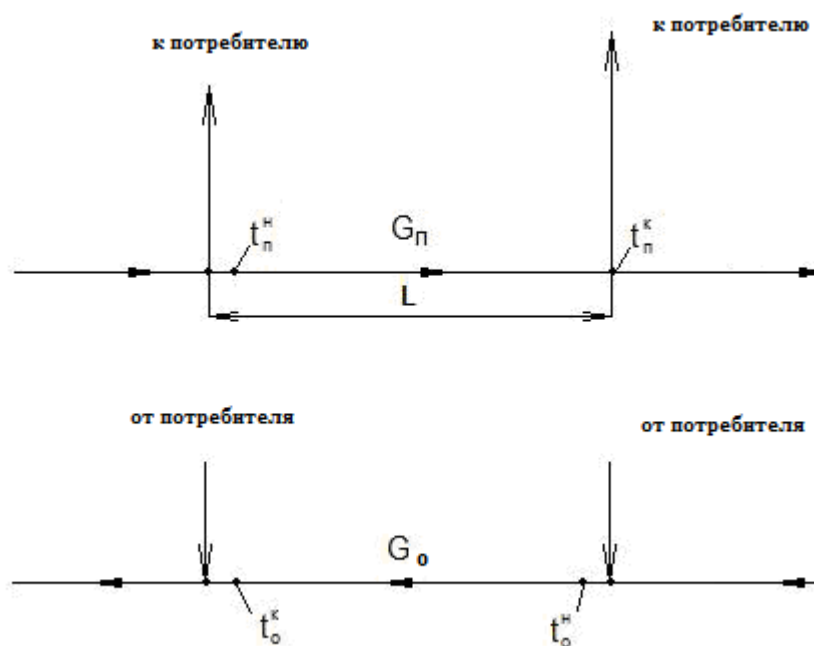


Рисунок 3.2 - Схема тепловых испытаний участка тепловой сети

t_n^H – температура теплоносителя в подающем трубопроводе в начале участка, °С;

t_n^K – температура теплоносителя в подающем трубопроводе в конце участка, °С;

t_o^H – температура теплоносителя в обратном трубопроводе в начале участка, °С;

t_o^K – температура теплоносителя в обратном трубопроводе в конце участка, °С;

G_n – расход теплоносителя в подающем трубопроводе на участке, т/ч;

G_o – расход теплоносителя в обратном трубопроводе на участке, т/ч.

Расчёт фактических тепловых потерь

Расчёт фактических потерь проводится для всех участков теплосети с последующим их суммированием для всего обследуемого участка.

Фактические тепловые потери в подающем и обратном трубопроводах для каждого из участков определяются исходя из расходов теплоносителя на каждом из участков, температур теплоносителя в начале и в конце участков, а также длин участков теплосети.

Для пересчета полученных фактических значений тепловых потерь в прямом и обратном трубопроводах на среднегодовые условия работы данных тепловых сетей, используются среднегодовые значения характерных температур для условий данного региона, определенные по СНиП 21-01-99 «Строительная климатология». Методика расчета фактических тепловых потерь приведена в отчете за 3 этап работ.

Расчет нормативных потерь тепла

Значения нормативных среднегодовых потерь тепла для заданных участков тепловой сети определяются исходя из действующих норм удельных тепловых потерь для различных диаметров трубопроводов и типов прокладки сетей с учётом известных значений характерных температур для условий данного региона.

При значениях средних температур грунта, наружного воздуха и теплоносителя в прямом и обратном трубопроводе отличных от среднегодовых, принятых при расчете норм плотности теплового потока, необходимо провести пересчет на среднегодовые фактические значения этих температур, а также вычислить коэффициент фактических потерь над нормативными.

3.3 Пример практического применения технического решения для определения фактических тепловых потерь при транспортировке и распределении тепловой энергии с учетом фактора разбалансированности

Следует также отметить, что проще всего, удобнее и точнее проводить подобное обследование при наличии теплосчетчиков у каждого потребителя или хотя бы у большинства. Лучше, если теплосчетчики имеют часовой архив данных. Получив с них необходимую информацию, легко определить как расход теплоносителя на любом участке ТС, так и температуру теплоносителя в ключевых точках с учетом того, что, как правило, здания расположены в непосредственной близости от тепловой камеры или колодца.

В качестве примера приведены результаты обследования одного из участков ТС, теплоснабжение по которому осуществляется от ТЭЦ г. Владимира (таблица 3.3) и от котельной одного из микрорайонов этого города (таблица 3.4). Всего в процессе работы было обследовано

около 9 км теплотрассы, которые планировались к замене на новые, предварительно изолированные трубы в пенополиуретановой оболочке.

Таблица 3.3 - Характеристика состояния участков теплотрассы, теплоснабжение по которым осуществляется от ТЭЦ г.Владимир

Участок	Диаметр трубопровода	Длина участка трубопровода	Потери нормативные	Расход теплоносителя	Потери измеренные	Коэффициент превышения потерь над нормативн.	Скорость воды в трубопроводе
	мм	м	Мкал/ч	м ³ /ч	Мкал/ч		м/с
ТК116-УТ2	159	90	9.08	22.5	69.21	7.6	0.31
УТ2-УТ4	159	164	16.55	9	42.74	2.6	0.13
УТ1-УТ2	273	150	21.23	206.38	163.97	7.7	0.98
УТ1-ТК188а	325	180	28.53	146	123.54	4.3	0.49
ТК188-УТ1	273	295	41.75	200	116.88	2.8	0.95
УТ4-ТК54	273	330	46.70	118.2	340.10	7.3	0.56
УТ18-УТ19	219	120	14.72	9.67	37.4	2.5	0.07
УТ7-УТ30	159	60	6.06	7.68	13.7	2.3	0.11
УТ30-УТ31	133	120	11.09	7.68	33.6	3.0	0.15
УТ32-УТ33	108	120	9.96	2.2	21.4	2.2	0.07
УТ11-УТ11а	273	20	2.83	81.1	12.25	4.3	0.39
УТ11а-УТ12	273	40	5.66	78.83	33.57	5.9	0.37
УТ12-УТ13	273	74	10.47	44	62.14	5.9	0.21
УТ13-УТ14	219	35	4.29	35.9	28.11	6.5	0.26
УТ14-УТ15	219	30	3.68	31.5	29.34	8.0	0.23
УТ23-УТ43	108	25	2.08	7.5	6.12	3.0	0.23
УТ43-УТ44	108	55	4.57	5.52	11.32	2.5	0.17
УТ44-УТ45	89	55	4.15	3.7	11.59	2.8	0.17
УТ45-д20	76	114	7.96	2.05	13.94	1.8	0.13

Таблица 3.4 - Характеристика состояния участков теплотрассы, теплоснабжение по которым осуществляется от котельной микрорайона г.Владимир

Участок	Диаметр трубопровода	Длина участка трубопровода	Потери нормативные	Расход теплоносителя	Потери измеренные	Коэффициент превышения потерь над нормативн.	Скорость воды в трубопроводе
	мм	м	Мкал/ч	м ³ /ч	Мкал/ч		м/с
УТ1-УТ2	273	35	4.82	267.5	10.95	2.3	1.27
УТ2-УТ3	273	102	14.06	259.7	27.23	1.9	1.23
УТ3-УТ4	273	18	2.48	201.1	4.15	1.7	0.95
УТ4-УТ5	273	74	10.20	197.2	27.93	2.7	0.94
УТ5-УТ6	219	201	24.01	151.1	50.64	2.1	1.11
УТ6-УТ7	219	33	3.94	76.5	10.00	2.5	0.56
УТ7-УТ8	219	37	4.42	72.5	10.43	2.4	0.53
УТ8-УТ9	219	81	9.68	59.5	21.14	2.2	0.44
УТ9-УТ10	219	179	21.39	44.1	30.87	1.4	0.33
УТ10-УТ11	219	46	5.50	30.6	11.01	2.0	0.23
УТ11-УТ13	219	114	13.62	22.8	33.73	2.5	0.17
УТ13-УТ14	219	76	9.08	15.4	23.86	2.6	0.11
УТ5-УТ25	219	108	12.90	38.3	26.41	2.0	0.28
УТ25-УТ26	159	94	9.24	28	17.18	1.9	0.39
УТ26-УТ27	159	107	10.52	17.8	16.98	1.6	0.25
УТ27-УТ28	133	70	6.30	8.1	14.34	2.3	0.16

Анализ результатов обследования показывает, что потери тепла на участках с теплоснабжением от ТЭЦ в 2 раза и более превышают тепловые потери на участках теплосети, относящихся к муниципальным котельным. В значительной степени это связано с тем, что срок службы их зачастую составляет 25 лет и более, что на 5-10 лет больше срока службы трубопроводов, теплоснабжение по которым осуществляется от котельных.

Второй причиной лучшего состояния трубопроводов, на наш взгляд, является то, что протяженность участков, обслуживаемых работниками котельной, относительно небольшая, расположены они компактно, и руководству котельных проще следить за состоянием теплосети, вовремя обнаруживать утечки теплоносителя, проводить ремонтные и профилактические работы. На котельных имеются приборы для определения расхода подпиточной воды, и в случае заметного увеличения расхода «подпитки» можно обнаружить и устранить образовавшиеся утечки.

Таким образом, проведенные измерения показали, что предназначенные к замене участки ТС, особенно участки, присоединенные к ТЭЦ, действительно находятся в плохом состоянии в отношении повышенных потерь тепла с поверхности изоляции.

Использование предложенной методики проведения испытаний участков тепловой сети позволяет получить картину состояния тепловой изоляции на этих участках, что в свою очередь

дает необходимую информацию о проведении очередности замены изоляционного покрытия на наиболее плохих участках тепловой сети или замены трубопроводов в целом, в зависимости от их состояния.

Знание фактических тепловых потерь на конкретных участках тепловой сети, кроме того, позволяет проанализировать работу системы теплоснабжения конкретных потребителей, выявить участки или целые микрорайоны, где имеются большие потери тепла, связанные, в том числе, с неэффективными проектными решениями.

В таблице 3.5 представлены результаты обследования 5 участков тепловой сети г. Владимир. В процессе работы с использованием представленной методики были определены фактические потери тепла, а также были рассчитаны нормативные тепловые потери с поверхности изоляции трубопроводов. Кроме этого, для более полного анализа работы системы теплоснабжения потребителей, определялись скорости теплоносителя на обследуемых участках тепловой сети.

Первый участок представляет собой магистральный участок тепловой сети с большими диаметрами трубопровода и соответственно большими расходами теплоносителя. Все остальные участки – тупиковые.

Потребителями тепла на втором и третьем участке являются 2-х и 3-х этажные здания, расположенные по двум параллельным улицам. Четвертый и пятый участки также имеют общую тепловую камеру, но если в качестве потребителей на четвертом участке имеются компактно расположенные относительно крупные четырех- и пятиэтажные дома, то на пятом участке – это частные одноэтажные дома, расположенные вдоль одной протяженной улицы.

Таблица 3.5 - Потери тепла с поверхности изоляции на пяти участках тепловой сети

№ участка	Участок №1	Участок №2	Участок №3	Участок №4	Участок №5
Относительные фактические потери тепла, %.	1,8	49,0	45,5	7,3	72,8
Разность температур ($T_{пр.} - T_{обр.}$) в начальной точке, °С.	13,5	5,7	5,8	12,8	14,8
Средняя скорость теплоносителя в трубопроводе, м/с	0,77	0,37	0,3	0,75	0,2
Коэффициент превышения фактических потерь тепла над нормативными	1,34	1,57	1,42	1,64	1,57

Как видно из таблицы, относительные фактические потери тепла на обследованных участках трубопроводов зачастую составляют почти половину от переданного тепла (участки № 2 и № 3). На участке № 5, где расположены частные дома, более 70% тепла теряется в окружающую среду, не смотря на то, что коэффициент превышения абсолютных потерь над нормативными значениями примерно такой же, как на остальных участках.

Наоборот, при компактном расположении относительно крупных потребителей, потери тепла резко снижаются (участок № 4). Средняя скорость теплоносителя на этом участке составляет 0,75 м/с. Все это приводит к тому, что фактические относительные тепловые потери на этом участке более чем в 6 раз ниже, чем на остальных тупиковых участках, и составили всего 7,3%.

С другой стороны, на участке № 5 скорость теплоносителя в среднем составляет 0,2 м/с, причем на последних участках теплосети (в таблице не показано) из-за больших диаметров трубы и малых значений расходов теплоносителя она составляет всего 0,1-0,02 м/с. С учетом относительно большого диаметра трубопровода, а, следовательно, и поверхности теплообмена, в грунт уходит большое количество тепла.

При этом надо иметь в виду, что количество тепла, теряемое с поверхности трубы, практически не зависит от скорости движения сетевой воды, а зависит только от ее диаметра, температуры теплоносителя и состояния изоляционного покрытия. Однако относительно количества передаваемого по трубопроводам тепла, тепловые потери напрямую зависят от скорости теплоносителя и резко возрастают при ее снижении. В предельном случае, когда скорость теплоносителя составляет сантиметры в секунду, т.е. вода практически стоит в трубопроводе, большая часть тепла может теряться в окружающую среду, хотя эти потери могут и не превышать нормативные.

Таким образом, величина относительных тепловых потерь зависит от состояния изоляционного покрытия, и в значительной степени определяется также протяженностью тепловой сети и диаметром трубопровода, скоростью движения теплоносителя по трубопроводу, тепловой мощностью присоединенных потребителей. Поэтому наличие в системе теплоснабжения мелких, удаленных от источника потребителей тепловой энергии может привести к росту относительных тепловых потерь на многие десятки процентов.

Наоборот, в случае компактной тепловой сети с крупными потребителями, относительные потери могут составлять считанные проценты от отпущенного тепла. Все это следует иметь в виду при проектировании систем теплоснабжения. Например, для рассмотренного выше участка № 5, возможно, более экономично было бы в частных домах установить индивидуальные газовые теплогенераторы.

3.4 Техническое решение для экспериментального определения тепловых потерь с созданием циркуляционного контура

Испытаниям должны подвергаться участки тепловой сети, тип прокладки и конструкции тепловой изоляции которых являются характерными для данной сети.

Характерными считаются участки тепловых сетей, доля которых в материальной характеристике всей сети составляет не менее 20%:

Объем испытываемых характерных участков тепловой сети, оцениваемый по материальной характеристике, определяется как реальной технической возможностью проведения испытаний, так и необходимостью получения представительных результатов, которые могут быть распространены на неиспытанные участки тепловой сети. Исходя из этого, минимальный объем испытываемых участков готовой сети по материальной характеристике должен быть не менее 20% материальной характеристики всей сети.

Проведение испытаний характерных участков в меньшем объеме допускается в исключительных случаях, когда значительная часть таких участков рассредоточена по тепловой сети и не может быть объединена в циркуляционное кольцо.

Испытания по определению тепловых потерь двухтрубной водяной тепловой сети необходимо проводить на циркуляционном кольце, состоящем из подающей и обратной линий с перемычкой между ними на конечном участке кольца.

Начальный участок циркуляционного кольца образуется оборудованием и трубопроводами теплоподготовительной установки (рисунок 3.3).

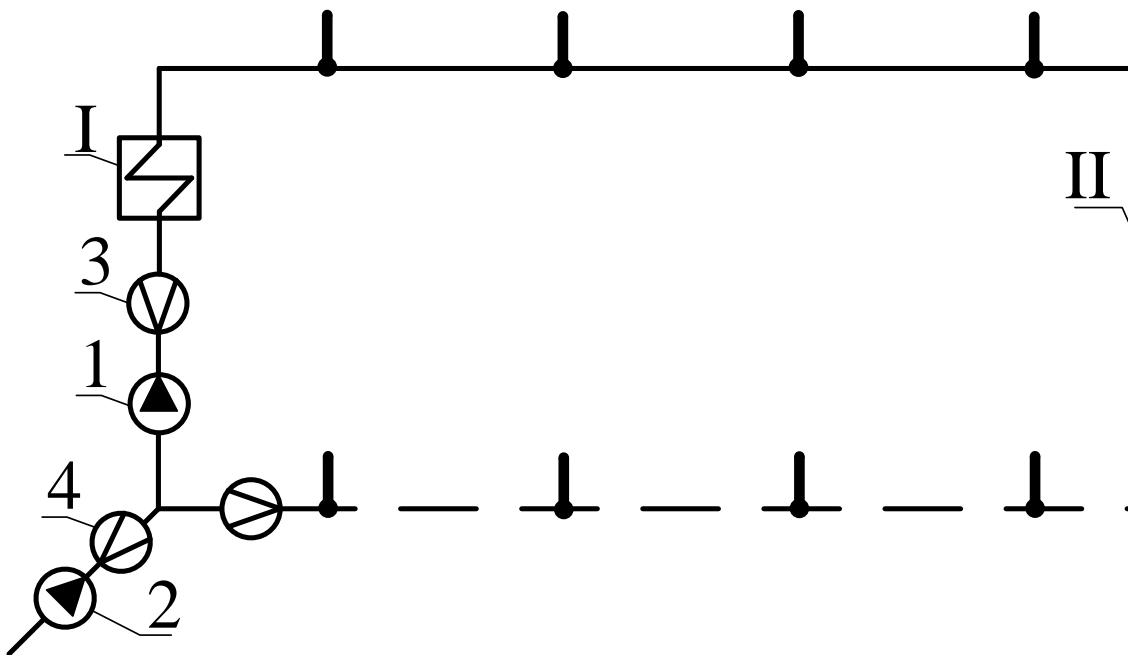


Рисунок 3.3 - Схема испытываемого циркуляционного кольца

- I — теплоподготовительная установка; II — циркуляционная переключка;
 1 — сетевые насосы; 2 — подпиточный насос; 3 — измерительная диафрагма на подающем трубопроводе; 4 — измерительная диафрагма на подпиточной линии;
 ————— подающий трубопровод; — — — — — обратный трубопровод;
 — — — — — подпиточная линия; ↓ — точка измерения температуры;

Циркуляционное кольцо состоит из ряда последовательно соединенных участков, различающихся, как правило, типом прокладки и конструкцией изоляции, а также диаметром трубопроводов. Рекомендуется проводить испытания на циркуляционном кольце, которое включает в себя основную магистраль тепловой сети, состоящую из труб наибольшего диаметра и максимальной протяженности от источника тепла. В конечный участок циркуляционного кольца могут быть включены участки распределительной (квартальной) сети. Все ответвления и отдельные абоненты, присоединенные к циркуляционному кольцу, на время испытаний отсоединяются от него.

Расход воды на всех участках циркуляционного кольца во время испытаний должен быть одинаковым и может отличаться только на величину утечки, которая должна быть минимальной.

Понижение температуры воды при этом по мере ее прохождения по циркуляционному кольцу обусловлено тепловыми потерями трубопроводов и арматуры в окружающую среду, которые могут быть определены исходя из измеренных во время испытаний расхода воды и снижения температуры. Методика расчета приведена в отчете за 3 этап работ.

3.5 Технические решения для определения тепловых потерь методом «температурной волны»

Испытания, проводимые в настоящее время, требуют создание циркуляционного контура и надёжного отключения всех потребителей и ветвей схемы тепловой сети. Поэтому применение другой методики, не требующей отключения потребителей и позволяющей проводить испытания, не нарушая режим теплоснабжения, является чрезвычайно актуальной.

Методика испытаний, изложенная в [16] позволяет путём организации нескольких волн повышения температуры сетевой воды определять расходы воды по участкам и тепловые потери.

Выбор участков сети для испытаний

Испытаниям должны подвергаться участки тепловой сети, тип прокладки и конструкции тепловой изоляции которых являются характерными для данной сети.

Характерными считаются участки тепловых сетей, доля которых в материальной характеристике всей сети составляет не менее 20%:

Объем испытываемых характерных участков тепловой сети, оцениваемый по материальной характеристике, определяется как реальной технической возможностью проведения испытаний, так и необходимостью получения представительных результатов, которые могут быть распространены на неиспытанные участки тепловой сети. Исходя из этого, минимальный объем испытываемых участков готовой сети по материальной характеристике должен быть не менее 20% материальной характеристики всей сети.

Проведение испытаний характерных участков в меньшем объеме допускается в исключительных случаях, когда значительная часть таких участков рассредоточена по тепловой сети.

На концах характерных участков закрепляются датчики, которые одновременно и непрерывно фиксируют температуру теплоносителя. Результаты записываются прибором-регистратором с заданным интервалом по времени.

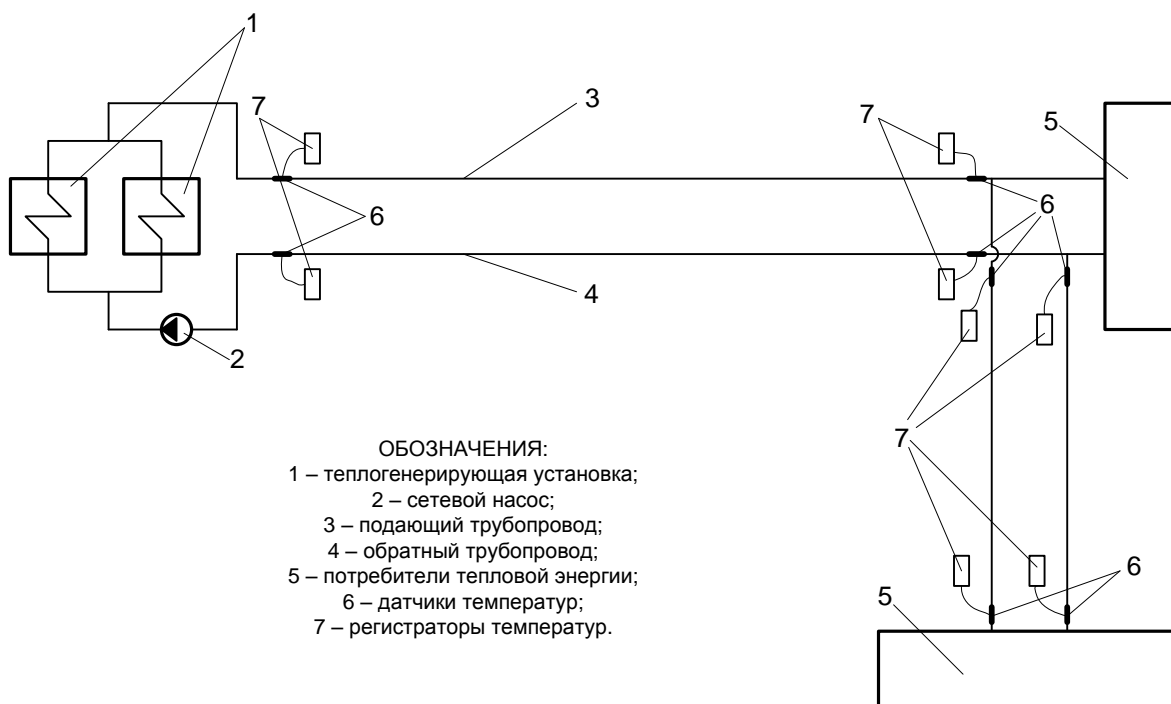


Рисунок 3.4 – Примерная схема испытываемой тепловой сети

В некоторый момент времени на источнике теплоты температура сетевой воды искусственно повышается обслуживающим персоналом, выдерживается определённое время при этом значении, а потом понижается до первоначальной величины. Датчики регистрируют изменения температуры и время замеров. График изменения температуры будет носить вид, изображённый на рисунке.

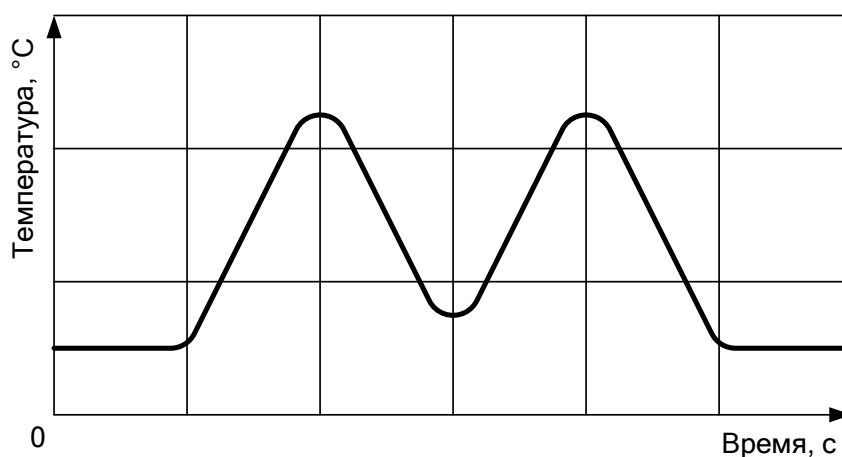


Рисунок 3.5 – График изменение температуры теплоносителя во времени

Этот характер изменения температуры зафиксируют все датчики, установленные по концам испытываемого участка на подающем и обратном трубопроводах. Отличие заключается в том, что график для конечного датчика будет сдвинут и «размыт» по времени вправо. Таким образом,

зафиксировав одну точку графика и определив время, за которое эта точка достигает конца участка, можно легко найти скорость движения воды.

Понижение средней температуры «волны» по мере ее прохождения по испытываемому участку обусловлено тепловыми потерями трубопроводов и арматуры в окружающую среду.

Расход воды на всех характерных участках во время испытаний должен быть одинаковым и может отличаться только на величину утечки.

Составление технической и рабочей программ испытаний

Перед проведением испытаний составляются техническая и рабочая программы испытаний.

Техническая программа испытаний должна содержать:

- наименование объекта, цель испытаний и их объем;
- перечень подготовительных работ и сроки их проведения;
- условия проведения испытаний;
- этапы проведения испытаний, их последовательность и ожидаемая продолжительность каждого этапа и испытаний в целом;
- режим работы оборудования источника тепла, испытываемых участков и связанных с ними тепловых сетей на каждом этапе, расчетные параметры, их допустимые отклонения и предельные значения параметров;
- режим работы оборудования источника тепла и тепловой сети после окончания испытаний;
- требования техники безопасности при проведении испытаний;
- перечень лиц, ответственных за подготовку и проведение испытаний;
- перечень лиц, согласовывающих техническую программу.

Рабочая программа испытаний должна содержать:

- перечень работ, выполняемых непосредственно перед испытаниями (подготовка оборудования, сборка схемы на источнике тепла и по сети, установка средств измерений, подготовка системы связи и сигнализации и др.), данные по исходному состоянию оборудования;
- перечень мероприятий по подготовке наблюдателей, включая проведение инструктажа по ведению измерений и действиям при отклонениях от режима и неисправностях средств измерений; проведение инструктажа по технике безопасности при испытаниях;
- перечень организаций и должностных лиц, ответственных за техническую и оперативную части испытаний;
- перечень организаций и лиц, согласовывающих рабочую программу испытаний;

- перечень и последовательность технологических операций по подготовке и проведению режимов испытаний;
- график проведения испытаний (время начала и окончания каждого этапа и испытаний в целом);
- указания о возможной корректировке графика испытаний (перерывов, повторение режимов, прекращение испытаний и др.) по промежуточным результатам испытаний;
- указания о режиме работы оборудования после завершения испытаний;
- требования техники безопасности при проведении испытаний;
- перечень лиц, ответственных за обеспечение и проведение испытаний;
- необходимые схемы, чертежи, графики.

Проведение тепловых испытаний

Осуществление разработанных температурных режимов испытаний производится в следующем порядке:

- включаются регистраторы температур на испытываемых участках тепловой сети с интервалом соответствующим расстоянию между датчиками;
- устанавливается определенный расчетом температурный режим;
- затем температура воды в подающей линии за 20-40 мин повышается на 10-20°C и поддерживается постоянной на этом уровне в течение 1 ч. Затем с той же скоростью температура воды понижается до начального значения. Эта процедура выполняется 4-5 раз;
- расход воды при режиме "температурной волны" остается неизменным;
- прохождение "температурной волны" по испытываемой сети фиксируется с интервалом 0,5 мин во всех точках наблюдения, что дает возможность определить фактическую продолжительность пробега частиц воды по каждому испытываемому участку.

Испытания считаются законченными после того, как "температурная волна" будет отмечена в обратной линии на входе в теплогенерирующую установку.

Определение фактических потерь тепловой энергии за период измерений

В результате испытаний определяются тепловые потери для каждого из участков испытываемого кольца отдельно по подающей и обратной линиям.

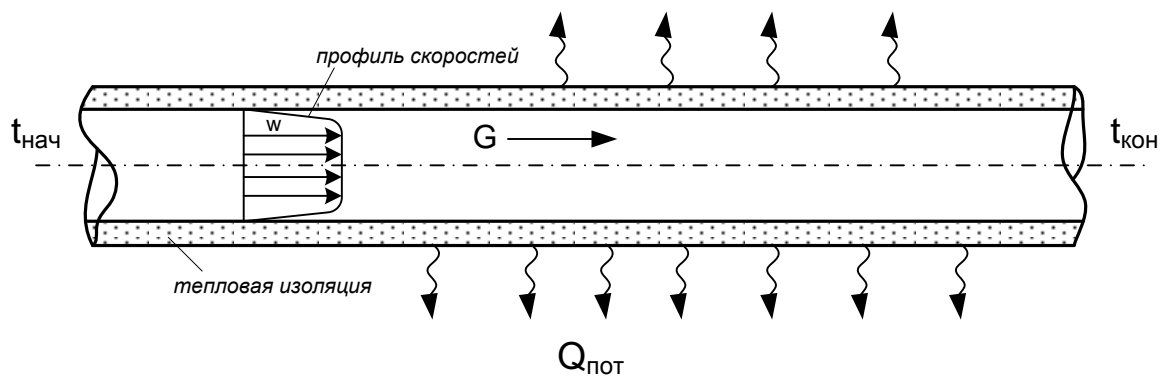


Рисунок 3.6 – Эпюра скоростей потока жидкости

По окончании испытаний полученные данные обрабатываются на компьютере по специальной программе. Характер изменения температуры зафиксируют все датчики, установленные по концам испытуемых участков на подающем и обратном трубопроводах. Отличие заключается в том, что график для конечного датчика сдвинут и «размыт» по времени вправо (рисунок 3.8).

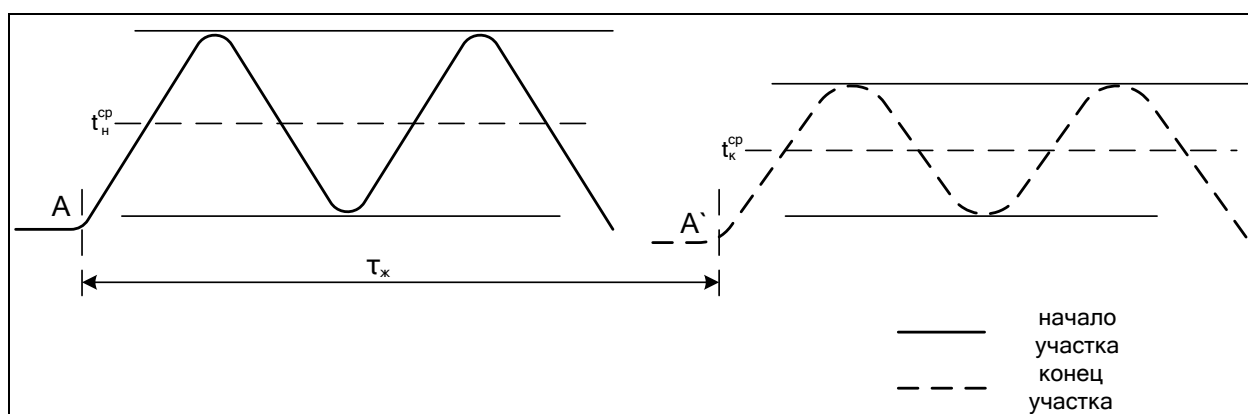


Рисунок 3.7 – Графики изменения температурной волны от начального участка до конечного

В основу определения потерь теплоты на участке трубопровода берется формула :

$$Q = 0,25 \pi d \gamma_{ж} c_p l \frac{\Delta t_{cp}}{\tau_{ж}}, \text{ кВт}$$

где:

d - внутренний диаметр трубопровода, м;

$\gamma_{ж}$ - удельный вес жидкости, кг/м³;

c_p - удельная теплоемкость жидкости, кДж/(кг·°С);

l - длина участка трубопровода, м;

Δt_{cp} - среднее значение падения температуры на рассматриваемом участке трубопровода, °С;

$\zeta_{ж}$ - продолжительность перемещения жидкости по участку при движении со средней скоростью, с.

Из уравнения видно, что основную трудность при определении теплотерь составляет входящих туда величин Δt_{cp} и $\tau_{жс}$.

Величина $\zeta_{ж}$ выражается через продолжительность прохождения температурной волны (ζ) по участку трубопровода

$$\tau_{жс} = f(\zeta) p$$

Величина ζ находится как расстояние между центрами волн на графиках температур в начальном и конечном сечениях трубопровода

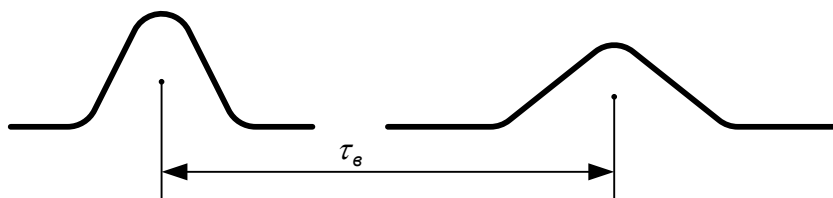


Рисунок 3.8 – Время прохождения температурной волны

Уравнение выражает зависимость между продолжительностями прохождения температурной волны и жидкости по рассматриваемому участку трубопровода. Неоднородность скоростного и температурного полей в реальных условиях течения жидкости приводит к перемешиванию, сопровождающемуся перераспределением температур. Это отражается на форме и положении температурной волны в конечном сечении трубопровода, а, следовательно, и на продолжительности перемещения температурной волны по участку трубопровода, обуславливая некоторое отклонение ζ от $\zeta_{жс}$.

На форму и положение температурной волны оказывает влияние теплообмен между жидкостью и стенками трубопровода при нестационарном температурном режиме жидкости.

При возрастании температуры жидкости, поступающей на участок, температура в конечном сечении участка будет отставать от температуры в начальном сечении в связи с частичной аккумуляцией теплоты в стенках трубопровода при их нагревании.

При понижении температуры жидкости, поступающей на участок, получается обратное: температура жидкости в конечном сечении участка будет опережать температуру в начальном сечении по той причине, что стенки трубопровода при своем охлаждении будут возвращать жидкости аккумулярованную в них теплоту. Отмеченное обстоятельство вызовет дополнительное отклонение $\bar{\tau}$ от $\bar{\tau}_{sc}$. На основании сказанного соотношение можно выразить в следующем виде:

$$\bar{\tau}_{sc} = \bar{\tau} - \delta_a, \quad (3.32)$$

где:

δ_a - поправка, выражающая отклонение продолжительности перемещения температурной волны от продолжительности перемещения жидкости, обусловленное совместным влиянием факторов «перемешивания» и «аккумуляции» на форму и положение температурной полуволны в конечном сечении потока.

Величина Δt_{cp} выражается через падение средней температуры волны Δt_e на участке трубопровода:

$$\Delta t_{cp} = f(\Delta t_e). \quad (3.33)$$

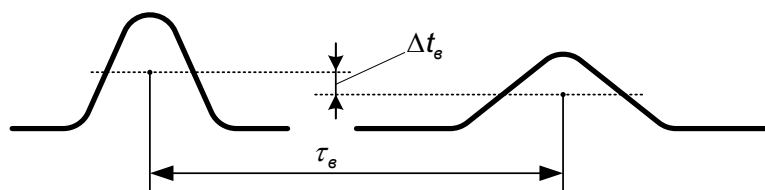


Рисунок 3.9 – Изменение формы температурной волны

Величина Δt_e находится как разность средних температур сходственных волн на графиках температур в начальном и конечном сечениях трубопровода.

Рассмотрим развитие процесса теплообмена вдоль трубы при создании температурной волны. Во входном сечении температура жидкости отличается от температуры стенки трубы. По мере движения потока между жидкостью и стенкой происходит процесс теплообмена и температура жидкости изменяется. Вначале вблизи от входного сечения изменение температуры происходит лишь в тонком слое поверхности. Затем по мере удаления от входного сечения все

большая часть потока вовлекается в процесс теплообмена. Около поверхности трубы образуется тепловой пограничный слой, толщина которого постепенно увеличивается

Следует отметить, что величина расхождения скоростей потока и волны может быть значительной.

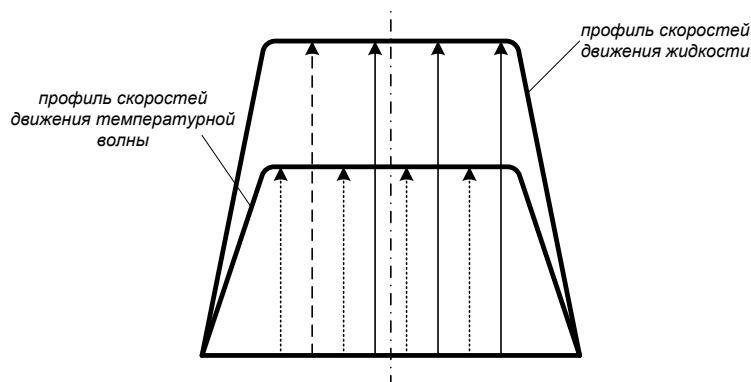


Рисунок 3.10 – Сравнение скоростей движения жидкости и температурной волны

Для увеличения точности определения фактических тепловых потерь необходимо организовать несколько температурных импульсов для создания серии волн

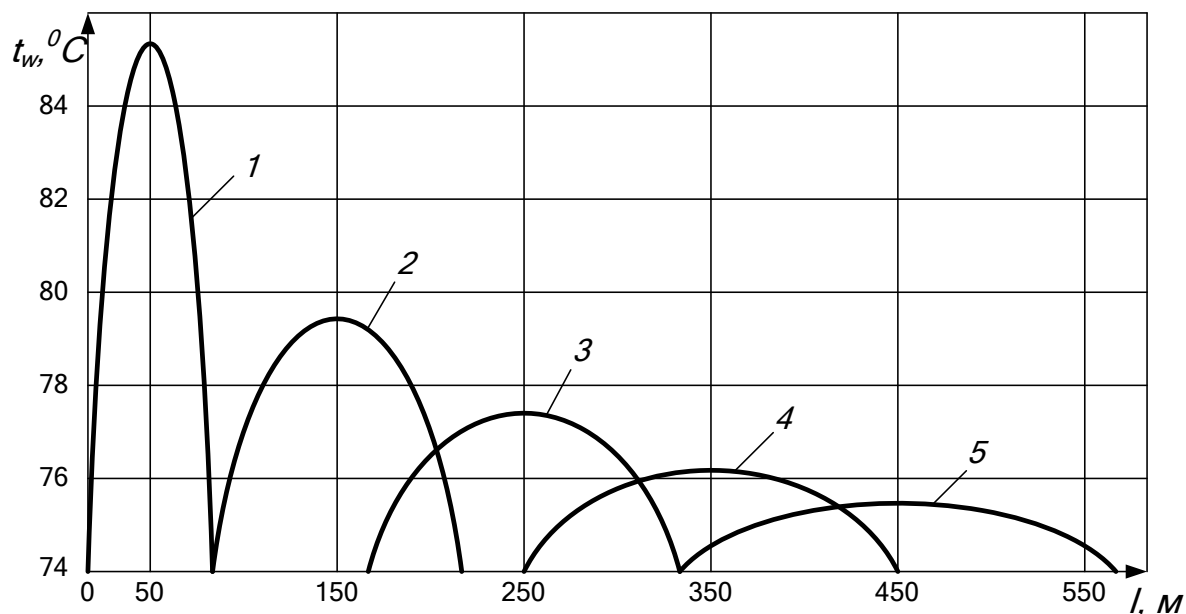


Рисунок 3.11 – Изменение размера температурной волны по длине трубопровода

В общем случае площади под кривыми и будут определять фактические тепловые потери

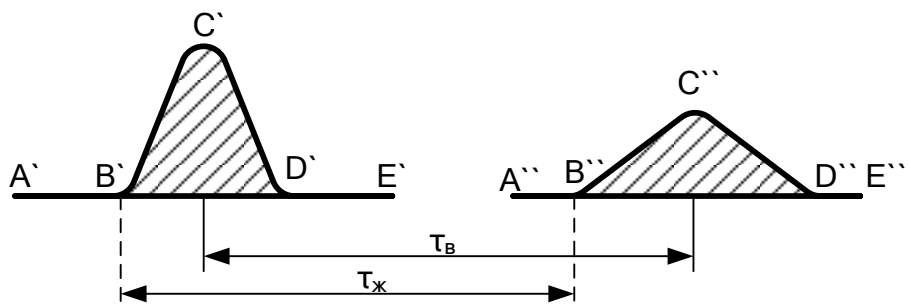


Рисунок 3.12 - Формы температурной волны для измерения тепловых потерь

Сопоставляя полученные результаты с нормативными тепловыми потерями, можно сделать вывод о техническом состоянии тепловой изоляции.

На рисунках, приведенных ниже, показан пример крепления температурных датчиков на поверхность трубопровода.



Рисунок 3.13 – Крепление датчика регистратора температуры к трубопроводу большого диаметра



Рисунок 3.14 – Крепление датчика регистратора температуры к трубопроводу большого диаметра

Выводы:

При проведении расчетов потерь тепла в тепловой сети необходимо определять нормативные потери для всех участков сети.

При наличии мелких и удаленных потребителей потери тепла с поверхности изоляции трубопроводов могут быть очень большими (десятки процентов), поэтому необходимо рассмотреть целесообразность альтернативного теплоснабжения данных потребителей.

Помимо определения нормативных тепловых потерь при транспорте теплоносителя по тепловой сети необходимо определить на отдельных характерных участках тепловой сети фактические потери, что позволит иметь реальную картину ее состояния, обоснованно выбирать участки, требующие замены трубопроводов, точнее рассчитывать стоимость 1 Гкал тепла.

Практика показывает, что скорости теплоносителя в трубопроводах тепловой сети часто имеют низкие значения, что приводит к резкому увеличению относительных потерь тепла. В таких случаях при проведении работ, связанных с заменой трубопроводов тепловой сети, следует стремиться к уменьшению диаметра труб, что потребует проведения гидравлических расчетов и наладки тепловой сети, но позволит существенно снизить затраты на приобретение оборудования и значительно уменьшить потери тепла при эксплуатации тепловой сети. Особенно это актуально при использовании современных предварительно изолированных труб. На наш взгляд близкими к оптимальным являются скорости теплоносителя 0,8-1,0 м/с.

Многочисленные измерения фактических тепловых потерь с поверхности изоляции трубопроводов тепловой сети в различных регионах страны указывают на то, что потери тепла с поверхности трубопроводов, находящиеся в эксплуатации 10-15 и более лет, при прокладке труб в непроходных каналах в 1,5-2,5 раза превышают нормативные значения. Это в случае, если нет видимых нарушений изоляции трубопровода, отсутствует вода в лотках (по крайней мере, во время проведения измерений), а также косвенных следов ее пребывания, т.е. трубопровод находится в видимом нормальном состоянии. В случае же, когда вышеуказанные нарушения присутствуют, фактические потери тепла могут превысить нормативные значения в 4-6 и более раз.

4 Разработка системы технических решений для устранения и предотвращения появления тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения потребителей.

4.1 Гидравлический распределитель.

Особенно распространена гидравлическая разрегулировка в тепловых сетях, вызываемая изменением гидравлического сопротивления системы отопления потребителя и неравномерностью потребления горячей воды, нагреваемой в теплообменниках.

Довольно простое устройство – гидравлический распределитель, который позволяет уменьшить влияние потребителей на гидравлический режим тепловой сети, что особенно важно для устойчивой и надёжной работы источников – котельных и ЦТП.

Гидравлический распределитель (более точное название с нашей точки зрения – термогидравлический распределитель) представляет из себя комплекс технических устройств, в состав которого входят: система трубопроводов источника теплоснабжения, система трубопроводов потребителей тепловой энергии – системы отопления с установкой трехходовых клапанов смешения или без них, вентиляции и горячего водоснабжения, перемычка (байпас большого диаметра) между трубопроводами прямого и обратного теплоносителя с воздухоотделителем сверху и отводом шлама снизу, а также циркуляционные насосы первичного контура (их роль могут выполнять сетевые насосы источника теплоснабжения) и циркуляционные насосы вторичных контуров – отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

Данный комплекс технических устройств (в дальнейшем сокращенно гидравлический распределитель) используется для реализации технических решений для устранения и предотвращения появления тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения.

Гидравлический распределитель, схема которого представлена на рисунке 4.1, позволяет присоединить все нагрузки потребителей – систему отопления, систему вентиляции и подогревателей горячего водоснабжения

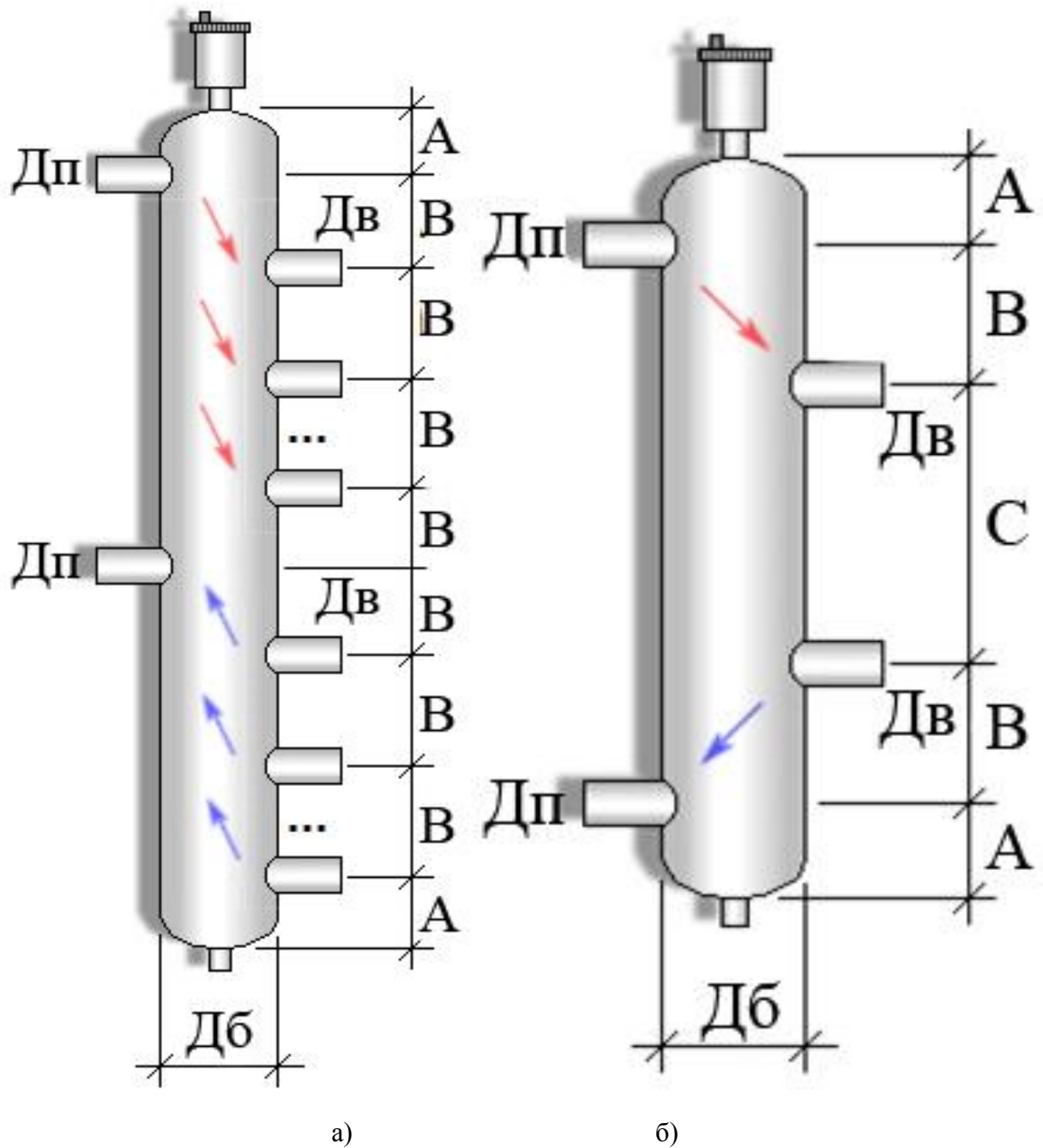


Рисунок 4.1 - Схема гидравлического распределителя: а - вертикального типа, б – коллекторного типа.

Дп – внутренний диаметр трубопроводов первичного контура; Дв – внутренний диаметр трубопроводов вторичного контура; Дб – внутренний диаметр распределителя; А, В, С – геометрические размеры.

Ввиду технической особенности гидравлического распределителя, влияние изменений сопротивлений систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения при правильном подборе геометрических размеров распределителя, не оказывает влияния на расход сетевой

воды в первичном контуре, то есть сохраняет постоянным расход, проходящий через источник теплоты и не допускает разбалансировки теплогидравлического режима тепловой сети.

Поскольку для нормальной работы теплогидравлического распределителя необходимо незначительное падение давления в нём, порядка 0,01-0,02 МПа, то это налагает определённые условия его применения.

В таблице 4.1 и 4.2 представлены результаты расчетов геометрических размеров термогидравлических распределителей двух типов – вертикального и коллекторного при определенных допущениях, указанных в примечаниях.

Таблица 4.1 - Термогидравлический распределитель вертикального типа (ТГРВ)

Типоразмер	Суммарная нагрузка потребителей, кВт	Суммарный расход в контурах потребителей, м³/ч	Диаметр трубопровода вторичного контура, Дн x S, мм	Диаметр трубопровода первичного контура, Дн x S, мм	Диаметр термогидравлического распределителя, Дн x S, мм	Геометрические размеры термогидравлического распределителя, мм		
						А	В	Н
ТГРВ-1	104	3,24	45x3	45x3	133x4	80	110	950
ТГРВ-2	130	4,05	45x3	45x3	133x4	80	120	1040
ТГРВ-3	195	6,07	57x3	57x3	159x4,5	100	150	1220
ТГРВ-4	228	7,08	76x3	57x3	219x6	100	160	1300
ТГРВ-5	260	8,10	76x3	57x3	219x6	110	160	1317
ТГРВ-6	325	10,12	76x3	76x3	219x6	120	180	1500
ТГРВ-7	390	12,14	76x3	76x3	219x6	130	190	1610
ТГРВ-8	455	14,17	76x3	76x3	219x6	140	210	1720
ТГРВ-9	520	16,19	76x3	76x3	273x7	140	220	1810

Примечание:

1) Количество потребителей - 3.

2) Распределение тепловых нагрузок потребителей:

- отопление 100% при температурном графике 95/70°C;

- вентиляция 10% при температурном графике 95/70°C;

- горячее водоснабжение 20% при температурном графике 70/30°C;

3) Нагрузка источника теплоснабжения на 10% превышает суммарную нагрузку потребителей.

Таблица 4.2 - Термогидравлический распределитель коллекторного типа (ТГРкол)

Типоразмер	Суммарная нагрузка потребителей, кВт	Суммарный расход потребителей, м³/ч	Диаметр коллектора, Дн x S, мм	Диаметр трубопровода вторичного контура, Дн x S, мм	Диаметр трубопровода первичного контура, Дн x S, мм	Диаметр термогидравлического распределителя, Дн x S, мм	Геометрические размеры термогидравлического распределителя, мм			
							A	B	C	H
ТГРкол-1	100	3,44	76x3,5	45x3,5	45x3,5	133x4,0	80	120	230	630
ТГРкол-2	150	5,16	76x3,5	57x3,5	57x3,5	159x4,5	90	140	280	740
ТГРкол-3	200	6,88	89x4	57x3,5	57x3,5	219x6,0	100	150	310	810
ТГРкол-4	250	8,60	89x4	76x3	76x3	219x6,0	110	170	340	900
ТГРкол-5	300	10,32	108x4	76x3	76x3	219x6,0	120	180	360	960
ТГРкол-6	350	12,04	108x4	76x3	76x3	219x6,0	130	190	390	1030
ТГРкол-7	400	13,76	108x4	76x3	76x3	219x6,0	140	200	410	1090
ТГРкол-8	450	15,48	133x4	76x3	76x3	273x7,0	140	210	430	1130
ТГРкол-9	500	17,20	133x4	89x4	89x4	273x7,0	150	220	450	1190

Примечание:

- 1) Нагрузка источника теплоснабжения на 10% превышает суммарную нагрузку потребителей.
- 2) Число потребителей от 1 до n.
- 3) Температурный график системы отопления потребителей 95/70.
- 4) Рабочее давление 6 ати, давление испытаний 1,25*Рраб.

На рисунке 4.2 представлены конструктивные размеры ТГР, выполненные для индивидуального теплового пункта (ИТП) гаража ИГЭУ при следующих исходных данных: максимальная нагрузка системы отопления 0,1675 Гкал/ч, максимальная нагрузка системы ГВС 0,137 Гкал/ч. Расчётные расходы теплоносителя: отопление – 6,7 м³/ч, ГВС – 4,57 м³/ч. Расчётный расход теплоносителя первичного контура ТГР – 10,11 м³/ч.

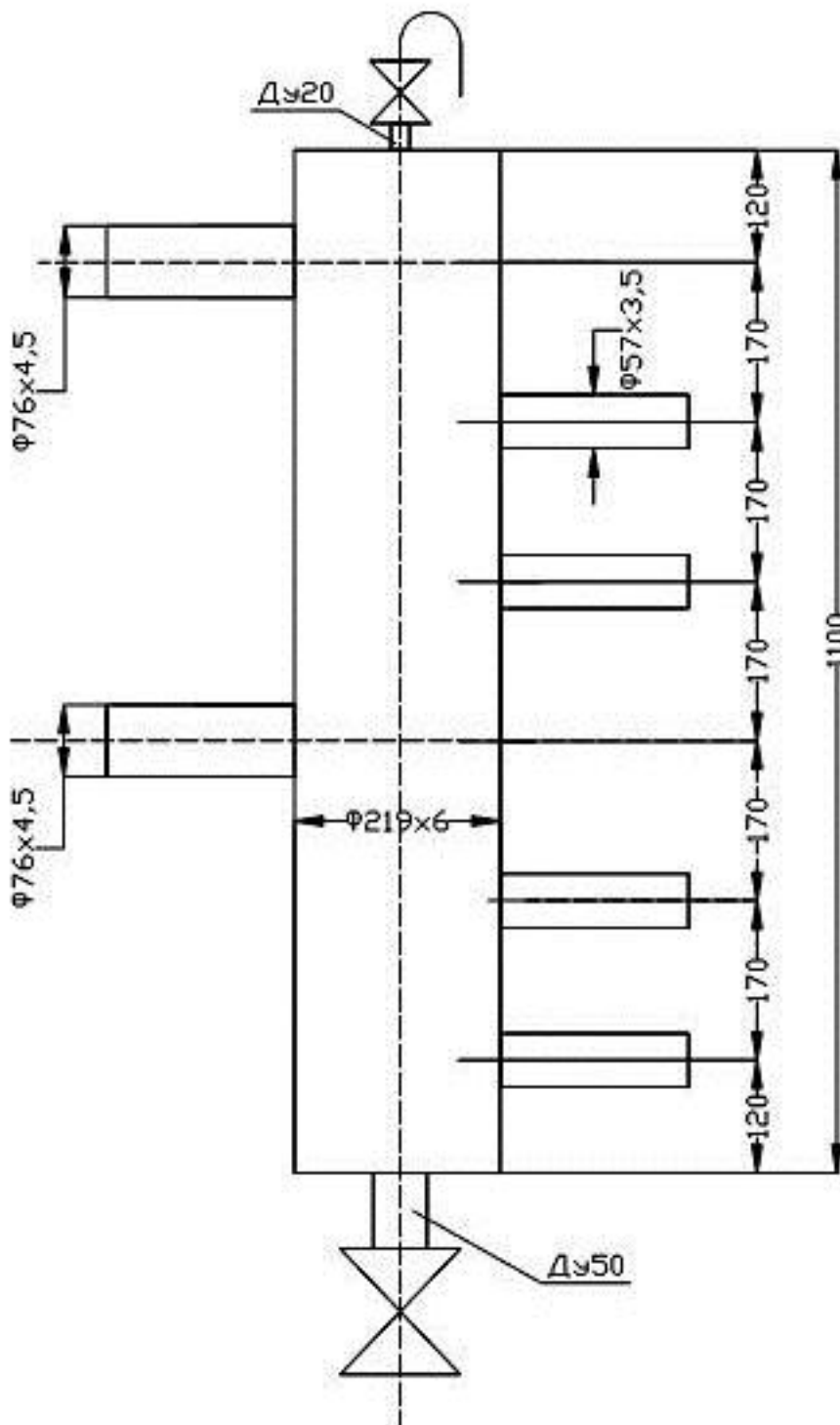


Рисунок 4.2 – Чертёж термогидравлического распределителя для гаража



Рисунок 4.3 – Фотография термогидравлического распределителя для гаража

Термогидравлический распределитель для ИТП
общежития 3 и 4

Расчётные расходы теплоносителя:
-отопление общ. 3 - 14,64 м³/ч
-отопление общ. 4 - 10,55 м³/ч
-ГВС общ. 3 и 4 - 2,91 м³/ч

Расчётный расход теплоносителя первичного
контура ТГР - 30,91 м³/ч

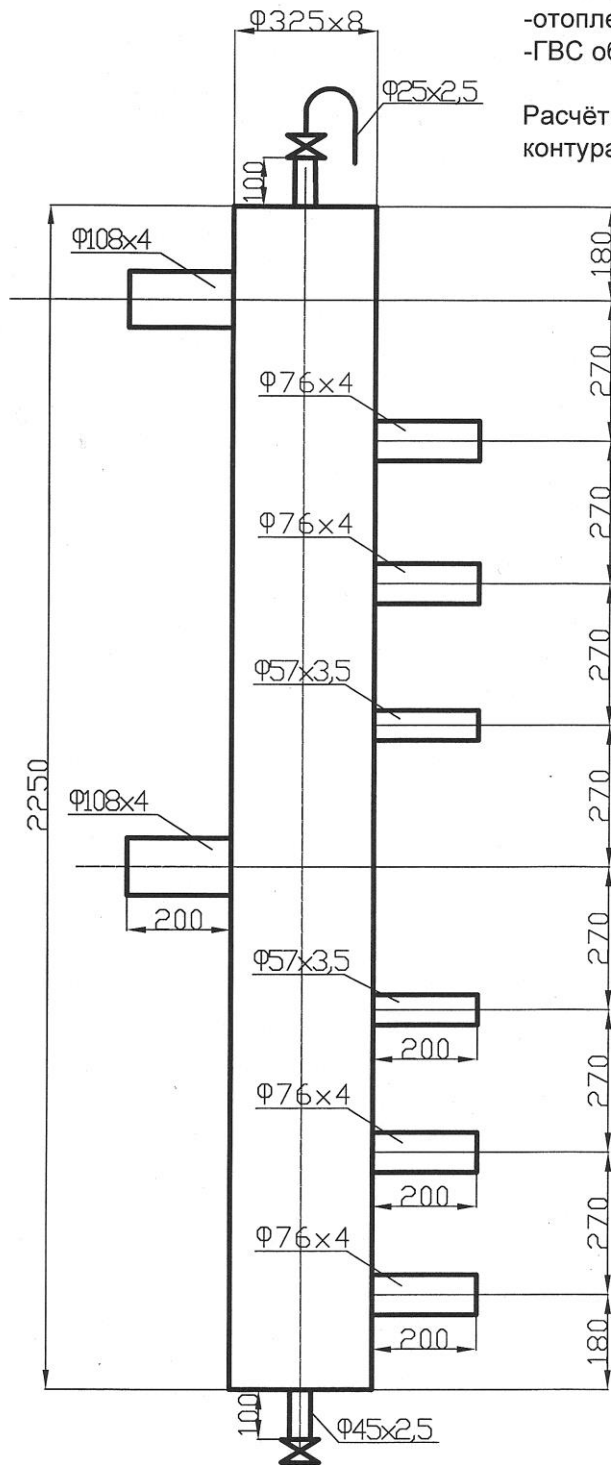


Рисунок 4.4 – Чертёж термогидравлического распределителя для общежития

Схема теплового пункта общежития №3, 4

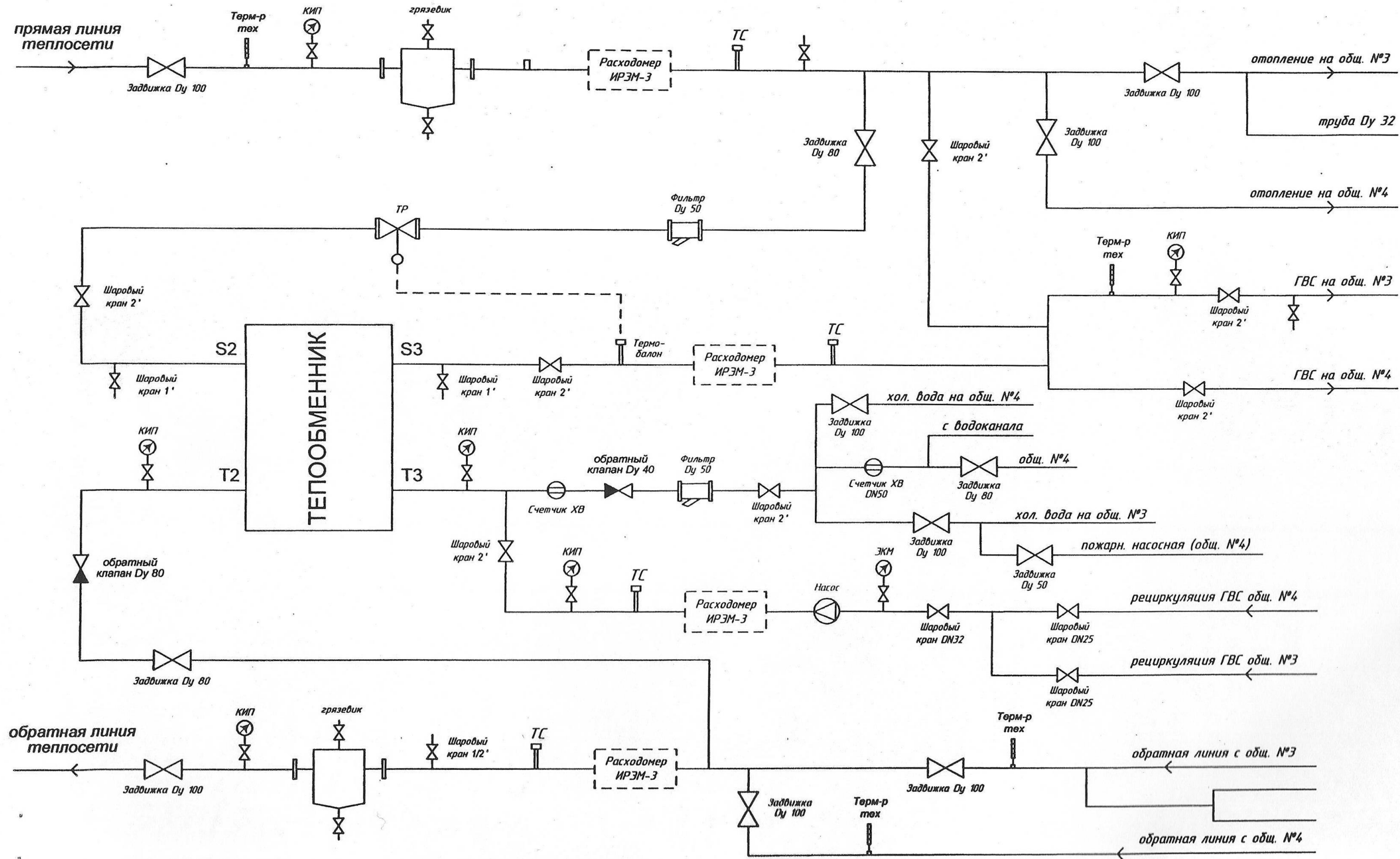


Рисунок 4.5 – Принципиальная схема теплового узла

Схема теплового пункта
общедомового №3, 4

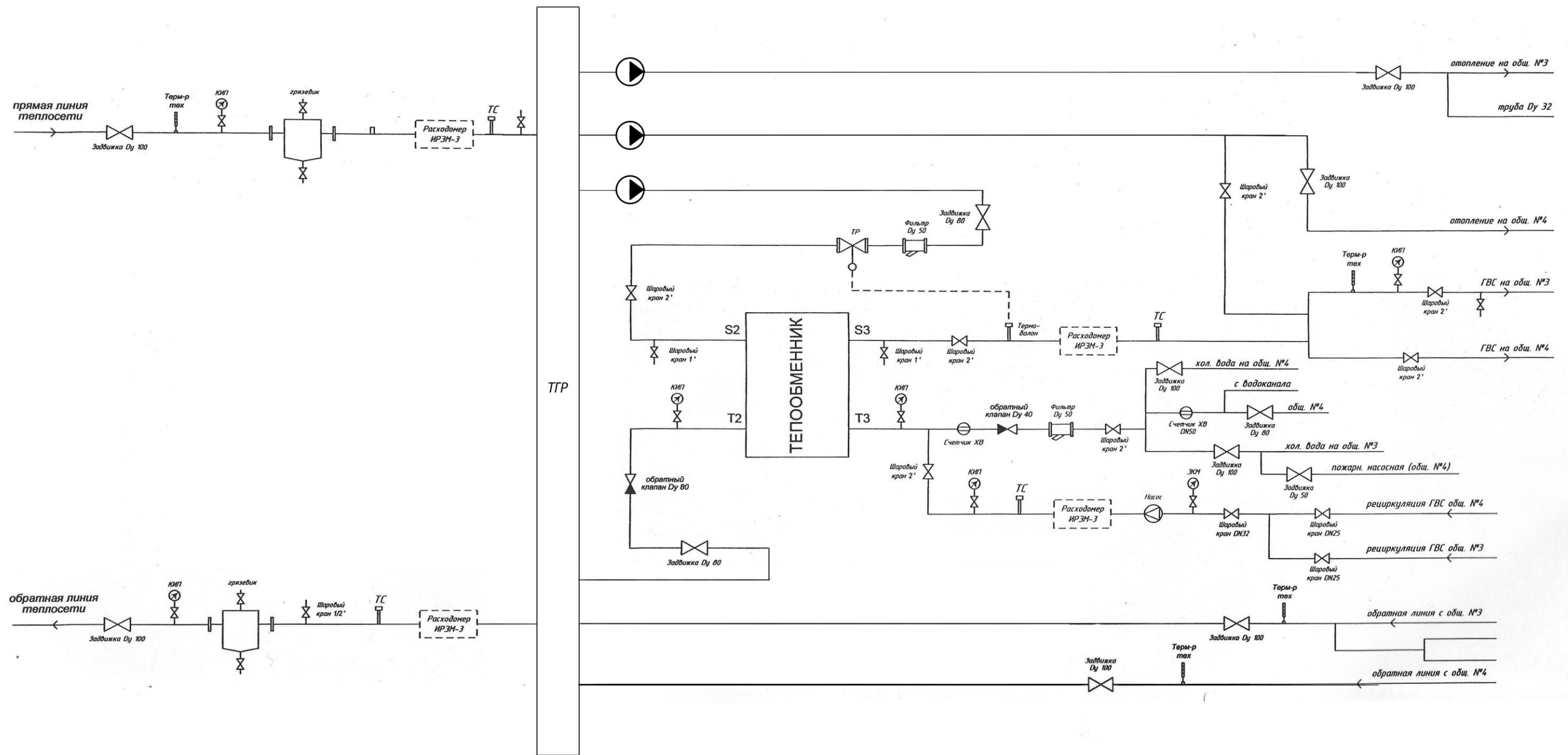


Рисунок 4.6 - Принципиальная схема теплового узла с гидравлическим распределителем

Рассмотрим пример практического применения термогидравлического распределителя в ИТП общежитий №3 и №4 ИГЭУ. На рисунке 4.5 приведена существующая тепловая схема ИТП. Как известно, нагрузка горячего водоснабжения имеет крайне неравномерный характер - водопотребление значительно возрастает в утренние и вечерние часы, а в дневное и ночное время – падает. В период максимального водоразбора система отопления общежитий недополучает необходимое количество теплоносителя и в комнатах общежитий становится холоднее. Для предотвращения тепловой и гидравлической разбалансированности системы отопления и системы горячего водоснабжения общежитий предлагается реконструировать тепловую схему ИТП общежитий, установив ТГР. Конструктивные размеры ТГР для ИТП общежитий №3 и №4, рассчитанные по специально разработанной программе, представлены на рисунке 4.4, а реконструированная тепловая схема – на рисунке 4.6.

В настоящее время выполнен наладочный тепловой расчет тепловых сетей ИГЭУ по разработанной нами программе, проводятся наладочные работы по установке шайб необходимых диаметров в ИТП зданий, а также работы по модернизации ИТП гаража и общежитий №3 и №4 путем установки в них термогидравлических распределителей.

4.2 Замена элеваторов на насосные узлы смешения.

В тепловых сетях с повышенным температурным графиком, более высоким, чем 95/70 °С, по требованию СНиП не допускается подача теплоносителя с температурой выше 95 °С. Для снижения температуры применяется подмешивание сетевой воды из обратного трубопровода. В качестве смесителя применяется водоструйный насос, или элеватор, имеющий крайне низкий коэффициент полезного действия (КПД). Его преимуществами являются: простота конструкции, отсутствие движущихся деталей и сохранение постоянным коэффициента смешения при изменении располагаемого перепада напоров перед ним [3].

Располагаемый напор в м.в.ст. перед элеватором должен быть не менее значения, определяемого по формуле [68]:

$$H_g = 1.4 \cdot h \cdot (1 + u_{см}^p)^2, \quad (4.1)$$

где:

h — потеря напора в системе отопления при расчётном расходе, м;

$u_{см}^p$ — расчётный коэффициент смешения элеватора.

Например, при температурном графике 150/70 °С $u_{см}^p = 2,2$. Если $h = 1$, то $H_g = 14,336$ м.в.ст. То есть на $\Delta H = 14,336 - 1 = 13,336$ м требуется создать большой напор на источнике. При этом увеличение затрачиваемой мощности, кВт, на привод насосов составляет [69]

$$\Delta N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{\eta \cdot 1000}, \quad (4.2)$$

где:

$\rho = 951,98 \text{ кг/м}^3$ при температуре $110 \text{ }^\circ\text{C}$ [70];

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения;

Q – подача сетевого насоса, в $\text{м}^3/\text{с}$;

ΔH – увеличение напора сетевого насоса при применении элеваторов, м.в.ст.;

$\eta = 0.6$ – КПД насоса.

Таким образом, в тепловой сети с суммарным расходом сетевой воды (циркуляцией) $10000 \text{ м}^3/\text{ч} = 2,777778 \text{ м}^3/\text{с}$ перерасход электроэнергии на перекачку составляет

$$\Delta N = \frac{951,98 \cdot 9,81 \cdot 2,777778 \cdot 13,336}{0,6 \cdot 1000} = 576,592.$$

Низкий КПД элеватора вызывает значительный перерасход электроэнергии на перекачку сетевыми насосами теплоносителя.

Рассмотрим возможность применения насосного смесительного узла (рисунок 4.2).

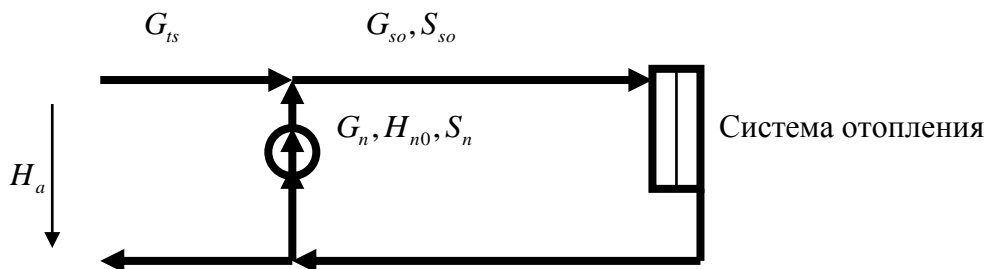


Рисунок 4.2 - Схема насосного смесительного узла тепловой сети

Использование насоса в смесительном узле требует обеспечения постоянства коэффициента смешения, обусловленного требованиями СНиП. То есть температура смеси должна быть не более $95 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коэффициент смешения

$$U_{sm} = \frac{G_n}{G_{ts}}, \quad (4.3)$$

где:

G_n — расход воды, перекачиваемой насосом из обратной линии теплосети, т/ч;

G_{ts} — расход воды, поступающей из подающей линии теплосети, т/ч.

Коэффициент смешения может быть записан через температуры воды

$$U_{sm} = \frac{t_1^p - t_3^p}{t_3^p - t_2^p}, \quad (4.4)$$

где:

t_1^p — расчётная температура сетевой воды в подающей линии, °С;

t_2^p — расчётная температура сетевой воды в обратной линии, °С;

t_3^p — расчётная температура смеси, °С.

Для поддержания постоянства коэффициента смешения возможно применение дроссельных органов или регулирование производительности насоса наиболее эффективным способом — изменением числа оборотов.

Наибольшее распространение для привода насосов имеют асинхронные электродвигатели. Их регулирование возможно изменением частоты электрического тока — с помощью частотных преобразователей.

При изменении частоты вращения колеса центробежного насоса на основе теории подобия можно получить: изменение подачи пропорционально отношению нового числа оборотов к расчётному, а изменение напора пропорционально квадрату этого отношения. Использование аналитической зависимости для характеристики насоса типа (5.1) с применением соотношений теории подобия позволяет получить уравнение характеристики насоса при изменении числа оборотов:

$$H = H_0 \cdot \frac{n_1}{n} - S_n \cdot Q^2, \quad (4.5)$$

где:

n_1 — новое число оборотов насоса, об/мин;

n — расчётное, базовое число оборотов насоса, об/мин.

Система уравнений, описывающая работу смесительного насосного абонентского узла, имеет вид:

$$\left. \begin{aligned}
 G_{so} - G_{ts} - G_n &= 0, \\
 G_n - U_{sm} \cdot G_{ts} &= 0, \\
 S_n^{(3/2)} \cdot G_n^3 + C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{so} + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot S_{so} \cdot G_{so}^2 + S_{so}^{(3/2)} \cdot G_{so}^3 - \\
 - C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_n - 2 \cdot C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{so} \cdot U_n - C \cdot S_{so} \cdot G_{so}^2 \cdot U_n + \\
 + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n^2 + C \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{so} \cdot U_n^2 - U_n^3 &= 0, \\
 S_n^{(3/2)} \cdot G_n^3 - C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_n + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n^2 - U_n^3 + C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_a - \\
 - 2 \cdot C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n \cdot U_a + C \cdot U_n^2 \cdot U_a + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_a^2 - C \cdot U_n \cdot U_a^2 + U_a^3 &= 0, \\
 U_n &= \text{sign}(H_{n0}) \cdot \frac{n_1}{n} \cdot \sqrt{|H_{n0}|}, \\
 U_a &= -\text{sign}(-H_a) \cdot \sqrt{|-H_a|}.
 \end{aligned} \right\} (4.6)$$

В системе (4.6) 6 уравнений — 6 неизвестных: $G_n, G_{so}, G_{ts}, n_1, U_n, U_a$.

Задаваясь значением независимой переменной H_a — располагаемым напором на абонентском вводе, решение системы (4.6) даёт значения искомых величин.

Зависимость числа оборотов от располагаемого напора (рис. 5.4) близка к линейной и может быть реализована в схеме частотного преобразователя. Расходы сетевой воды также близки к линейным и обеспечивают плавное изменение нагрузки системы отопления (рис. 5.5).

Эксплуатация насосного узла смешения заключается в поддержании постоянства

коэффициента смешения $U_{sm} = \frac{t_1^p - t_3^p}{t_3^p - t_2^p}$, определяемого вычислителем по значениям

температур t_1, t_2, t_3 . При значении коэффициента смешения меньше расчетного подаётся команда на увеличение числа оборотов насоса и при значении коэффициента смешения больше расчётного, подаётся команда на уменьшение числа оборотов.

4.3 Устранение «перетопа» в двухтрубных тепловых сетях в осенне-весенние периоды года

В двухтрубных тепловых сетях при подключении нагрузки отопления и горячего водоснабжения из-за необходимости поддержания в подающем трубопроводе температуры сетевой воды, обеспечивающей нагрев воды на нужды горячего водоснабжения, 60÷70 °С, в весенний и осенний периоды происходит «перетоп», то есть подача на отопление количества тепла, превосходящего необходимое. «Перетоп» вызывает сжигание дополнительного топлива в огромных размерах и ухудшает санитарно-гигиенические условия в отапливаемых зданиях.

При применяемом качественном способе регулирования тепловой нагрузки температуры в подающем и обратном трубопроводах определяются по формулам [70]:

$$t_1 = t_g + \frac{t_1^P - t_2^P}{2} \cdot \left(\frac{t_g - t_n}{t_g - t_{np}} \right) + \left(\frac{t_1^P + t_2^P - 2 \cdot t_g}{2} \right) \cdot \left(\frac{t_g - t_n}{t_g - t_{np}} \right)^{0.8}; \quad (4.7)$$

$$t_2 = t_1 - (t_1^P - t_2^P) \cdot \left(\frac{t_g - t_n}{t_g - t_{np}} \right); \quad (4.8)$$

где:

t_g — температура воздуха внутри отапливаемых помещений, °С;

t_1^P — расчётная температура сетевой воды в подающей линии, °С;

t_2^P — расчётная температура сетевой воды в обратной линии, °С;

t_n — текущая температура наружного воздуха, °С;

t_{np} — расчётная температура наружного воздуха, °С.

Для закрытой системы теплоснабжения температура в подающей линии должна быть не менее 70 °С, чтобы обеспечить нагрев в теплообменниках воды на нужды горячего водоснабжения не менее 55 °С. По температурному графику находим, что при температуре наружного воздуха выше 3 °С необходимая температура в подающем трубопроводе будет ниже 70 °С, то есть будет происходить «перетоп». Чтобы избежать этого, необходимо обеспечить температуру воды, возвращаемой в обратную линию тепловой сети, более высокую, чем по формуле (4.8) — на графике заштрихованная линия.

Устранение «перетопа» возможно применением схемы, аналогичной схеме с перемычкой и рециркуляционным насосом, используемой в водогрейных котельных [72].

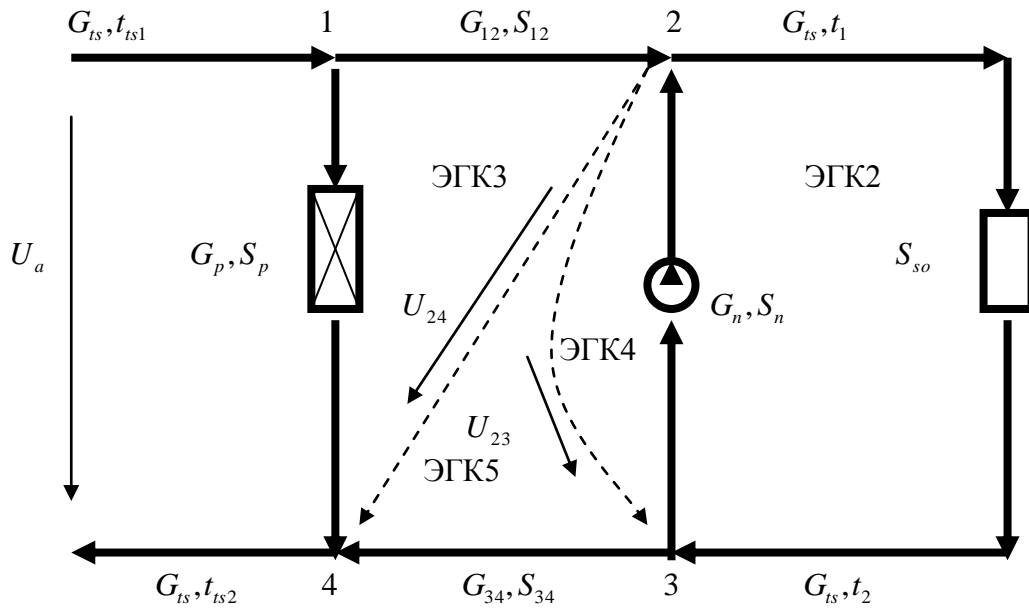


Рисунок 4.3 - Схема абонентского ввода для устранения «перетопа»

Часть воды из подающего трубопровода перетекает в обратный трубопровод по перемычке, и часть воды из обратного трубопровода рециркуляционным насосом подаётся в подающий трубопровод. При одновременном регулировании производительности насоса изменением числа оборотов и сопротивления регулируемого клапана на перемычке возможно создание необходимых температур t_1 и t_2 при $8 \geq t_n \geq 3$ °С.

Схема на рисунке 4.3 описывается тремя уравнениями 1-го закона Кирхгофа, двумя уравнениями теплового баланса и пятью кубическими уравнениями:

$$\begin{aligned}
G_{ts} - G_p - G_{12} &= 0, \\
G_{12} + G_n - G_{ts} &= 0, \\
G_{ts} - G_n - G_{34} &= 0, \\
G_{12} \cdot t_{ts1} + G_n \cdot t_2 - G_{ts} \cdot t_1 &= 0, \\
G_{34} \cdot t_2 + G_p \cdot t_{ts1} - G_{ts} \cdot t_{ts2} &= 0, \\
U_a - \sqrt{S_p} \cdot G_p &= 0, \\
-S_{12}^{(3/2)} \cdot G_{12}^3 + C \cdot S_{12} \cdot G_{12}^2 \cdot \sqrt{S_p} \cdot G_p - C \cdot \sqrt{S_{12}} \cdot G_{12} \cdot S_p \cdot G_p^2 + S_p^{(3/2)} \cdot G_p^3 - \\
-C \cdot S_{12} \cdot G_{12}^2 \cdot U_{24} + 2 \cdot C \cdot \sqrt{S_{12}} \cdot G_{12} \cdot \sqrt{S_p} \cdot G_p \cdot U_{24} - C \cdot S_p \cdot G_p^2 \cdot U_{24} - \\
-C \cdot \sqrt{S_{12}} \cdot G_{12} \cdot U_{24}^2 + C \cdot \sqrt{S_p} \cdot G_p \cdot U_{24}^2 - U_{24}^3 &= 0, \\
U_{23}^3 + C \cdot U_{23}^2 \cdot \sqrt{S_{34}} \cdot G_{34} + C \cdot U_{23} \cdot S_{34} \cdot G_{34}^2 + S_{34}^{(3/2)} \cdot G_{34}^3 - C \cdot U_{23}^2 \cdot U_{24} - \\
-2 \cdot C \cdot U_{23} \cdot \sqrt{S_{34}} \cdot G_{34} \cdot U_{24} - C \cdot S_{34} \cdot G_{34}^2 \cdot U_{24} + C \cdot U_{23} \cdot U_{24}^2 + \\
+C \cdot \sqrt{S_{34}} \cdot G_{34} \cdot U_{24}^2 - U_{24}^3 &= 0, \\
S_n^{(3/2)} \cdot G_n^3 - C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_n + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n^2 - U_n^3 + C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_{23} - \\
-2 \cdot C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n \cdot U_{23} + C \cdot U_n^2 \cdot U_{23} + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_{23}^2 - C \cdot U_n \cdot U_{23}^2 + U_{23}^3 &= 0, \\
S_n^{(3/2)} \cdot G_n^3 + C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{ts} + C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot S_{so} \cdot G_{ts}^2 + S_{so}^{(3/2)} \cdot G_{ts}^3 - \\
-C \cdot S_n \cdot G_n^2 \cdot U_n - 2 \cdot C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{ts} \cdot U_n - C \cdot S_{so} \cdot G_{ts}^2 \cdot U_n + \\
+C \cdot \sqrt{S_n} \cdot G_n \cdot U_n^2 + C \cdot \sqrt{S_{so}} \cdot G_{ts} \cdot U_n^2 - U_n^3 &= 0, \\
U_n &= \text{sign}(H_{n0}) \cdot \frac{n_1}{n} \cdot \sqrt{|H_{n0}|}, \\
U_a &= -\text{sign}(-H_a) \cdot \sqrt{|-H_a|}.
\end{aligned} \tag{4.9}$$

Анализ полученной системы уравнений показывает, что $G_p = G_n, G_{12} = G_{34}$.

Смещение потоков происходит в узлах 2 и 4, для которых можно записать выражения для коэффициентов смешения.

$$U_2 = \frac{t_{ts1} - t_1}{t_1 - t_2} \tag{4.10}$$

$$U_4 = \frac{t_2 - t_{ts2}}{t_{ts2} - t_1} \tag{4.11}$$

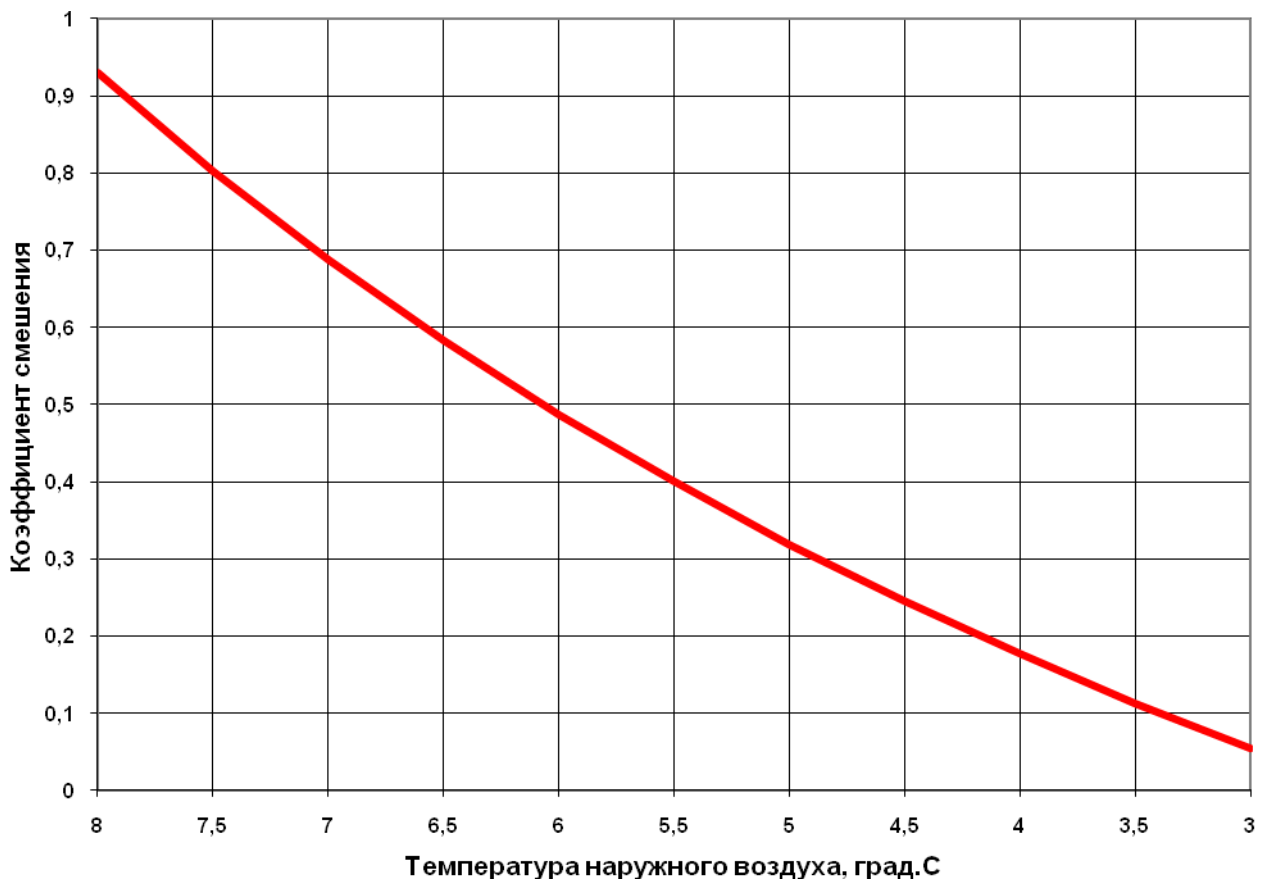


Рисунок 4.4 - График зависимости коэффициента смешения от температуры наружного воздуха.

На основании решения системы уравнений (4.9) – (4.11) производится построение графика регулирования. Коэффициент смешения в узлах схемы рисунка должен быть одинаков и равен при каждой температуре наружного воздуха значению по графику рисунка 4.4. На вычислитель подаются сигналы от датчиков только температуры. При увеличении коэффициента смешения в узле 1 выше значения на рис. подается сигнал на уменьшение числа оборотов насоса и наоборот. При увеличении коэффициента смешения в узле 2 выше значения на рисунке подаётся сигнал на увеличение сопротивления регулируемого клапана и наоборот. Таким образом, поддерживается равенство коэффициентов смешения на основе измерения лишь температур.

Выводы по главе 4

1. Разработаны конструктивные размеры теплогидравлического распределителя для различных тепловых нагрузок.
2. Составлена математическая модель по замене водоструйного элеватора насосом смешения с регулированием коэффициента смешения по измеряемым температурам.
3. Теоретически обосновано устранение «перетопа» в осеннее-весенний период отопительного сезона с помощью переключки с регулируемым сопротивлением и переключки с насосом. Определено, в качестве параметров, по которым настраивается число оборотов насоса и сопротивление клапана, являются измеряемые температуры, по которым вычислитель определяет коэффициент смешения.

5 Проведение технико-экономической оценки рыночного потенциала полученных результатов.

Для продвижения товара (услуги) на рынке необходим план маркетинга для каждого товара (услуги). Такой план определяет выбор стратегии и требуемые ресурсы. На первом этапе составления плана маркетинга, необходимо определить *потенциал рынка*, т.е. совокупный спрос на ассортимент товаров (услуг) и провести предварительную оценку *ёмкости рынка*. Спрос на ассортимент товаров (услуг) называют первичным спросом.

Текущий потенциал рынка – это предел, к которому приближается первичный спрос при совокупном объеме маркетинговых усилий, стремящихся к бесконечности в данной среде и в данный отрезок времени.

Абсолютный потенциал рынка – общий объем продаж, который наблюдался бы, если бы каждый потенциальный пользователь потреблял товар с оптимальной частотой и в максимальном объеме. Ниже приведены основные методики определения потенциала (ёмкости) рынка.

1. На основе *норм потребления*. Емкость рынка равна количеству покупателей, умноженному на норму потребления в год. При данном методе количество покупателей определяется путем проведения опросов, а также с использованием статистических данных и на основе коэффициента проникновения продукта (услуги) на рынок, а норма потребления – также путем проведения опросов – определяется кратностью покупки, умноженной на число покупок в месяц, неделю.

2. *Прямое измерение* предполагает оценку первичного спроса на основе рыночных факторов, непосредственно связанных с покупками потребителей.

3. Оценка рынка предполагает определение числа покупателей и числа покупок *на основе прошлых продаж или обследований*, при этом какие-либо факторы, тесно связанные с первичным спросом, отсутствуют.

Для оценки совокупного рыночного спроса можно использовать формулу:

$$D = n \cdot q \cdot p, \quad (5.1)$$

где:

n – число покупателей на рынке,

q – среднее количество покупок в год,

p – цена.

Следует отметить, что компания, зная абсолютный потенциал рынка, а также какую долю рынка она занимает, всегда может определить и *избирательный спрос* – спрос на свою конкретную марку и, соответственно, ожидаемый объем продаж.

4. *Метод цепного показателя* – расширенный вариант оценки абсолютного потенциала рынка. Для этого нужно знать:

n – общее количество потенциальных пользователей;

q – оптимальный уровень использования товара.

5. Метод, основанный на *статистических данных*, дает приблизительные данные, может использоваться для получения первых примерных оценок емкости рынка:

$$E \text{ (ёмкость рынка)} = П + (И-Э) + (O_n - O_k) - ВП - З. \quad (5.2)$$

Для некоторых товаров ВП и $З = 0$,

где:

П – произведено продукта внутри страны,

И – объем импорта,

Э – объем экспорта,

O_n и O_k – остатки товара на начало и конец периода в торговле,

ВП – внутреннее потребление продукта самой компанией,

З – стратегический запас (удаляется с рынка).

6. Метод на основе *исследования намерений покупателей*.

Преимущественно используется для оценки емкости рынка товаров (услуг) длительного пользования: при этом применяется индекс уверенности потребителей (опрос потребителей относительно состояния экономики вообще, их личного экономического положения, намерения о покупке в ближайшие три месяца товаров длительного пользования) и индекс отраслевой уверенности (опрос промышленных компаний – их намерений в отношении инвестиций, занятости, загрузки производственных мощностей, текущего объема заказанной и отгруженной продукции).

8. Метод *с использованием коэффициентов*, применяемый в случае, когда имеется базовая величина емкости рынка, к которой применяются понижающие и повышающие коэффициенты.

$$E = E_{баз} * K_1 * K_2 * \dots * K_n, \quad (5.3)$$

где:

K – поправочные факторы, которые влияют на емкость рынка;

$E_{баз}$ – емкость рынка (базовая) на данную категорию товаров (услуг).

Необходимо отметить, что при данной методике можно применять любые понижающие или повышающие коэффициенты, если они являются экономически обоснованными. При правильном расчете коэффициентов полученный результат – емкость рынка – будет максимально точно отражать реальную ситуацию на рынке.

Вышеперечисленные методики [49] не являются исчерпывающими, однако отражают основные подходы к расчету рыночного потенциала при продвижения товара (услуги) на рынке.

Для технико-экономической оценки рыночного потенциала разработанных технических решений по устранению тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения используем *метод ценного показателя* с использованием понижающих и повышающих коэффициентов.

Потенциал рынка использования программного продукта по устранению тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения можно оценить следующим образом. Предполагается применять программу для расчета сложных сетей тепло- и водоснабжения, которые характерны для крупных городов с населением более 100 тыс. человек. В России насчитывается на 1 января 2009 г. 167 городов с населением более 100 тыс. человек. В программе вводится понятие узел: например, 5-ти этажный жилой дом с населением 400 человек (100 квартир по 4 жителя в каждой квартире). Общее число потенциальных потребителей (емкость рынка) составляет:

$$E = 167 * 100000 / 400 = 41750.$$

Оценим объем рынка в денежном выражении. По прейскуранту [54] стоимость проведения наладочных работ с применением ЭВМ составляет в ценах 1990 г. для числа потребителей до 200 - 4050 руб., а для числа потребителей до 300 - 4800 руб. Коэффициент перерасчета – 25. Таким образом, ожидаемый объем услуг составляет $41750 * 4050 * 25 = 4220$ млн. руб.

Потенциал рынка применения в ИТП и ЦТП термогидравлического распределителя (ТГР) для тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей можно подсчитать следующим образом.. Для города с населением 100000 жителей оцениваем число зданий, где можно устанавливать ТГР, с учетом понижающего коэффициента $K = 0,2$ (принимаем, что в 20 % зданий располагаемый напор низкий и не обеспечивает надежную работу элеваторов). Тогда для города количество объектов, где необходимо установить ТГР, равняется

$$E = 100000 / 400 * 0,2 = 50.$$

Стоимость реконструкции теплового пункта с установкой ТГР можно оценить в 20000 руб. (4 циркуляционных насоса стоимость 3000-4000 руб. плюс изготовление самого ТГР, который представляет собой отрезок трубы большого диаметра). Таким образом, ожидаемый объем услуг составляет для городов с населением более 100000 жителей $167 * 50 * 20000 = 67$ млн. руб.

Для оценки потенциала рынка применения в ИТП и ЦТП насосов смешения с частотным регулированием применим аналогичные рассуждения (смотри пункт 2). Стоимость реконструкции теплового пункта можно оценить в 10000 руб. Тогда ожидаемый объем услуг составит 33-35 млн. руб.

Для оценки потенциала рынка применения схемы устранения «перетопа» в осенне-весенний период отопительного сезона количество объектов, где необходимо реализовать данную схему, равняется (значение понижающего коэффициента – 0,5)

$$E = 100000/400*0,5 = 125.$$

Ожидаемый объем услуг составляет для городов с населением более 100000 жителей (при стоимости реконструкции 20000 руб.) равняется $167*125*20000 = 417,5$ млн. руб.

Выводы по главе 5

1. Определён потенциал рынка для применения в ИТП и ЦТП теплогидравлического распределителя.
2. Определён потенциал рынка для использования в ИТП и ЦТП насосного узла смешения.
3. Определён потенциал рынка для применения схемы устранения «перетопа» в осенне-весенний период отопительного сезона.

6 Разработка проекта технического задания на ОКР (ОТР) на разработку программного продукта для устранения тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения

Проект технического задания на ОКР (ОТР) на разработку программного продукта для устранения тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения представлен в Приложении А настоящего отчёта.

Выводы по главе 6

1. Разработано техническое задание на разработку опытно-конструкторской работы (ОКР) - программного продукта для устранения тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения.

7 Проведение исследований теплогидравлических режимов тепловых сетей с потребителями, оборудованными местными установками количественного регулирования (ИТП)

По данной тематике в рамках внебюджетного финансирования выполнены научно-исследовательские работы:

I.

1. Договор №9/10 «Разработка методики, проведение обследований систем теплоснабжения и наладка гидравлического режима тепловых сетей от котельной №40 г/п. Можайск Можайского муниципального района Московской области». Объем финансирования 176 680, 92 руб.
2. Акт сдачи-приемки научно-технической продукции по договору №9/10.
3. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка методики, проведение обследований систем теплоснабжения и наладка гидравлического режима тепловых сетей от котельной №40 г/п. Можайск Можайского муниципального района Московской области»

II.

1. Договор №11/10 «Обследование, разработка и внедрение теплогидравлического режима тепловых сетей котельной «Авиационная» (новый поселок МКР Авиационная) МУП «Теплосеть» г. Домодедово». Объем финансирования 212 665,5 руб.
2. Акт сдачи-приемки научно-технической продукции по договору №11/10.
3. Отчет о научно-исследовательской работе «Обследование, разработка и внедрение теплогидравлического режима тепловых сетей котельной «Авиационная» (новый поселок МКР Авиационная) МУП «Теплосеть» г. Домодедово»

III.

1. Договор №46/10 «Проведение энергетического обследования, разработка и внесение изменений в энергетический паспорт предприятия МУП городского округа Домодедово «Теплосеть». Объем финансирования 1 500 000 руб.
2. Акт сдачи-приемки научно-технической продукции по договору №46/10.
3. Энергетический паспорт теплоэнергетического предприятия (котельные и тепловые сети).

Разработана авторами методика регулирования теплогидравлических режимов тепловых сетей с потребителями, оборудованными местными установками количественного регулирования (ИТП), реализована в программном обеспечении и использовалась при проведении исследований тепловых и гидравлических режимов тепловых сетей, энергетических обследований котельных и тепловых сетей, составлении энергетического паспорта теплоэнергетического предприятия и

разработки мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности использования ТЭР.

Результаты исследований теплогидравлических режимов тепловых сетей, выполненных по внебюджетному финансированию, приведены в Приложении Б.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения работы по предотвращению и устранению разбалансированности систем тепло- и водоснабжения проведены исследования и разработаны технические решения.

На 1 этапе.

Проведен анализ современного состояния вопроса тепловой и гидравлической разрегулированности систем тепло- и водоснабжения.

Разработана методика проведения идентификации систем тепло- и водоснабжения и методика для определения степени тепловой и гидравлической разрегулированности систем тепло- и водоснабжения.

Разработаны математические модели и получены результаты математического моделирования систем тепло- и водоснабжения.

Теоретически рассмотрена работа гидравлического распределителя, имеющего важное техническое применение для стабилизации гидравлических режимов источников тепла.

Приведены математические модели эквивалентирования: последовательных участков, последовательно-параллельных и разветвлённых схем, двухкольцевой схемы в однокольцевую.

Проведены патентные исследования.

На 2 этапе.

На основе теоретических разработок и методик, выполненных в 1 этапе работы, «Разработка систем, обеспечивающих устранение тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения», приведены результаты численных экспериментов и методик для определения тепловых потерь и регулирования теплогидравлических режимов.

Разработаны компьютерные программы на VBA, позволяющие уменьшать размерность схем сетей тепло- и водоснабжения и сравнение расчётов по эквивалентной и полной методикам. Показано, что результаты расчётов по эквивалентным методам применимы по отклонениям для инженерных расчётов.

Разработана методика определения оптимальной толщины изоляционного слоя с совместным учётом энергетических и экономических показателей. Рассмотрено снижение теплозащитных свойств материалов в процессе эксплуатации.

Разработана методика определения оптимальной толщины изоляционного слоя с учётом зависимости от теплопроводности, от различных факторов с определением стоимостных показателей.

Приведены результаты исследований и анализа применения теплоизоляционных материалов для выполнения требований СНиП. Выполнен анализ показателей, влияющих на выбор системы теплоснабжения и выбор температурного графика.

Приведены результаты влияния типов систем теплоснабжения, и видов схем абонентских вводов и тепловых пунктов.

Разработана компьютерная программа анализа процесса регулирования абонентского ввода с нагрузками отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, позволяющая подбирать необходимое оборудование и обеспечивающая стабильность теплогидравлического режима источника и подводящих сетей.

Приведены методы определения фактических тепловых потерь.

Разработана методика экспериментального определения тепловых потерь методом «температурной волны», позволяющая выполнять обследования тепловых сетей без отключения потребителей и в любое время без нарушения эксплуатационных режимов.

Приведены методики регулирования теплогидравлических режимов тепловых сетей, оборудованных местными установками количественного регулирования. Приведены результаты наладочных работ, выполненных по внебюджетному финансированию.

На 3 этапе.

Приведены материалы по разработке оптимальной толщины изоляционного покрытия тепловых сетей с совместным учётом энергетических и экономических показателей. Определены и проанализированы факторы, влияющие на тепловые потери и долговечность теплоизоляционной конструкции.

Разработана программа для определения оптимальной толщины теплоизоляции при надземном, канальном и бесканальном способе прокладки теплопроводов.

Рассмотрено влияние на оптимизацию толщины изоляции теплопроводов с совместным учётом энергетических и экономических показателей и фактора разбалансированности.

Исследовано и приведены результаты по оптимальной толщине изоляции от материала изоляции для надземной и подземной прокладки теплопроводов.

Исследовано и приведены результаты по оптимальной толщине изоляции от срока эксплуатации для надземной прокладки.

Исследовано и приведены результаты по оптимальной толщине изоляции от температуры наружного воздуха и скорости ветра.

Аналогичные материалы приведены по подземной канальной и бесканальной прокладке теплопроводов водяных тепловых сетей.

Приведены результаты по влиянию температуры сетевой воды в подающем трубопроводе при различных температурах наружного воздуха на температуру обратной сетевой воды и

температуру воздуха внутри отапливаемых помещений, а также результаты исследования влияния сопротивления отопительных систем на режим работы абонетских отопительных систем и по насосному смешивающему тепловому узлу, позволяющему значительно сократить расход электроэнергии на привод сетевых насосов. Приведена компьютерная программа, позволяющая выполнить подбор оборудования для конкретного теплового узла. Получены зависимость расходов сетевой воды и регулируемого числа оборотов насоса смешения.

Приведены результаты исследований влияния на величины потерь давления, температуры сетевой воды и тепловых потерь для теплопроводов тепловых сетей надземной, канальной и бесканальной прокладки при малых скоростях движения теплоносителя. Конкретно режим летнего горячего водоснабжения. При этом отсутствует расход воды на нужды отопления и по теплопроводам подаётся расход воды лишь для обеспечения нагрузки горячего водоснабжения. Разработаны системы уравнений, учитывающие совместное влияние гидравлических и тепловых потерь на основе решения систем дифференциальных уравнений от длины теплопроводов. Разработаны компьютерные программы и приведены результаты расчётов, показывающие потери давления, потери температуры и потери тепла в зависимости от длины теплопровода. Проведено исследование влияния повысительных насосов на теплогидравлический режим тепловой сети.

Выполнен анализ методик расчёта реальных тепловых нагрузок ГВС и определены реальные тепловые нагрузки ГВС жилыми зданиями.

Разработана методика расчёта пластинчатых теплообменников системы горячего водоснабжения и проверена её адекватность с методикой по программе CAS200.

Исследовано влияние на интенсивность теплообмена загрязнения поверхностей нагрева пластинчатого теплообменника ГВС.

Разработана схема устранения «перетопа» для двухтрубных тепловых сетей с нагрузками отопления и горячего водоснабжения.

На 4 этапе.

Разработаны технические решения по устранению и предотвращению разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения.

Составлена компьютерная программа по наладочному гидравлическому расчету радиальных тепловых сетей, по которой рассчитываются дроссельные органы, с установкой которых обеспечивается устранение разбалансированности.

Составлена компьютерная программа построения характеристик и параллельной работы насосов систем водоснабжения и теплоснабжения, позволяющая подобрать наиболее эффективный режим и обеспечить заданные расходы и напоры.

Составлена компьютерная программа обточки рабочего колеса центробежного насоса, по которой выполняется расчет для повышения КПД.

Составлена компьютерная программа построения характеристик центробежных насосов на изменение числа оборотов, обеспечивающая применение частотного регулирования центробежных насосов при переменном расходе.

Исследовано влияние состояния тепловых потерь теплопроводов и технические решения по определению их величин.

Разработаны технические решения для определения оптимальных толщин изоляции теплопроводов для различных видов прокладки.

Приведены технические разработки по определению фактических тепловых потерь с поверхности изоляции теплопроводов.

Приведены конкретные размеры гидравлических распределителей для различных нагрузок.

Разработан способ регулирования частоты вращения насоса в схеме насосного узла смешения.

Разработан способ регулирования частоты вращения насоса и сопротивления клапана в схеме устранения «перетопа».

Приведены результаты технико-экономической оценки рыночного потенциала по применению гидравлического распределителя, насосного узла смешения и схемы устранения «перетопа».

Приведен проект технического задания на ОКР (ОТР) на разработку программного продукта для устранения тепловой и гидравлической разбалансированности трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения.

Приведены результаты исследований по устранению теплогидравлической разбалансированности тепловых сетей с потребителями, оборудованными местными установками количественного регулирования (ИТП) по работам, выполненным по внебюджетному финансированию.

Библиографический список

1. МДС 41-7.2004 «Методика оценки влияния влажности на эффективность теплоизоляции оборудования и трубопроводов».
2. СНиП 41-03-2003 «Тепловая изоляция оборудования и теплопроводов».
3. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. / Е.Я. Соколов. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
4. СП 41-103-2000 «Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов»
5. Шойхет, Б. М., Овчаренко Е. Г., Мелех А. С. «Региональные нормы по тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов», опубликовано в журнале Энергосбережение №6/2000.
6. Т.Ю.Полуэктова, В.Г. Хромченков, Ю.В.Яворовский «Определение оптимальной толщины изоляции» 16-я конференция «Радиотехника, электроника и энергетика» Тез.докл., Т.3.
7. СНиП 23-01-99 «Строительная климатология».
8. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей. Справочник / В.И. Манюк [и др.] – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.
9. Бузников, Е.Ф. Водогрейные котлы и их применение на электростанциях и в котельных/ Е.Ф. Бузников, В.Н. Сидоров. – М.-Л.: Энергия, 1965. – 240 с.
10. Ерофеев, В.Н. Проектирование тепловых сетей. Учебное пособие. – Ивановский энергетический институт, 1957. – 55 с.
11. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Водяные системы теплоснабжения. Уравнения измерений тепловой энергии и количества теплоносителя. МИ 2412-97. Введена в действие с 01.09.1997 г.
12. Методические указания по составлению энергетической характеристики для систем транспорта тепловой энергии по показателю «Тепловые потери». СО 153-34.20.523-2003. Часть 3. Вводится в действие с 30.06.2003 г.
13. Генварев, А.А. Насосы, вентиляторы и воздухоподогреватели. Учебное пособие. / А.А. Генварев. – Ивановский инженерно-строительный институт. – Иваново, 1991. – 72 с.
14. Дьяконов, В.П. Maple 9 в математике, физике и образовании. Библиотека профессионала / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 685 с.
15. Водяные тепловые сети. Справочное пособие по проектированию / под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 375 с.

16. **Определение** нормативов потребления коммунальных услуг (отопление и горячее водонабжения) для жилых зданий г. Иваново на 2007 год.- х/д 39/06 / Пыжов В.К., Телегина Р.Ш., Сенников В.В. и др./.- Иваново: ИГЭУ, 2007. - 152 с.
17. **Постановление** Правительства РФ от 23 мая 2006 г. № 306. «Об утверждении Правил установления и определения нормативов потребления коммунальных услуг».
18. **Постановление** Правительства РФ от 23 мая 2006 г. №307 «О порядке предоставления коммунальных услуг гражданам».
19. **ТСН 23-307-2000 ИО.** Энергетическая эффективность в жилых и общественных зданиях. Нормативы по теплозащите зданий. /Госстрой России.- М.: ФГУП ЦПП, 2000. – 30 с.
20. **СниП 23-02-2003.** Тепловая защита зданий. /Госстрой России.- М.: ФГУП ЦПП, 2003. – 26 с.
21. **СП 23-101-2004.** Проектирование тепловой защиты зданий. /Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП 2004. -144 с.
22. **Методика** распределения общедомового потребления тепловой энергии на отопление между индивидуальными потребителями на основе показаний квартирных приборов учета теплоты (МДК 4-07.2004).
23. **СНиП 2.04.01-85*.** Внутренний водопровод и канализация зданий./Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2000. – 60 с.
24. **СНиП 41-01-2003.** Отопление, вентиляция, кондиционирование. /Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2003. –82 с.
25. **СНиП 23-01-99*(2003).** Строительная климатология. /Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 2003 – 80 с.
26. **ГОСТ 30494-96.** Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата. /Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 1999. –14 с.
27. **ГОСТ 31168-2003.** Жилые здания. Метод определения потребления тепловой энергии на отопление. /Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 2003. – 18 с.
28. **ГОСТ 31169-2003.** Здания и сооружения. Метод определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях. /Госстрой России.- М.: ГУП ЦПП, 2003.– 16 с.
29. **Методические указания** по проведению энергоресурсаудита в жилищно-коммунальном хозяйстве (МДК 1-01.2002).
30. **Комплексная методика** по обследованию и энергоаудиту реконструируемых зданий.
31. **Приказ Госстроя России № 202 от 10.06.2003 г.** Об утверждении методических рекомендаций и типовых программ энергетических обследований систем коммунального энергоснабжения.

32. **Богословский В.Н., Сканави А.Н.** Отопление: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.: ил.
33. **Внутренние санитарно-технические устройства.** В 3-х ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирования воздуха. Кн.2/ В.Н.Богословский, А.И.Пирумов, В.Н.Посохин и др. Под ред. Н.Н.Павлова и Ю.И.Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп.-М.: Стройиздат, 1992. – 312 с: ил. – (Справочник проектировщика).
34. **Исаев В. Н., Сангмамадов Ф.** Развитие нормативной базы внутреннего водопровода // Водоснабжение и санитарная техника. 1993.- № 1. С. 6—9.
35. **Шопенский Л. А.** Исследования режимов работы водопроводов жилых зданий: Автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1968.
36. **Шопенский Л.А., Юрьева И. П.** Построение расчетных графиков водопотребления // Санитарная техника. Сб. науч. тр. М.: НИИ санитарной техники, 1970. - Вып. 34. С. 27—32.
37. **Шопенский Л.А., Кожина А.Л.** Совершенствование норм водопотребления для жилых здания // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 11. С. 25-27.
38. **Гейнц В.Г.** О расчете обеспеченности расходов воды в системах водопроводов жилых зданий // Санитарно-техническое оборудование. Сб. науч. тр. М.: НИИ санитарной техники, 1972. - Вып. 37. С. 46—48.
39. **Гейнц В.Г., Обельченко И.О.** Об определении размеров утечек в водопроводах жилых зданий // Отопительное оборудование, санитарно-технические приборы и арматура. Сб. науч. тр. М.: НИИ санитарной техники, 1974. - Вып. 34. С. 54—58.
40. **Мхитарян М.Г.** Совершенствование водоснабжения микрорайонов с целью сокращения потерь воды: Автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1988.
41. **Инструкция по проектированию** внутренних систем водоснабжения и канализации жилых и общественных зданий / ЦНИИЭПИО. М., 1978.
42. **Вербицкий А.С., Лякмунд А.Л.** Интегральные функции распределения расходов воды. Инженерное обеспечение строительства // Экспресс-информация. М.: ВНИИС, 1986.- Вып. 2. С. 2—10.
43. **Рекомендации по определению расходов воды в системах холодного и горячего водоснабжения** // Экспресс-информация. М., 1987. - Вып. 1, 2. (Строительство и архитектура).
44. **СП 41-101-95.** Проектирование тепловых пунктов. /Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 1996. – 82 с.
45. **РД 26-01-107-86.** Теплообменники пластинчатые. Методы тепловых и гидромеханических расчетов. – Харьков: УкрНИИХиммаш, 1986. – 106 с.

46. **Справочник** по теплообменникам: пер. с англ./под ред. О.Г. Мартыненко. Т.2 – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.
47. **Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Хавин Г.Л., Арсеньева О.П.** Пластинчатые теплообменники в промышленности; учеб. пособие. – Харьков: Изд-во национ. технич. универ-та Харьковского политехнического института, 2004. – 236 с.
48. **Инструкция** по использованию программного обеспечения CAS200. Alfa Laval Russia, 1998. – 18 с.
49. **Туроверова В.И.** Маркетинговая аналитика: систематизация методик определения рыночного потенциала (емкости) рынка, http://www.buk.irk.ru/library/sbornik_07/turoverova.doc
50. **Азоев Г.Л.** Материалы семинара для преподавателей российских программ МВА по курсу «Маркетинг». 9-11 октября 2006 г. –М., 2006.
51. **Ассэль Г.** Маркетинг: принципы и стратегия: Учебник для вузов. – М.: ИНФРА-М, 2001. – XII, 804 с.
52. **Гайдаенко Т.А.** Маркетинговое управление. Полный курс МВА. Принципы управленческих решений и российская практика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Эксмо, 2006. – 496 с.
53. **Ламбен Жан-Жак.** Менеджмент, ориентированный на рынок. – СПб.: Питер, 2006. – 800 с.
54. **Прейскурант №26-05-204.** Книга 2 «Наладка энергетического оборудования»– М.: 1990.
55. **Давиденко, Д. Ф.** Об одном новом методе численного решения систем нелинейных уравнений. / Д. Ф. Давиденко. //Доклады Академии Наук СССР. – 1953. – Том LXXXV111, – №4. – С. 601-602.
56. **Ортега, Дж.** Итерационные методы решения нелинейных систем уравнений со многими неизвестными / Дж. Ортега, В. Рейнболдт. – М. : Мир, 1975. –558 с.
57. **Кокс, Д.** Идеалы, многообразия и алгоритмы. Введение в вычислительные аспекты алгебраической геометрии и коммутативной алгебры / Д. Кокс, Дж. Литтл, Д. О’Ши. – М. : Мир, 2000. – 687 с.
58. **Аржанцев, И. В.** Системы алгебраических уравнений и базисы Гребнера. Курс лекций / И. В. Аржанцев. – М. : МАКС Пресс, 2002. – 87 с.
59. **Дьяконов, В. П.** Maple 9 в математике, физике и образовании. Библиотека профессионала / В.П. Дьяконов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 685 с.
60. **Millar, By William.** CXY1. Some General Theorems for Non-Linear Systems Possessing Resistance / By William Millar // Atomic Energy Research Establishment, Harwell. [Revised MS, received June 8, 1951].
61. **Бриллинг, В. С.** Аналитический расчет сети труб / В. С. Бриллинг // Тр. / Томск. электромех. ин-та ж.-д. трансп. – 1948. – Т. 13. – С. 30-57.

62. **Трайбус**, М. Термостатика и термодинамика / М. Трайбус. – М. : Энергия, 1970. – 502 с.
63. **Генварев**, А. А. Асимптотическое эквивалентирование гидравлических сетей. Монография / А. А. Генварев. – Иваново : Ивановский инженерно-строительный институт, 1993. –137 с.
64. **Генварев**, А. А. Асимптотическое эквивалентирование гидравлических сетей: диссертация канд. техн. наук : 05.23.03 : защищена 27.06.95 : утв. 10.11.95 / Генварев Алексей Александрович. – Иваново, 1995. – 190 с. – Библиогр.: с. 105–108.
65. **Ван дер Варден**, Б. Л. Алгебра / Б. Л. Ван дер Варден. – М. : Наука, 1979. – 624 с.
66. **Калинина**, Е. А. Теория исключения. Учебное пособие / Е.А. Калинина, А. Ю. Утешев. – СПб. : НИИ химии СПбГУ, 2002.
67. **Грэнвиль**, В. Курс дифференциального и интегрального исчислений. Часть 1. Дифференциальное исчисление / В. Грэнвиль, Н. Лузин. – М.– Л. : Государственное технико-теоретическое издательство, 1933. – 586 с.
68. **Апарцев**, М. М. Наладка водяных систем централизованного теплоснабжения. Справочное пособие / М. М. Апарцев. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 203 с.
69. **Карелин**, В. Я. Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаев. – М. :Стройиздат, 1986. – 320 с.
70. **Наладка** и эксплуатация водяных тепловых сетей. Справочник / В. И. Манюк [и др.]. – М. : Стройиздат, 1988. – 432 с.
71. **Генварев**, А. А. Насосы, вентиляторы и воздуходувки. Учебное пособие / А. А. Генварев. – Ивановский инженерно-строительный институт. – Иваново, 1991. – 72 с.
72. **Бузников**, Е. Ф. Водогрейные котлы и их применение на электростанциях и в котельных / Е. Ф. Бузников, В. Н. Сидоров. – М.-Л. : Энергия, 1965. –240 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования

**Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И.Ленина**

УДК 621.1.016
N госрегистрации 01200959558
Инв. N

УТВЕРЖДАЮ
Проректор университета
по научной работе
_____ Тютиков В.В.
“ ” _____ 2010 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**Технические решения для определения степени тепловой и гидравлической
разрегулированности систем тепло- и водоснабжения**

(обязательное)

государственный контракт № 02.516.11.6195 от 26 июня 2009 г.

Шифр «2009-06-1.6-31-25-022»

**Этап 4. Разработка технических решений для устранения тепловой и гидравлической
разбалансированности трубопроводных
сетей тепло- и водоснабжения
(заключительный)**

Начальник НИСа

подпись, дата

Таланов С.Б.

Руководитель темы

подпись, дата

Созинов В.П.

Иваново 2010

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования

**Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И.Ленина**

УДК 621.1.016
N госрегистрации 01200959558
Инв. N

УТВЕРЖДАЮ
Проректор университета
по научной работе
_____Тютиков В.В.
“__” _____ 2010 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Результаты исследований теплогидравлических режимов тепловых сетей с потребителями,
оборудованными местными установками количественного регулирования (ИТП)
(обязательное)**

государственный контракт № 02.516.11.6195 от 26 июня 2009 г.

Шифр «2009-06-1.6-31-25-022»

**Этап 4. Разработка технических решений для устранения тепловой и гидравлической
разбалансированности трубопроводных
сетей тепло- и водоснабжения
(заключительный)**

Начальник НИСа

подпись, дата

Таланов С.Б.

Руководитель темы

подпись, дата

Созинов В.П.

Иваново 2010

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Министерство образования и науки
Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования

Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И.Ленина

УДК 621.1.016
N госрегистрации 01200959558
Инв. N

УТВЕРЖДАЮ
Проректор университета
по научной работе
_____ Тютиков В.В.
“ ___ ” _____ 2010 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Разработка проекта технического задания на ОКР (ОТР) на разработку программного
продукта для устранения тепловой и гидравлической разбалансированности
трубопроводных сетей тепло- и водоснабжения**

(обязательное)

государственный контракт № 02.516.11.6195 от 26 июня 2009 г.

Шифр «2009-06-1.6-31-25-022»

**Этап 4. Разработка технических решений для устранения тепловой и гидравлической
разбалансированности трубопроводных
сетей тепло- и водоснабжения
(заключительный)**

Начальник НИСа

подпись, дата

Таланов С.Б.

Руководитель темы

подпись, дата

Созинов В.П.

Иваново 2010

