

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ИННОВАЦИОННЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 658.264

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И МАТЕРИАЛЬНЫХ БАЛАНСОВ ПХЗ

Магистерская диссертация на соискание
академической степени магистра теплоэнергетики
по специальности 6N0717 – ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

ПАВЛОДАР 2011

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ИННОВАЦИОННЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Допущен к защите:

зав. кафедрой теплоэнергетики и металлургии,

доктор технических наук, профессор _____ А.С.Никифоров

(подпись)

«__» _____ 20__ г.

Магистерская диссертация
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И МАТЕРИАЛЬНЫХ БАЛАНСОВ ПХЗ
специальность 6N0717 – ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Магистрант _____ К.Н.Попик

(подпись)

Научный руководитель,

доктор технических наук _____ А.С.Никифоров

(подпись)

ПАВЛОДАР 2011

РЕФЕРАТ

Диссертация магистра теплоэнергетики, 65 с., 2 рис., 7 табл., 34 ист., 1 прикладная программа.

ТЕПЛОВОЙ И МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПАВЛОДАРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Объектом исследования является *система трубопроводного транспорта тепла ТЭЦ-3 - АО «Каустик»*

Цель работы заключается в анализе теплового состояния системы трубопроводного транспорта тепла на АО «Каустик», проведение анализа состояния тепловой изоляции и тепловых потерь.

Энергосбережение всех видов энергоносителей является одним из приоритетных направлений развития Республики Казахстан. Его необходимо применять не только на этапе выработке, но и при транспортировке и потреблении энергии.

В настоящее время состояние основной части тепловых сетей на территории нашего государства оставляет желать много лучшего. Наблюдается не только их общая изношенность, но и неподобающее состояние тепловой изоляции. Всё это приводит к неоправданно большим потерям тепловой энергии при транспортировке её до потребителя.

В данной работе проводится анализ состояния тепловой изоляции системы трубопроводного транспорта тепла на АО «Каустик». Был составлен алгоритм вычислений и на его основе создана прикладная программа. Проведён сравнительный анализ использования различных видов тепловой изоляции, и выработаны рекомендации по её применению.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СИСТЕМА ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА ТЕПЛА АО «КАУСТИК»	7
2 МЕТОДИКА РАСЧЁТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИИ	10
2.1 Математическая модель задачи	10
2.2 Алгоритм работы программы	11
2.3 Описание особенностей программы	13
2.4 Сравнение результатов вычислений	14
3 ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИИ	15
3.1 Расчёт удельных тепловых потерь неизолированного трубопровода	15
3.2 Расчёт толщины тепловой изоляции	25
3.2.1 Теплоизоляционный материал - Маты минераловатные прошивные в обкладке из металлической сетки или стеклоткани	26
3.2.2 Теплоизоляционный материал – Пенополиуретан	32
3.3 Расчёт среднегодовых и среднемесячных тепловых потерь трубопровода	38
3.4 Анализ тепловых потерь	52
4 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДА	53
4.1 Затраты при использовании матов из минеральной ваты, прошивных, в обкладке из металлической сетки или стеклоткани	53
4.2 Затраты при использовании в качестве теплоизоляционного материала пенополиуретана	56
4.3 Рекомендации	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	60
ПРИЛОЖЕНИЯ	62

ВВЕДЕНИЕ

Энергосбережение всех видов энергоносителей является одним из приоритетных направлений развития Республики Казахстан. Его необходимо производить не только при выработке, но и при транспортировке и потреблении энергии. Лишь внедрение на всех этапах позволит говорить об эффективном использовании энергии. Иначе как можно говорить о внедрении энергосбережения, если с таким затратами на производство, добытая энергия имеет потери превосходящие все разумные пределы.

Энергосбережение в теплотехнике, теплоэнергетике и теплоэнергетических технологиях необходимо сориентировать по нескольким основным направлениям: в системах электроснабжения, в вопросах теплообмена, в теплогенерирующих установках, котельных и тепловых сетях, в теплоэнергетических технологиях, в зданиях и сооружениях, а также за счет использования вторичных ресурсов и альтернативных источников энергии.

Энергосбережение в тепловых сетях касается вопросов повышения качества воды для систем теплоснабжения, использования современных теплообменников на тепловых пунктах, установки приборов расхода воды и учета теплоты, применения современных технологий тепловой изоляции, замены элеваторных узлов на смесительные установки с датчиками температуры и расхода [27].

Состояние тепловых сетей как Казахстана в целом, так и Павлодара в частности, оставляют желать много лучшего. Тепловые потери достигают тридцати и более процентов [30]. Основным видом теплоизоляционного материала является минеральная вата, которая во многих случаях повреждена, либо вообще отсутствует, а также отличается повышенной влажностью и соответственно сниженными теплоизоляционными свойствами. Практически все системы трубопроводного транспорта тепла были введены в эксплуатацию ещё в советское время и отличаются большой изношенностью, их ремонт производится лишь частично по мере выхода из строя.

Цель работы: исследование теплового состояния системы трубопроводного транспорта тепла АО «Каустик»

Задачи исследования:

- анализ состояния тепловой изоляции системы трубопроводного транспорта тепла АО «Каустик»
- разработка математической модели
- составление алгоритма расчёта и программы
- выполнение расчёта и выработка рекомендаций по системе трубопроводного транспорта тепла АО «Каустик»

Актуальность

Расчёт и применение эффективной толщины изоляции является одним из главных способов снижения тепловых потерь в системах трубопроводного

транспорта тепла. Для него применяются как инженерные расчёты, так и расчёты с применением вычислительных машин и программного обеспечения. Расчёты с применением различных прикладных программ отличаются меньшими затратами по времени и более высокой точностью, вследствие чего находят всё большее применение.

Новизна

Программы для расчёта толщины тепловой изоляции не являются сами по себе чем-то новым. Но имеют каждая свои особенности как то: Иностранный язык интерфейса, узкая направленность по каком-то отдельному теплоизоляционному материалу, отсутствие наглядности процесса вычисления, необходимость покупки лицензии для пользования программой и др.

Написанная мною программа предназначена для двухтрубных тепловых сетей (подающий и обратный трубопроводы) с температурами 115 °С и 70 °С соответственно, надземной прокладки.

Она объединяет в себе:

- вычисление удельных тепловых потерь для различных диаметров труб и теплоносителей, с климатическими данными по двадцати двум городам Казахстана;
- нахождение толщины пятнадцати видов изоляции для различных диаметров труб и теплоносителей;
- определение среднегодовых тепловых потерь трубопровода для различных диаметров труб и теплоносителей, с возможностью выбора длин участков и количества часов работы тепловой сети.

Также она может отобразить исходную формулу для проверки результата расчётов.

В нижеприведённой работе будет рассмотрены особенности программы и произведёны расчёт тепловых потерь неизолированного трубопровода и расчёт тепловой изоляции для системы трубопроводного транспорта тепла ТЭЦ-3 - «Каустик»

1 СИСТЕМА ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА ТЕПЛА АО «КАУСТИК»

Павлодарское акционерное общество «Каустик» Предприятие, вошедшее в программу «30 корпоративных лидеров Казахстана», создано на территории бывшего Павлодарского химзавода, входит в программу «30 корпоративных лидеров Казахстана».

Было создано в 2002 году в качестве дочерней структуры разорившегося химзавода. В 2004 году АО «ЦАТЭК» выкупило дочернюю структуру, а после процедуры банкротства в 2007 году - и то, что осталось от самого химзавода.

Размещение химического производства именно в Павлодарской области объясняется наличием здесь постоянных источников сырья – солёных озёр. Их соль и послужит основным ингредиентом производимой продукции. Кроме того, Павлодарская область имеет в Казахстане славу крупного индустриального региона, здесь есть необходимый профессиональный и научный потенциал, использование которого позволит максимально повысить рентабельность производства [32].

Система трубопроводного транспорта тепла досталась в наследство от Павлодарского химического завода (ПХЗ), основанном в 1973 году и введённом в эксплуатацию в 1978 году. Сами тепловые сети были проложены в тот же период и не подвергались каким-либо кардинальным изменениям и капитальным ремонтам: первоначально по причине относительной «молодости», а затем вследствие отсутствия денежных средств, по причине развала советского союза.

Тепловая энергия поступает от Павлодарской ТЭЦ-3, расположенной также в северной промышленной зоне. Общая протяжённость систем трубопроводного транспорта тепла составляет порядка 13,9 километра, с учётом разветвлений на самом предприятии, что не так много. Но по причине общей изношенности и состояния тепловой изоляции, а также применения в качестве неё минеральной ваты тепловые потери могут достигать высоких значений.

Таблица 1 – Диаметры и длины участков системы трубопроводного транспорта тепла

Диаметр трубопровода, м	Длина участка, м
1	2
0,92	1549
0,82	1488
0,529	1555
0,426	756

Продолжение таблицы 1

1	2
0,325	1742
0,273	478
0,219	1829
0,159	757
0,133	467
0,108	1461
0,089	529
0,076	436
0,056	588
0,048	106
0,032	156

Таблица 2 - Теплоснабжение АО «Каустик» за 2010 г

Месяц	Отпущенная горячая вода, Гкал (ГВт)	Подпитка, тонн
1	2	3
Январь	10 620(12351)	6 834
Февраль	9 050(10525)	6 352
Март	7 030(8176)	8 258
Апрель	2 223(2585)	2 373
Май	0	0
Июнь	0	0
Июль	0	0
Август	0	0
Сентябрь	0	0
Октябрь	2 956(3438)	10 470
Ноябрь	5 212(6061)	5 900
Декабрь	7 835(9112)	5 783
Итого	44 926(55249)	45 970

Теплоснабжение АО «Каустик» осуществляется горячей водой, используемой в основном для отопления. Длительность отопительного периода составляет 7 месяцев. Параметры тепловой сети: двухтрубная, надземной прокладки, с температурами 115 °С и 70 °С соответственно. Цена за гигакаллорию тепла составляет 768,90 тенге, стоимость подпитки 62,69 тенге за тонну.

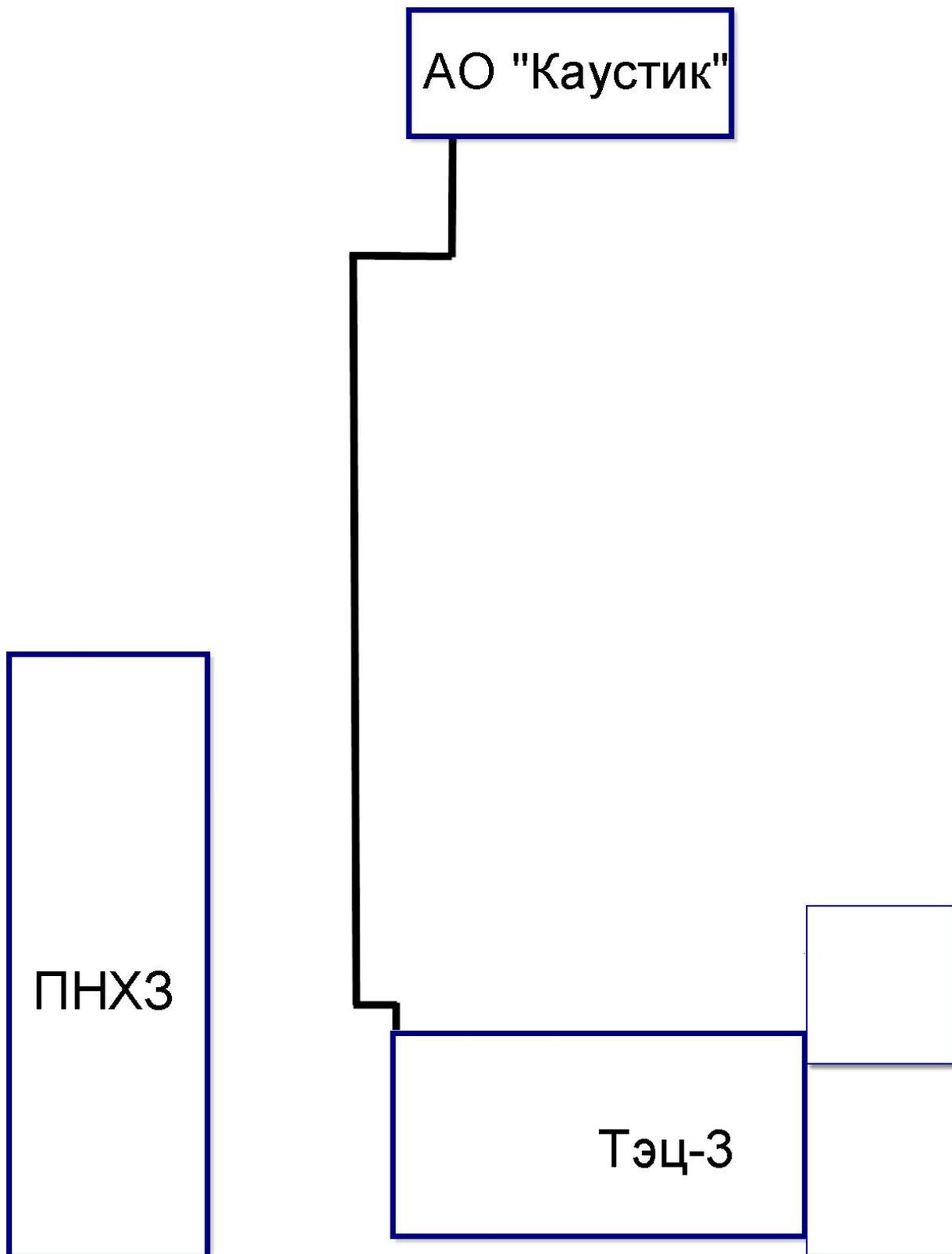


Рисунок 1 – Схема магистрального трубопровода

2 МЕТОДИКА РАСЧЁТА ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИИ

2.1 Математическая модель задачи

Расчёт удельных тепловых потерь трубопровода [22]

$$q = (t - t_0)/R_n, \quad \text{Вт/м}$$

где $R_n = 1/(\pi \cdot \alpha \cdot d_n)$ - термическое сопротивление наружной поверхности;

$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (t_n - t_0) + 7\sqrt{w}$ - коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

t - температура теплоносителя, °C ;

t_0 - температура окружающего воздуха, °C [33];

w - среднегодовая скорость ветра, $\text{м}/\text{с}$ [33];

d_n - наружный диаметр, м ;

t_n - температура наружной стенки, °C

Расчёт толщины изоляции [22]

Толщина изоляции для цилиндрической поверхности диаметром менее 2 м определяется из уравнения:

$$\ln B = 2\pi \cdot \lambda_{из} \left[\frac{K(t_{в} - t_n)}{q_n} - R_n^L \right]$$

где R_n^L - термическое сопротивление на наружной поверхности теплоизоляции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, [Приложение 3];

$\lambda_{из}$ - коэффициенты теплопроводности изоляции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ [Приложение 1];

K - коэффициент дополнительных потерь, учитывающий тепловые потери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленных наличием в них крепежных деталей и опор, [Приложение 2];

$t_{в}$ - температура внутренней среды, °C ;

t_n - температура наружной среды, °C ;

q_n - нормативные удельные тепловые потери, $\text{Вт}/\text{м}$ [Приложение 4]

$$\delta_{из} = \frac{d_n(B - 1)}{2}$$

d_n - наружный диаметр трубопровода, м

Расчёт среднегодовых тепловых потерь трубопровода [22]

Среднегодовые тепловые потери трубопровода

$$Q^{cp.г} = \sum \beta \cdot q \cdot l, \text{Вт/ч}$$

где q - удельные тепловые потери трубопровода;

$\beta = 1,25$ – коэффициент местных тепловых потерь, учитывающих тепловые потери арматуры, опор и компенсаторов;

l - длина участка тепловой сети, характеризующегося одинаковым диаметром трубопроводов.

2.2 Алгоритм работы программы

Вход в программу

Запуск программы осуществляется путём двойного нажатия по её иконке. Далее при наличии на компьютере необходимых библиотек Microsoft .NET Framework 2.0 появляется окно работы с программой, в противном случае появится окно, сообщающее об ошибке и необходима установка дополнительного программного обеспечения. Первоначально при входе в программу отображаются исходные данные по умолчанию: город – Павлодар, диаметр трубы 0,92 м, температура теплоносителя 115 °С и др.

Ввод данных и вычисление

При нажатии кнопки «Вычислить» осуществится расчёт искомых величин указанных по умолчанию, выбранных путём изменения исходных данных, либо введенных вручную. После ввода данных при повторном нажатии кнопки «Вычислить» и соблюдении условий исходных данных будет произведён расчёт. При несоответствии исходных данных необходимым условиям появится окно с указанием ошибки. Ответ полученный в результате вычислений можно скопировать в буфер обмена путём его выделения и нажатия сочетания клавиш Ctrl+C.

Блок-схема программы

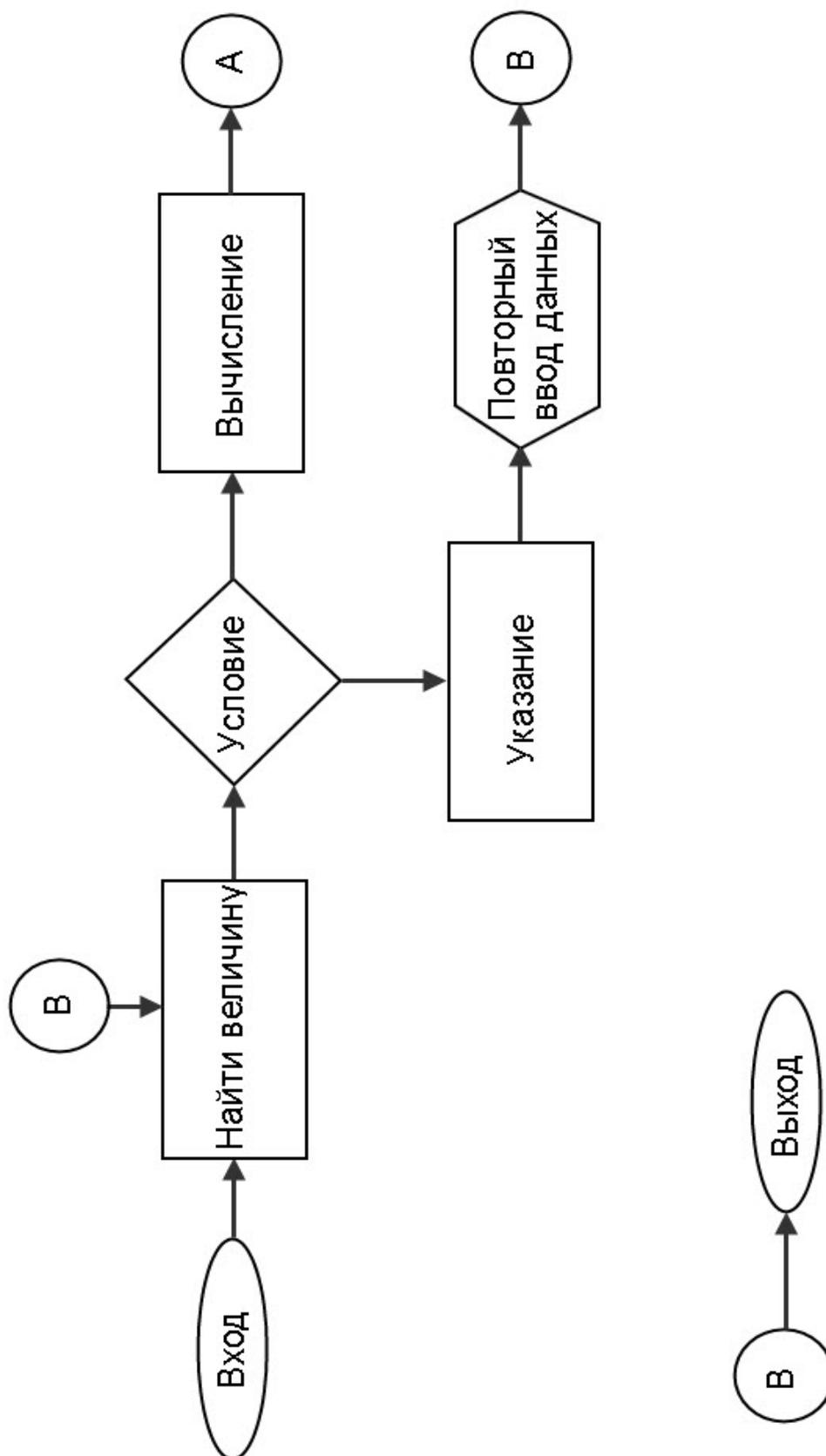


Рисунок 2 – Блок-схема программы

2.3 Описание особенностей программы

Программа написана на языке программирования C++ [25] и предназначена для двухтрубных тепловых сетей (подающий и обратный трубопроводы) с температурами 115 °С и 70 °С соответственно, надземной прокладки.

Диаметры трубопроводов *от 0,92 до 0,032 м.*

Вследствие её особенностей требует наличие библиотеки дополнений Microsoft .NET Framework 2.0 входящей в состав операционных систем Windows XP SP3, Windows 7, Windows Vista, для других пакетов систем Windows XP необходима дополнительная установка программного обеспечения Microsoft .NET Framework 2.0

Язык интерфейса – русский.

Она объединяет в себе:

- вычисление удельных тепловых потерь для различных диаметров труб и теплоносителей, с климатическими данными по двадцати двум городам Казахстана;
- нахождение толщины пятнадцати видов изоляции для различных диаметров труб и теплоносителей;
- определение среднегодовых тепловых потерь трубопровода для различных диаметров труб и теплоносителей, с возможностью выбора длин участков и количества часов работы тепловой сети.

Также в программе можно отобразить исходную формулу для проверки результата расчётов.

Сама программа состоит отдельно из трёх блоков (подпрограмм): вычисление удельных тепловых потерь трубопровода, расчёт толщины изоляции, и расчёт среднегодовых тепловых потерь трубопровода. В каждом блоке можно работать отдельно. Город и климатические данные, необходимые для вычислений первого и второго блоков, по умолчанию Павлодар, и для корректного вычисления может быть необходимо его изменение.

2.4 Сравнение результатов вычислений

Для определения точности результатов вычислений сравниваются ответы написанной мною программы с ответами, полученными посредством программы Universal Mathematic Solver 5.0 [26]. Она имеется в свободном доступе на бесплатной основе, и может быть использована для сложных вычислений (аналог MathCAD), содержит в себе возможности инженерного калькулятора.

Таблица 3 – Сравнение результатов полученных в Программе и UMS 5.0

Пример для расчёта	Ответ	
	Программа	UMS 5.0
1	2	3
$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 4,9) + 7\sqrt{3}$	26,5990556529822	26,599056
$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{77} - 0,0384 \right]$	0,567697511031971	0,567697
$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,159}$	0,0802312356762829	0,0802337 27
$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0299}$	2224,04322138347	2227,4247

Разница в вычислениях объясняется тем, что при расчёте в Программе данные не округляются, а после запятой указывается до двадцати знаков, в отличие от UMS 5.0 в которую были введены округлённые данные.

В целом точность результатов расчётов выполненных в Программе достаточна как для вычислений при инженерных расчётах, так и при применении в учебном процессе.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИИ

3.1 Расчёт удельных тепловых потерь неизолированного трубопровода [22]

$$q = (t - t_0)/R_n, \quad (Вт/м)$$

где $R_n = 1/(\pi \cdot \alpha \cdot d_n)$ - термическое сопротивление наружной поверхности;

$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (t_n - t_0) + 7\sqrt{w}$ - коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода, $Вт/(м^2 \cdot °С)$;

t - температура теплоносителя, $°С$;

t_0 - температура окружающего воздуха, $°С$ [34];

w - среднегодовая скорость ветра, $м/с$ [34];

d_n - наружный диаметр, $м$;

t_n - температура наружной стенки изоляции, $°С$;

а) Подающий трубопровод

$$d_n = 0,92 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт}/(м^2 \cdot К)$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,92} = 0,0128$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,0128} = 8730,6370 \text{ Вт}/м$$

$$d_n = 0,82 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт}/(м^2 \cdot К)$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,82} = 0,0143$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,0143} = 7781,6547 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,529 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,529} = 0,0222$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,0222} = 5020,1163 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,426 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,426} = 0,0276$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,0276} = 4042,6645 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,325 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,325} = 0,0362$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,0362} = 3084,1924 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,273 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,273} = 0,0431$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,0431} = 2590,7216 \text{ Вт}/\text{м}$$

$$d_n = 0,219 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,219} = 0,0537$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,0537} = 2078,2712 \text{ Вт}/\text{м}$$

$$d_n = 0,159 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,159} = 0,0739$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,0739} = 1508,8818 \text{ Вт}/\text{м}$$

$$d_n = 0,133 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,133} = 0,0884$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,0884} = 8730,6370 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,108 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,108} = 0,1088$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,1088} = 1024,9008 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,089 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,089} = 0,1321$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,1321} = 844,5942 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,076 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,076} = 0,1547$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,1547} = 721,2265 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,056 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,056} = 0,2099$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,2099} = 531,4301 \text{ Вт}/\text{м}$$

$$d_n = 0,048 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,048} = 0,2449$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,2449} = 455,5115 \text{ Вт}/\text{м}$$

$$d_n = 0,032 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (115 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 27,0672 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 27,0672 \cdot 0,032} = 0,3674$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(115 - 3,4)}{0,3674} = 303,6743 \text{ Вт}/\text{м}$$

а) Обратный трубопровод

$$d_n = 0,92 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,92} = 0,0139$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0139} = 4803,0980 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,82 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,82} = 0,0155$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0139} = 4281,0221 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,529 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,529} = 0,0241$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0241} = 2761,7813 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,426 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,426} = 0,0299$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0299} = 2224,0432 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,325 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,325} = 0,0392$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0392} = 1696,7465 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,273 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,273} = 0,0467$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0467} = 1425,2671 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,219 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,219} = 0,0582$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0582} = 1143,3462 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,159 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,159} = 0,0802$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0802} = 0,0802 \text{ Вт}/\text{м}$$

$$d_n = 0,133 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,133} = 0,0959$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,0959} = 694,3609 \text{ Вт}/\text{м}$$

$$d_n = 0,108 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,108} = 0,1181$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,1181} = 563,8419 \text{ Вт}/\text{м}$$

$$d_n = 0,089 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,089} = 0,1433$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,1433} = 464,6475 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,076 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,076} = 0,1678$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,1678} = 396,7776 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,056 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,056} = 0,2277$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,2277} = 292,3624 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,048 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_n = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,048} = 0,2657$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,2657} = 250,5964 \text{ Вт/м}$$

$$d_n = 0,032 \text{ м}$$

коэффициент теплоотдачи поверхности трубопровода:

$$\alpha = 9,3 + 0,047 \cdot (70 - 3,4) + 7\sqrt{3,2} = 24,9522 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

термическое сопротивление наружной поверхности:

$$R_{\text{н}} = \frac{1}{3,1415 \cdot 24,9522 \cdot 0,032} = 0,3986$$

удельные теплотери:

$$q = \frac{(70 - 3,4)}{0,3986} = 167,0642 \text{ Вт}/\text{м}$$

3.2 Расчёт толщины тепловой изоляции

Виды расчетов толщины теплоизоляционного слоя:

а) по нормированной плотности теплового потока через изолированную поверхность оборудования и трубопроводов. Нормы плотности теплового потока через изолируемую поверхность следует принимать в соответствии с ТКП 45-4.02-91;

б) по заданному значению теплового потока;

в) по заданной температуре на поверхности изоляции;

г) с целью предотвращения конденсации влаги из окружающего воздуха на покровном слое тепловой изоляции оборудования и трубопроводов, содержащих вещества с температурой ниже температуры окружающего воздуха;

д) по заданному значению снижения (повышения) температуры вещества, транспортируемого трубопроводами;

е) по заданному значению охлаждения (нагрева) вещества, сохраняемого в емкостях в течение определенного времени;

ж) по заданному времени приостановки движения жидкого вещества в трубопроводах в целях предотвращения его замерзания или увеличения вязкости;

Мной был выбран расчёт толщины тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока, что обеспечивает возможность сравнение нормируемых и эксплуатационных тепловых потерь. А также для сравнительного экономического анализа тепловой изоляции.

Расчет тепловой изоляции по нормированной плотности теплового потока

Толщина изоляции для цилиндрической поверхности диаметром менее 2 м определяется из уравнения [22]:

$$\ln B = 2\pi \cdot \lambda_{из} \left[\frac{K(t_g - t_n)}{q_n} - R_n^L \right]$$

где R_n^L – термическое сопротивление на наружной поверхности теплоизоляции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, [Приложение 3];

$\lambda_{из}$ - коэффициенты теплопроводности изоляции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ [Приложение 1];

K - коэффициент дополнительных потерь, учитывающий теплопотери через теплопроводные включения в теплоизоляционных конструкциях, обусловленных наличием в них крепежных деталей и опор, [Приложение 2];

t_g - температура внутренней среды, °C ;

t_n - температура наружной среды, °C ;

q_n – нормативные удельные тепловые потери, $\text{Вт}/\text{м}$

$$\delta_{из} = \frac{d_n(B - 1)}{2}$$

d_n – наружный диаметр трубопровода, м

3.2.1 Теплоизоляционный материал - Маты минераловатные прошивные в обкладке из металлической сетки или стеклоткани

а) Подающий трубопровод

$$d_n = 0,92 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{230} - 0,0117 \right] = 0,1925$$

$$B = 1,2123$$

$$\delta_{из} = \frac{0,92 \cdot (1,2123 - 1)}{2} = 0,09767 \text{ м}$$

$$d_n = 0,82 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{210} - 0,0132 \right] = 0,2107$$

$$B = 1,2346$$

$$\delta_{из} = \frac{0,82 \cdot (1,2346 - 1)}{2} = 0,09619 \text{ м}$$

$$d_n = 0,529 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{146} - 0,0191 \right] = 0,3031$$

$$B = 1,3540$$

$$\delta_{из} = \frac{0,529 \cdot (1,3540 - 1)}{2} = 0,09364 \text{ м}$$

$$d_n = 0,426 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{124} - 0,0242 \right] = 0,3562$$

$$B = 1,4279$$

$$\delta_{из} = \frac{0,426 \cdot (1,4279 - 1)}{2} = 0,09116 \text{ м}$$

$$d_H = 0,325 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{98} - 0,0289 \right] = 0,3476$$

$$B = 1,4157$$

$$\delta_{из} = \frac{0,325 \cdot (1,4157 - 1)}{2} = 0,09271 \text{ м}$$

$$d_H = 0,273 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{91} - 0,0293 \right] = 0,4867$$

$$B = 1,6270$$

$$\delta_{из} = \frac{0,273 \cdot (1,6270 - 1)}{2} = 0,08559 \text{ м}$$

$$d_H = 0,219 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{77} - 0,0384 \right] = 0,5739$$

$$B = 1,7752$$

$$\delta_{из} = \frac{0,219 \cdot (1,7752 - 1)}{2} = 0,08489 \text{ м}$$

$$d_H = 0,159 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{62} - 0,0441 \right] = 0,7140$$

$$B = 2,0422$$

$$\delta_{из} = \frac{0,159 \cdot (2,0422 - 1)}{2} = 0,08286 \text{ м}$$

$$d_H = 0,133 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{58} - 0,0525 \right] = 0,7953$$

$$B = 2,2151$$

$$\delta_{из} = \frac{0,133 \cdot (2,2151 - 1)}{2} = 0,08081 \text{ м}$$

$$d_H = 0,108 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{53} - 0,0607 \right] = 0,8692$$

$$B = 2,3850$$

$$\delta_{из} = \frac{0,108 \cdot (2,3850 - 1)}{2} = 0,07479 \text{ м}$$

$$d_H = 0,089 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{47} - 0,0727 \right] = 0,9786$$

$$B = 2,6609$$

$$\delta_{из} = \frac{0,089 \cdot (2,6609 - 1)}{2} = 0,07391 \text{ м}$$

$$d_H = 0,076 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{43} - 0,0778 \right] = 1,0703$$

$$B = 2,9162$$

$$\delta_{из} = \frac{0,076 \cdot (2,9162 - 1)}{2} = 0,07282 \text{ м}$$

$$d_H = 0,056 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{38} - 0,0855 \right] = 1,2120$$

$$B = 3,3602$$

$$\delta_{из} = \frac{0,056 \cdot (3,3602 - 1)}{2} = 0,06609 \text{ м}$$

$$d_H = 0,048 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{35} - 0,0898 \right] = 1,3169$$

$$B = 3,7321$$

$$\delta_{из} = \frac{0,048 \cdot (3,7321 - 1)}{2} = 0,06557 \text{ м}$$

$$d_H = 0,032 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,056 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{47} - 0,0727 \right] = 1,4810$$

$$B = 4,3978$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,032 \cdot (4,3978 - 1)}{2} = 0,05437 \text{ м}$$

а) Обратный трубопровод

$$d_{\text{H}} = 0,92 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{180} - 0,0117 \right] = 0,1329$$

$$B = 1,1422$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,92 \cdot (1,1422 - 1)}{2} = 0,06541 \text{ м}$$

$$d_{\text{H}} = 0,82 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{164} - 0,0132 \right] = 0,1599$$

$$B = 1,1734$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,82 \cdot (1,1734 - 1)}{2} = 0,06436 \text{ м}$$

$$d_{\text{H}} = 0,529 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{115} - 0,0191 \right] = 0,2078$$

$$B = 1,2310$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,529 \cdot (1,2310 - 1)}{2} = 0,06111 \text{ м}$$

$$d_{\text{H}} = 0,426 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{100} - 0,0242 \right] = 0,23832$$

$$B = 1,2691$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,426 \cdot (1,2691 - 1)}{2} = 0,05732 \text{ м}$$

$$d_{\text{H}} = 0,325 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{76} - 0,0289 \right] = 0,3145$$

$$B = 1,3696$$

$$\delta_{из} = \frac{0,325 \cdot (1,3696 - 1)}{2} = 0,06006 \text{ м}$$

$$d_H = 0,273 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{66} - 0,0293 \right] = 0,3634$$

$$B = 1,4383$$

$$\delta_{из} = \frac{0,273 \cdot (1,4383 - 1)}{2} = 0,05982 \text{ м}$$

$$d_H = 0,219 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{56} - 0,0384 \right] = 0,4271$$

$$B = 1,5328$$

$$\delta_{из} = \frac{0,219 \cdot (1,5328 - 1)}{2} = 0,05835 \text{ м}$$

$$d_H = 0,159 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{47} - 0,0441 \right] = 0,5094$$

$$B = 1,6644$$

$$\delta_{из} = \frac{0,159 \cdot (1,6644 - 1)}{2} = 0,05282 \text{ м}$$

$$d_H = 0,133 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{43} - 0,0525 \right] = 0,5803$$

$$B = 1,7866$$

$$\delta_{из} = \frac{0,133 \cdot (1,7866 - 1)}{2} = 0,05231 \text{ м}$$

$$d_H = 0,108 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{39} - 0,0607 \right] = 0,6389$$

$$B = 1,8944$$

$$\delta_{из} = \frac{0,108 \cdot (1,8944 - 1)}{2} = 0,04830 \text{ м}$$

$$d_H = 0,089 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{35} - 0,0727 \right] = 0,7103$$

$$B = 2,0347$$

$$\delta_{из} = \frac{0,089 \cdot (2,0347 - 1)}{2} = 0,04604 \text{ м}$$

$$d_H = 0,076 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{32} - 0,0778 \right] = 0,7775$$

$$B = 2,1760$$

$$\delta_{из} = \frac{0,076 \cdot (2,1760 - 1)}{2} = 0,04468 \text{ м}$$

$$d_H = 0,056 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{27} - 0,0855 \right] = 0,9236$$

$$B = 2,5184$$

$$\delta_{из} = \frac{0,056 \cdot (2,5184 - 1)}{2} = 0,04251 \text{ м}$$

$$d_H = 0,048 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{25} - 0,0898 \right] = 0,9983$$

$$B = 2,7137$$

$$\delta_{из} = \frac{0,048 \cdot (2,7137 - 1)}{2} = 0,04113 \text{ м}$$

$$d_H = 0,032 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,051 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{21} - 0,0727 \right] = 1,1850$$

$$B = 3,2707$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,032 \cdot (3,2707 - 1)}{2} = 0,03633 \text{ м}$$

3.2.2 Теплоизоляционный материал – Пенополиуретан

а) Подающий трубопровод

$$d_{\text{н}} = 0,92 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{230} - 0,0117 \right] = 0,1213$$

$$B = 1,1289$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,92 \cdot (1,1289 - 1)}{2} = 0,05931 \text{ м}$$

$$d_{\text{н}} = 0,82 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{210} - 0,0132 \right] = 0,1909$$

$$B = 1,2103$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,82 \cdot (1,2103 - 1)}{2} = 0,05564 \text{ м}$$

$$d_{\text{н}} = 0,529 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{146} - 0,0191 \right] = 0,1780$$

$$B = 1,1949$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,529 \cdot (1,1949 - 1)}{2} = 0,05156 \text{ м}$$

$$d_{\text{н}} = 0,426 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{124} - 0,0242 \right] = 0,2244$$

$$B = 1,2515$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,426 \cdot (1,2515 - 1)}{2} = 0,05359 \text{ м}$$

$$d_{\text{н}} = 0,325 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{98} - 0,0289 \right] = 0,2652$$

$$B = 1,3037$$

$$\delta_{из} = \frac{0,325 \cdot (1,3037 - 1)}{2} = 0,04936 \text{ м}$$

$$d_H = 0,273 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{91} - 0,0293 \right] = 0,3065$$

$$B = 1,3587$$

$$\delta_{из} = \frac{0,273 \cdot (1,3587 - 1)}{2} = 0,04898 \text{ м}$$

$$d_H = 0,219 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{77} - 0,0384 \right] = 0,3615$$

$$B = 1,4354$$

$$\delta_{из} = \frac{0,219 \cdot (1,4354 - 1)}{2} = 0,04768 \text{ м}$$

$$d_H = 0,159 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{62} - 0,0441 \right] = 0,4196$$

$$B = 2,0422$$

$$\delta_{из} = \frac{0,159 \cdot (1,5213 - 1)}{2} = 0,04144 \text{ м}$$

$$d_H = 0,133 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{58} - 0,0525 \right] = 0,4673$$

$$B = 1,5957$$

$$\delta_{из} = \frac{0,133 \cdot (1,5957 - 1)}{2} = 0,03962 \text{ м}$$

$$d_H = 0,108 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{53} - 0,0607 \right] = 0,5107$$

$$B = 1,6665$$

$$\delta_{из} = \frac{0,108 \cdot (1,6665 - 1)}{2} = 0,03599 \text{ м}$$

$$d_H = 0,089 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{47} - 0,0727 \right] = 0,5751$$

$$B = 1,7773$$

$$\delta_{из} = \frac{0,089 \cdot (1,7773 - 1)}{2} = 0,03459 \text{ м}$$

$$d_H = 0,076 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{43} - 0,0778 \right] = 0,6289$$

$$B = 1,8756$$

$$\delta_{из} = \frac{0,076 \cdot (1,8756 - 1)}{2} = 0,03327 \text{ м}$$

$$d_H = 0,056 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{38} - 0,0855 \right] = 0,7122$$

$$B = 2,0384$$

$$\delta_{из} = \frac{0,056 \cdot (2,0384 - 1)}{2} = 0,02907 \text{ м}$$

$$d_H = 0,048 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{35} - 0,0898 \right] = 0,7738$$

$$B = 2,1681$$

$$\delta_{из} = \frac{0,048 \cdot (2,1681 - 1)}{2} = 0,02803 \text{ м}$$

$$d_H = 0,032 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,033 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{47} - 0,0727 \right] = 0,8703$$

$$B = 2,3876$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,032 \cdot (2,3876 - 1)}{2} = 0,02220 \text{ м}$$

а) Обратный трубопровод

$$d_{\text{H}} = 0,92 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{180} - 0,0117 \right] = 0,0836$$

$$B = 1,0872$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,92 \cdot (1,0872 - 1)}{2} = 0,04014 \text{ м}$$

$$d_{\text{H}} = 0,82 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{164} - 0,0132 \right] = 0,0876$$

$$B = 1,0915$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,82 \cdot (1,0915 - 1)}{2} = 0,03752 \text{ м}$$

$$d_{\text{H}} = 0,529 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{115} - 0,0191 \right] = 0,1307$$

$$B = 1,1397$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,529 \cdot (1,1397 - 1)}{2} = 0,03696 \text{ м}$$

$$d_{\text{H}} = 0,426 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{100} - 0,0242 \right] = 0,1499$$

$$B = 1,1617$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,426 \cdot (1,1617 - 1)}{2} = 0,03446 \text{ м}$$

$$d_{\text{H}} = 0,325 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{76} - 0,0289 \right] = 0,1979$$

$$B = 1,2188$$

$$\delta_{из} = \frac{0,325 \cdot (1,2188 - 1)}{2} = 0,03556 \text{ м}$$

$$d_H = 0,273 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{66} - 0,0293 \right] = 0,2183$$

$$B = 1,2439$$

$$\delta_{из} = \frac{0,273 \cdot (1,2439 - 1)}{2} = 0,03329 \text{ м}$$

$$d_H = 0,219 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{56} - 0,0384 \right] = 0,2564$$

$$B = 1,2924$$

$$\delta_{из} = \frac{0,219 \cdot (1,2924 - 1)}{2} = 0,03202 \text{ м}$$

$$d_H = 0,159 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,15 \cdot (115 - 3,4)}{47} - 0,0441 \right] = 0,3059$$

$$B = 1,3579$$

$$\delta_{из} = \frac{0,159 \cdot (1,3579 - 1)}{2} = 0,02845 \text{ м}$$

$$d_H = 0,133 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{43} - 0,0525 \right] = 0,3484$$

$$B = 1,4169$$

$$\delta_{из} = \frac{0,133 \cdot (1,4169 - 1)}{2} = 0,02772 \text{ м}$$

$$d_H = 0,108 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{39} - 0,0607 \right] = 0,3837$$

$$B = 1,4677$$

$$\delta_{из} = \frac{0,108 \cdot (1,4677 - 1)}{2} = 0,02526 \text{ м}$$

$$d_H = 0,089 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{35} - 0,0727 \right] = 0,4266$$

$$B = 1,5319$$

$$\delta_{из} = \frac{0,089 \cdot (1,5319 - 1)}{2} = 0,02367 \text{ м}$$

$$d_H = 0,076 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{32} - 0,0778 \right] = 0,4669$$

$$B = 1,5950$$

$$\delta_{из} = \frac{0,076 \cdot (1,5950 - 1)}{2} = 0,02261 \text{ м}$$

$$d_H = 0,056 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{27} - 0,0855 \right] = 0,5546$$

$$B = 1,7413$$

$$\delta_{из} = \frac{0,056 \cdot (1,7413 - 1)}{2} = 0,02075 \text{ м}$$

$$d_H = 0,048 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{25} - 0,0898 \right] = 0,5995$$

$$B = 1,8212$$

$$\delta_{из} = \frac{0,048 \cdot (1,8212 - 1)}{2} = 0,01971 \text{ м}$$

$$d_H = 0,032 \text{ м}$$

$$\ln B = 2\pi \cdot 0,031 \cdot \left[\frac{1,2 \cdot (115 - 3,4)}{21} - 0,0727 \right] = 0,7116$$

$$B = 2,0372$$

$$\delta_{\text{из}} = \frac{0,032 \cdot (2,0372 - 1)}{2} = 0,01659 \text{ м}$$

Таблица 4 – Сводная таблица толщины изоляции для различных теплоизоляционных материалов [18]

Диаметр трубопровода, м	Толщина изоляции, м			
	Подающий трубопровод		Обратный трубопровод	
	Маты минераловатные прошивные в обкладке из металлической сетки или стеклоткани 90	Пенополиуретан	Маты минераловатные прошивные в обкладке из металлической сетки или стеклоткани 90	Пенополиуретан
1	2	3	4	5
0,92	0,09767	0,05931	0,06541	0,04014
0,82	0,09619	0,05820	0,06436	0,03752
0,529	0,09364	0,05564	0,06111	0,03696
0,426	0,09271	0,05359	0,06102	0,03556
0,325	0,09116	0,04936	0,06006	0,03446
0,273	0,08559	0,04898	0,05982	0,03329
0,219	0,08489	0,04768	0,05835	0,03202
0,159	0,08286	0,04144	0,05282	0,02845
0,133	0,08081	0,03962	0,05231	0,02772
0,108	0,07479	0,03599	0,04830	0,02526
0,089	0,07391	0,03459	0,04604	0,02367
0,076	0,07282	0,03327	0,04468	0,02261
0,056	0,06609	0,02907	0,04251	0,02075
0,048	0,06557	0,02803	0,04113	0,01971
0,032	0,05437	0,02220	0,03633	0,01659

3.3 Расчёт среднегодовых и среднемесячных тепловых потерь трубопровода [10]

Среднегодовые тепловые потери трубопровода

$$Q^{\text{ср.г}} = \sum \beta \cdot q \cdot l, \text{ Вт/ч}$$

где q - удельные тепловые потери трубопровода, Вт/м;

$\beta = 1,25$ – коэффициент местных тепловых потерь, учитывающих тепловые потери арматуры, опор и компенсаторов;

l - длина участка тепловой сети, характеризующегося одинаковым диаметром трубопроводов, м.

а) Для подающего трубопровода:

$$d_H = 0,92 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 230 \cdot 1549 = 445338 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,82 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 210 \cdot 1488 = 390600 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,529 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 146 \cdot 1555 = 283788 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,426 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 124 \cdot 756 = 117180 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,325 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 98 \cdot 1742 = 213395 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,273 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 91 \cdot 478 = 54373 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,219 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 77 \cdot 1829 = 176041 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,159 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 62 \cdot 757 = 58668 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,133 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 58 \cdot 467 = 33858 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,108 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 53 \cdot 1461 = 96791 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,089 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 47 \cdot 529 = 31079 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,076 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 43 \cdot 436 = 23435 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,056 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 38 \cdot 588 = 27930 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,048 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 35 \cdot 106 = 4638 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,032 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 31 \cdot 156 = 6045 \text{ Вт/ч}$$

б) Для обратного трубопровода:

$$d_H = 0,92 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 180 \cdot 1549 = 348525 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,82 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 164 \cdot 1488 = 305040 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,529 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 115 \cdot 1555 = 223531 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,426 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 100 \cdot 756 = 94500 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,325 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 76 \cdot 1742 = 165490 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,273 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 66 \cdot 478 = 39435 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,219 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 56 \cdot 1829 = 128030 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,159 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 47 \cdot 757 = 44474 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,133 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 43 \cdot 467 = 25101 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,108 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 39 \cdot 1461 = 71224 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,089 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 35 \cdot 529 = 23144 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,076 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 32 \cdot 436 = 17440 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,056 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 27 \cdot 588 = 19845 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,048 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 25 \cdot 106 = 3313 \text{ Вт/ч}$$

$$d_H = 0,032 \text{ м}$$

$$Q^{\text{ср.г}} = 1,25 \cdot 21 \cdot 156 = 4095 \text{ Вт/ч}$$

Таблица 5 – Длины участков трубопровода и нормативные [13] среднегодовые тепловые потери

Диаметр трубопровода, м	Длина участка, м	Удельные нормативные тепловые потери q_H , Вт/м · ч		Нормативные среднегодовые тепловые потери $Q_{\text{норм.}}^{\text{ср.г}}$, Вт/м · ч		Суммарные тепловые потери трубопровода, Вт/ч
		Подающий трубопровод	Обратный трубопровод	Подающий трубопровод	Обратный трубопровод	
1	2	3	4	5	6	7
0,92	1549	230	180	445338	348525	793873
0,82	1488	210	164	390600	305040	695640
0,529	1555	146	115	283788	223531	507319
0,426	756	124	100	117180	94500	211680
0,325	1742	98	76	213395	165490	378885
0,273	478	91	66	54373	39435	93808
0,219	1829	77	56	176041	128030	304071
0,159	757	62	47	58668	44474	103142
0,133	467	58	43	33858	25101	58959
0,108	1461	53	39	96791	71224	168015
0,089	529	47	35	31079	23144	54223
0,076	436	43	32	23435	17440	40875
0,056	588	38	27	27930	19845	47775
0,048	106	35	25	4638	3313	7951
0,032	156	31	21	6045	4095	10140

Пересчёт нормируемых значений среднегодовых тепловых потерь на их среднемесячные значения производится по формулам:

Для участков подающей линии

$$Q_{\text{п}}^{\text{ср.м}} = Q_{\text{п}}^{\text{ср.г}} \frac{t_{\text{п}}^{\text{ср.м}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.м}}}{t_{\text{п}}^{\text{ср.г}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.г}}}$$

Для участков обратной линии

$$Q_{\text{о}}^{\text{ср.м}} = Q_{\text{о}}^{\text{ср.г}} \frac{t_{\text{о}}^{\text{ср.м}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.м}}}{t_{\text{о}}^{\text{ср.г}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.г}}}$$

Отношения температур выражается через коэффициенты K_2 и K_3

$$K_2 = \frac{t_{\text{п}}^{\text{ср.м}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.м}}}{t_{\text{п}}^{\text{ср.г}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.г}}}$$

$$K_3 = \frac{t_o^{cp.m} - t_B^{cp.m}}{t_o^{cp.g} - t_B^{cp.g}}$$

где $t_{II}^{cp.m}, t_o^{cp.m}$ - среднемесячные температуры теплоносителя в подающей и обратной линиях, °С;

$t_{II}^{cp.g}, t_o^{cp.g}$ - среднегодовые температуры теплоносителя в подающей и обратной линиях, °С;

$t_B^{cp.m}, t_B^{cp.g}$ - среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха, °С

Таблица 6 – Значение температур теплоносителя и коэффициентов K_2 и K_3

Месяц	Среднемесячные температуры, °С			Коэф. пересчёта среднегодовых теплотерь в среднемесячные	
	Подающая линия	Обратная линия	Наружная температура воздуха	Подающая линия K_2	Обратная линия K_3
1	2	3	4	5	6
Январь	93	58	-15,3	1,36	1,46
Февраль	82,6	54	-14,6	1,23	1,36
Март	78	48,3	-7,3	1,08	1,12
Апрель	78	57	5,4	0,92	1,03
Май	-	-	-	-	-
Июнь	-	-	-	-	-
Июль	-	-	-	-	-
Август	-	-	-	-	-
Сентябрь	-	-	-	-	-
Октябрь	79,4	56,5	4,3	0,95	1,04
Ноябрь	80,2	50	-6,4	1,10	1,12
Декабрь	84,7	51,8	-12,5	1,23	1,28
Ср. за период	82,3	53,6	3,4		

Таблица 7 – Сравнение среднемесячных расчётных тепловых потерь с нормативными [13], по каждому диаметру трубопровода

d_n	Месяц	Нормативные тепловые потери, ГВт/ч		K_2	K_3	Среднемесячные тепловые потери, ГВт/ч		Суммарные тепловые потери, ГВт/ч
		Подающего	Обратного			Подающего	Обратного	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,92	Январь	0,4453	0,3485	1,36	1,46	0,6056	0,5088	1,1144
	Февраль	0,4453	0,3485	1,23	1,36	0,5477	0,4740	1,0217
	Март	0,4453	0,3485	1,08	1,12	0,4809	0,3903	0,8712
	Апрель	0,4453	0,3485	0,92	1,03	0,4097	0,3590	0,7687
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,4453	0,3485	0,95	1,04	0,4230	0,3624	0,7854
	Ноябрь	0,4453	0,3485	1,10	1,12	0,4898	0,3902	0,8800
	Декабрь	0,4453	0,3485	1,23	1,28	0,5477	0,4461	0,9938
Итого		3,1171	2,4395			3,5044	2,9308	6,4352
0,82	Январь	0,3906	0,3050	1,36	1,46	0,5312	0,4453	0,9765
	Февраль	0,3906	0,3050	1,23	1,36	0,4804	0,4148	0,8952
	Март	0,3906	0,3050	1,08	1,12	0,4218	0,3416	0,7634
	Апрель	0,3906	0,3050	0,92	1,03	0,3994	0,3142	0,7136
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,3906	0,3050	0,95	1,04	0,3711	0,3172	0,6683
	Ноябрь	0,3906	0,3050	1,10	1,12	0,4297	0,3416	0,7713
	Декабрь	0,3906	0,3050	1,23	1,28	0,4804	0,3904	0,8708
Итого		2,7342	2,1350			3,1140	2,5651	5,6791
0,529	Январь	0,2838	0,2235	1,36	1,46	0,3860	0,3263	0,7123
	Февраль	0,2838	0,2235	1,23	1,36	0,3491	0,3040	0,6531
	Март	0,2838	0,2235	1,08	1,12	0,3065	0,2503	0,5568
	Апрель	0,2838	0,2235	0,92	1,03	0,2611	0,2302	0,4913
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,2838	0,2235	0,95	1,04	0,0696	0,2324	0,3020
	Ноябрь	0,2838	0,2235	1,10	1,12	0,3121	0,2503	0,5624
	Декабрь	0,2838	0,2235	1,23	1,28	0,3491	0,2861	0,6352
Итого		1,9866	1,5645			2,0335	1,8796	3,9131
0,426	Январь	0,1172	0,0945	1,36	1,46	0,1594	0,1380	0,2974
	Февраль	0,1172	0,0945	1,23	1,36	0,1442	0,1285	0,2727
	Март	0,1172	0,0945	1,08	1,12	0,1266	0,1058	0,2324
	Апрель	0,1172	0,0945	0,92	1,03	0,1078	0,0973	0,2051
	Май	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,1172	0,0945	0,95	1,04	0,1113	0,0983	0,2096
	Ноябрь	0,1172	0,0945	1,10	1,12	0,1289	0,1058	0,2347
	Декабрь	0,1172	0,0945	1,23	1,28	0,1442	0,1210	0,2652
Итого		0,8204	0,6615			0,9224	0,7947	1,7171
0,325	Январь	0,2134	0,1655	1,36	1,46	0,2902	0,2416	0,5318
	Февраль	0,2134	0,1655	1,23	1,36	0,2625	0,2251	0,4876
	Март	0,2134	0,1655	1,08	1,12	0,2305	0,1854	0,4159
	Апрель	0,2134	0,1655	0,92	1,03	0,1963	0,1705	0,3668
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,2134	0,1655	0,95	1,04	0,2027	0,1721	0,3748
	Ноябрь	0,2134	0,1655	1,10	1,12	0,2347	0,1854	0,4201
Декабрь	0,2134	0,1655	1,23	1,28	0,2625	0,2118	0,4743	
Итого		1,4938	1,1585			1,6794	1,3919	3,0713
0,273	Январь	0,0537	0,0394	1,36	1,46	0,0730	0,0575	0,1305
	Февраль	0,0537	0,0394	1,23	1,36	0,0660	0,0536	0,1196
	Март	0,0537	0,0394	1,08	1,12	0,0580	0,0441	0,1021

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Апрель	0,0537	0,0394	0,92	1,03	0,0494	0,0406	0,0900
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,0537	0,0394	0,95	1,04	0,0510	0,0410	0,0920
	Ноябрь	0,0537	0,0394	1,10	1,12	0,0591	0,0441	0,1032
	Декабрь	0,0537	0,0394	1,23	1,28	0,0661	0,0504	0,1165
Итого		0,3759	0,2758			0,4226	0,3313	0,7539
0,219	Январь	0,1760	0,1280	1,36	1,46	0,2394	0,1869	0,4263
	Февраль	0,1760	0,1280	1,23	1,36	0,2165	0,1741	0,3906
	Март	0,1760	0,1280	1,08	1,12	0,1901	0,1434	0,3335
	Апрель	0,1760	0,1280	0,92	1,03	0,1619	0,1318	0,2937
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,1760	0,1280	0,95	1,04	0,1672	0,1331	0,3003
	Ноябрь	0,1760	0,1280	1,10	1,12	0,1936	0,1434	0,3370
	Декабрь	0,1760	0,1280	1,23	1,28	0,2165	0,1638	0,3803
Итого		1,2320	0,8960			1,3852	1,0765	2,4617
0,159	Январь	0,0587	0,0445	1,36	1,46	0,0798	0,0650	0,1448

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Февраль	0,0587	0,0445	1,23	1,36	0,0722	0,0605	0,1327
	Март	0,0587	0,0445	1,08	1,12	0,0634	0,0500	0,1134
	Апрель	0,0587	0,0445	0,92	1,03	0,0540	0,0458	0,0998
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,0587	0,0445	0,95	1,04	0,0558	0,0463	0,1021
	Ноябрь	0,0587	0,0445	1,10	1,12	0,0646	0,0500	0,1146
	Декабрь	0,0587	0,0445	1,23	1,28	0,0722	0,0570	0,1292
Итого		0,4109	0,3115			0,4620	0,3746	0,8366
0,133	Январь	0,0338	0,0251	1,36	1,46	0,0460	0,0366	0,0826
	Февраль	0,0338	0,0251	1,23	1,36	0,0416	0,0341	0,0757
	Март	0,0338	0,0251	1,08	1,12	0,0365	0,0281	0,0646
	Апрель	0,0338	0,0251	0,92	1,03	0,0311	0,0559	0,0870
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,0338	0,0251	0,95	1,04	0,0321	0,0261	0,0582
	Ноябрь	0,0338	0,0251	1,10	1,12	0,0372	0,0281	0,0653
	Декабрь	0,0338	0,0251	1,23	1,28	0,0416	0,0321	0,0737

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Итого		0,2366	0,1757		0,2661	0,2410	0,5071	
0,108	Январь	0,0967	0,0712	1,36	1,46	0,1315	0,1040	0,2355
	Февраль	0,0967	0,0712	1,23	1,36	0,1189	0,0968	0,2157
	Март	0,0967	0,0712	1,08	1,12	0,1044	0,0797	0,1841
	Апрель	0,0967	0,0712	0,92	1,03	0,0890	0,0733	0,1623
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,0967	0,0712	0,95	1,04	0,9187	0,0740	0,9927
	Ноябрь	0,0967	0,0712	1,10	1,12	0,1064	0,0797	0,1861
Декабрь	0,0967	0,0712	1,23	1,28	0,1189	0,0911	0,2100	
Итого		0,6769	0,4984			1,5878	0,5986	2,1864
0,089	Январь	0,0310	0,0231	1,36	1,46	0,0422	0,0337	0,0759
	Февраль	0,0310	0,0231	1,23	1,36	0,0381	0,0314	0,0695
	Март	0,0310	0,0231	1,08	1,12	0,0335	0,0258	0,0593
	Апрель	0,0310	0,0231	0,92	1,03	0,0285	0,0259	0,0544
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,0310	0,0231	0,95	1,04	0,0295	0,0240	0,0535

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Ноябрь	0,0310	0,0231	1,10	1,12	0,0341	0,0259	0,0600
	Декабрь	0,0310	0,0231	1,23	1,28	0,0381	0,0296	0,0677
	Итого	0,2170	0,1617		0,2440	0,1963	0,4403	
0,076	Январь	0,0234	0,0174	1,36	1,46	0,0318	0,0254	0,0572
	Февраль	0,0234	0,0174	1,23	1,36	0,0288	0,0237	0,0525
	Март	0,0234	0,0174	1,08	1,12	0,0252	0,0195	0,0447
	Апрель	0,0234	0,0174	0,92	1,03	0,0215	0,0179	0,0394
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,0234	0,0174	0,95	1,04	0,0222	0,0181	0,0403
	Ноябрь	0,0234	0,0174	1,10	1,12	0,0257	0,0195	0,0452
	Декабрь	0,0234	0,0174	1,23	1,28	0,0288	0,0223	0,0511
	Итого	0,1638	0,1218			0,1840	0,1464	0,3304
0,056	Январь	0,0279	0,0198	1,36	1,46	0,0379	0,0289	0,0668
	Февраль	0,0279	0,0198	1,23	1,36	0,0343	0,0269	0,0612
	Март	0,0279	0,0198	1,08	1,12	0,0301	0,0222	0,0523
	Апрель	0,0279	0,0198	0,92	1,03	0,0257	0,0204	0,0461
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,0279	0,0198	0,95	1,04	0,0265	0,0206	0,0471
	Ноябрь	0,0279	0,0198	1,10	1,12	0,0307	0,0222	0,0529
	Декабрь	0,0279	0,0198	1,23	1,28	0,0343	0,0253	0,0596
Итого		0,1953	0,1386		0,2195	0,1665	0,3860	
0,048	Январь	0,0046	0,0033	1,36	1,46	0,0063	0,0048	0,0111
	Февраль	0,0046	0,0033	1,23	1,36	0,0056	0,0045	0,0101
	Март	0,0046	0,0033	1,08	1,12	0,0049	0,0037	0,0086
	Апрель	0,0046	0,0033	0,92	1,03	0,0042	0,0034	0,0076
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,0046	0,0033	0,95	1,04	0,0044	0,0034	0,0078
	Ноябрь	0,0046	0,0033	1,10	1,12	0,0051	0,0037	0,0088
	Декабрь	0,0046	0,0033	1,23	1,28	0,0057	0,0042	0,0099
Итого		0,0322	0,0231			0,0362	0,0277	0,0639
0,032	Январь	0,0060	0,0041	1,36	1,46	0,0082	0,0060	0,0142
	Февраль	0,0060	0,0041	1,23	1,36	0,0074	0,0056	0,0130
	Март	0,0060	0,0041	1,08	1,12	0,0065	0,0046	0,0111
	Апрель	0,0060	0,0041	0,92	1,03	0,0055	0,0042	0,0097
	Май	-	-	-	-	-	-	-
	Июнь	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Июль	-	-	-	-	-	-	-
	Август	-	-	-	-	-	-	-
	Сентябрь	-	-	-	-	-	-	-
	Октябрь	0,0060	0,0041	0,95	1,04	0,0057	0,0043	0,0100
	Ноябрь	0,0060	0,0041	1,10	1,12	0,0066	0,0046	0,0112
	Декабрь	0,0060	0,0041	1,23	1,28	0,0074	0,0052	0,0126
	Итого	0,0420	0,0287			0,0473	0,0345	0,0818

3.4 Анализ тепловых потерь

Для определения величины отклонения сопоставляем эксплуатационные и нормативные тепловые потери в процентном соотношении

$$\frac{\sum Q_{\text{эксп.л}}^{\text{см.г}} - \sum Q_{\text{н.л}}^{\text{см.г}}}{\sum Q_{\text{н.л}}^{\text{см.г}}} \cdot 100\%$$

где - $\sum Q_{\text{эксп.л}}^{\text{см.г}}$ - суммарные среднемесячные эксплуатационные тепловые потери подающей и обратной линии, ГВт/ч;

$\sum Q_{\text{н.л}}^{\text{см.г}}$ - суммарные среднемесячные нормативные тепловые потери подающей и обратной линии, ГВт/ч

$$\frac{28,8639 - 24,325}{24,325} \cdot 100\% = 18,6594 \%$$

Следовательно, тепловые потери за отопительный период будут на 18,66 % больше нормативных, что объясняется главным образом состоянием тепловой изоляции. Так, например, при длительности отопительного периода семь месяцев (пять тысяч сорок часов работы) эксплуатационные тепловые потери будут превышать нормативные (2,0279 Гвт/ч или 1,7845 Ккал/ч) на 1678,3 Гкал, что при цене 768,90 тг/Гкал составит 1290445 тенге. Сумма за отопительный период не очень внушительная, но следует учитывать проведённую частичную замену изоляции, без которой тепловые потери были более значительны.

4 СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТОИМОСТИ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДА

В большинстве случаев, важнейшим аспектом тепловых характеристик изоляции является ее теплопроводность (физическое свойство, связывающее скорость прохождения тепла через материал с разницей температур на пути прохождения). При одинаковой толщине изоляции тепловые потери снижаются по мере уменьшения теплопроводности [1].

К другим факторам, влияющим на тепловые характеристики, относятся свойства поверхности, от которых зависят потери на излучение. Потери на излучение могут быть снижены, например, за счет добавления блестящей металлической пленки к слою изоляции. Выгоды от такого добавления, конечно, зависят от конкретных условий, но вполне возможно сокращение общих тепловых потерь на 10% [14].

В любом случае, по мере увеличения толщины изоляции ее стоимость будет почти линейно возрастать, а стоимость потерянного тепла - нелинейно снижаться [15]. Исходя из этого, и были определены нормативные тепловые потери для систем трубопроводного транспорта тепла, обеспечивающие оптимальное соотношение расчетной толщины изоляции и тепловых потерь при её эксплуатации.

Теплоизоляционные конструкции следует предусматривать из следующих элементов:

- теплоизоляционного слоя;
- армирующих и крепежных деталей;
- пароизоляционного слоя;
- кровного слоя.

Защитное покрытие изолируемой поверхности от коррозии не входит в состав теплоизоляционной конструкции [8].

4.1 Затраты при использовании матов из минеральной ваты, прошивных, в обкладке из металлической сетки или стеклоткани

Минеральная вата - теплоизоляционный материал в виде слабо уплотненной массы стекловидных волокон. Минеральную вату получают из силикатных расплавов на основе доменных шлаков, а также из смесей осадочных и изверженных горных пород.

Минеральная вата (в зависимости от вида исходного сырья), может иметь различную структуру волокнистости, заданную технологически: горизонтально-слоистую, вертикально-слоистую, гофрированную или пространственную, что расширяет возможности ее применения в тех или иных конструкциях [11].

Она характеризуется значительной устойчивостью к высоким температурам и действию химических веществ. Также она обладает хорошими тепло и звукоизоляционными свойствами, и является одним из

самых дешёвых и распространенных материалов на постсоветском пространстве.

Во время хранения или установки минераловатных плит, их следует защищать от воды, так как в переувлажненном состоянии минеральная вата утрачивает свои изоляционные свойства [32].

Таблица 8– Количество необходимого теплоизоляционного материала

Диаметр неизолированн ого трубопровода $d_{н}, м$	Толщина тепловой изоляции, $\delta_{из}, м$		Длина участка, $l, м$	Площадь $2\pi lR$	Кол-во теплоизоляционного материала, шт.		Стоимость*, тг	
	Подающий	Обратный			Подающий	Обратный	Подающий	Обратный
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,92	0,09767	0,06541	1549	4477	M1-100,100x2240	M1-100,65x2240	5420800	3523520
0,82	0,09619	0,06436	1488	3833	M1-100,100x1917	M1-100,65x1917	4639140	3015441
0,529	0,09364	0,06111	1555	2584	M1-100,100x1292	M1-100,60x1292	3126640	1875984
0,426	0,09271	0,06102	756	1012	M1-100,100x506	M1-100,60x506	1224520	734712
0,325	0,09116	0,06006	1742	1780	M1-100,100x890	M1-100,60x890	2153800	1292280
0,273	0,08559	0,05982	478	410	M1-100,85x205	M1-100,60x205	421685	297660
0,219	0,08489	0,05835	1829	1258	M1-100,85x629	M1-100,60x629	1293853	913308
0,159	0,08286	0,05282	757	378	M1-100,85x189	M1-100,50x189	388773	228690
0,133	0,08081	0,05231	467	195	M1-100,80x98	M1-100,50x98	189728	118580
0,108	0,07479	0,04830	1461	496	M1-100,75x248	M1-100,50x248	450120	300080
0,089	0,07391	0,04604	529	148	M1-100,75x74	M1-100,45x74	134310	80586
0,076	0,07282	0,04468	436	104	M1-100,75x52	M1-100,45x52	94380	56628
0,056	0,06609	0,04251	588	325	M1-100,65x163	M1-100,45x163	256399	177507
0,048	0,06557	0,04113	106	16	M1-100,65x8	M1-100,40x8	12584	7744
0,032	0,05437	0,03633	156	16	M1-100,55x8	M1-100,40x8	10648	7744
Итого			13897	17032			19817380	12630464
							32447844	

Таблица 9 – Расходы при использовании в качестве тепловой изоляции трубопровода матов из минеральной ваты, прошивных, в обкладке из металлической сетки или стеклоткани

Наименование	Единицы измерения	Кол-во	Стоимость (тг)
1	2	3	4
Грунтовка**	л	1	3883296
Пароизоляция***	м ²	40877	4292064
Маты минераловатные	м ³	2682	32447844
Лента крепежная	м	817536	572275
Сталь листовая оцинкованная (0,5мм)	м ²	40877	22073580
Итого			63269059

*Цена теплоизоляционного матов из минеральной ваты, прошивных, в обкладке из металлической сетки 12100 тенге за м³[30]

** Грунтовка ВГ-33 с расходом 100-700 г/м² [28]

*** Пароизоляция — это совокупность различных методов защиты теплоизолирующих материалов и строительных конструкций от проникновения пара и, как следствие, от выпадения и впитывания конденсата (росы) [20].

4.2 Затраты при использовании в качестве теплоизоляционного материала пенополиуретана

Пенополиуретаны (ППУ) - лёгкие, но достаточно прочные пенопласты из полиуретанов, обладают очень низкой теплопроводностью (0,019 – 0,03 Вт/(м · К)), малой паропроницаемостью, высокой адгезией практически ко всему - к бумаге, металлу, древесине, штукатурке, рубероиду и многому другому [8].

Системы напыляемого пенополиуретана обладают рядом преимуществ:

- Пониженная горючесть по сравнению с другими системами изоляции.
- Одновременная гидроизоляция, материал не боится влаги, т.е. не требуется дополнительных слоев пароизоляции.
- Тепло- и морозостойкость в диапазоне температур от -100°С до +130°С;.
- Малый вес и отсутствие нагрузки на строительные конструкции.
- Высокая адгезия к различным типам поверхности.
- Монолитная бесшовная поверхность изоляционного слоя.
- Ремонтопригодность.
- Удобство транспортировки и хранения.

- Химическая стойкость к слабокислотным осадкам, к промышленным углеводородам [34].

–

Таблица 10- Расходы при использовании в качестве тепловой изоляции трубопровода пенополиуретана.

Наименование	Единицы измерения	Количество	Стоимость (тг)
1	2	3	4
Пенополиуретан*	m^3	2280	47424400
Защитное покрытие**	$кг$	10541	15365932
Итого			62790332

* ППУ-Т117Н Россия

**защита от ультрафиолетового излучения ХП-799МЧ на основе хлорсульфированного полиэтилена [30]

В расчете стоимости изоляции не учтена стоимость работ по подготовке труб (зачистка от ржавчины, обезжиривание, обработка преобразователем ржавчины и грунтовка). Подготовка труб к покрытию во всех случаях должна соответствовать одним ГОСТам.

В расчетах стоимости по изоляции не учитывались расходы на монтаж конструкции, сметная прибыль и др. накрутки.

4.3 Рекомендации

В целом стоимость теплоизоляционных конструкций примерно одинакова, но при использовании минеральной ваты, при экономии денежных средств, могут отказаться от предварительной обработки поверхности труб и защиты от проникновения влаги, что может значительно снизить не только стоимость конструкции, но и срок её нормальной работы.

При нормативном сроке эксплуатации теплосетей - 25 лет [19] – и проведении качественных работ по тепловой изоляции – возможна нормальная эксплуатация обоих видов тепловой изоляции, по истечению которого, а возможно и ранее, минеральная вата вбирает в себя влагу, что увеличивает её теплопроводность, а у пенополиуретана происходит разрушение поверхностного слоя защитного покрытия, что требует его повторного нанесения.

Также стоит учитывать, что при использовании в качестве теплоизоляционного материала пенополиуретана отсутствуют швы и значительно упрощается проведение работ на сложных участках трубопровода.

В целом оба теплоизоляционных материала обладают своими как достоинствами, так и недостатками. Выбор какого-либо определённого зависит как от выделения денежных средств, так и от характера ожидаемых результатов. Более предпочтительным, с точки зрения теплоизоляционных характеристик, выглядит пенополиуретан. Дешевле провести теплоизоляционные работы позволит минеральная вата, но со временем она определённо снизит свои свойства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной исследовательской работы были достигнута её цель, а именно исследована система трубопроводного транспорта тепла на АО «Каустик». Также были выполнены поставленные задачи: проанализировано состояния тепловой изоляции указанной тепловой сети; разработан алгоритм вычислений и по нему написана прикладная программа; при помощи программы был выполнен расчёт, на основе которого были даны рекомендации по выбору и целесообразности применения определённых видов теплоизоляционного материала.

Определено следующее следующее. Имеющаяся в данный момент на трубопроводах тепловая изоляция по тепловым потерям превышает нормативные значения. Но одно только это, с учётом дороговизны проведения работ, не может служить поводом для полной замены тепловой изоляции. Возможна замена изоляции при проведении более детального изучения отдельных участков. Однако по истечении некоторого периода времени минеральная вата, используемая в качестве теплоизоляционного материала, с большой вероятностью изменит свою влажность и, как следствие, свой коэффициент теплопроводности, что повысит актуальность проведения мероприятий по её замене. Сравнительный анализ стоимости теплоизоляционных материалов (матов из минеральной ваты и пенополиуретана) показывает, что значительной разницы затрат не наблюдается, но при использовании минеральной ваты возможно снижение расходов за счёт исключения некоторых пунктов. Но при длительном сроке эксплуатации пенополиуретан менее подвержен влиянию влаги и лучше показывает себя в качестве теплоизоляционного материала.

Разработанная прикладная программа позволяет ускорить процесс получения результатов расчётов, по сравнению с другими видами выполнения расчётов. Программа не округляет полученные промежуточные значения, что в целом позволяет получить результат более высокой точности, округление которого до необходимых знаков осуществляет уже сам пользователь программы. Несомненно, программа имеет большой потенциал для развития, расширения списков температуры теплоносителя и диаметров труб, возможность выбора типа прокладки трубопроводов, определение толщины тепловой изоляции по температуре на поверхности.

В целом прикладная программа справилась с возложенными на неё функциями и имеет потенциал применения как в учебной сфере, так и, при проведении проектных работ в теплоэнергетических системах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети. - М.: ИНФРА-М, 2006. - 480 с.
2. Голубков Б. Н., Данилов О. Л., Зосимовский Л. В., и др. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий. - М.: Энергия. 1979. - 544 с.
3. ГОСТ 1.0-92. Межгосударственная система стандартизации. - М.: ГУП ЦП П. 1992. - 9 с.
4. ГОСТ 4.201-79 СПКП Материалы и изделия теплоизоляционные. Номенклатура показателей
5. ГОСТ 7076-99. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. - М.: ГУП ЦП П. 2002. - 11 с.
6. Дубин А.М. Теплоснабжение промышленных предприятий. - М.: Энергоатомиздат. 2004. - 88 с.
7. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. - М.: Энергоатомиздат. 1986. - 320 с.
8. Копко В.М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей. - Минск: Технопринт. 2002. - 160 с.
9. МДК 4-03.2001. Методика определения нормативных значений показателей функционирования водяных тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения. - М.: ГУП ЦП П. 2002. - 47 с.
10. МСН 4.02-02-2004 Тепловые сети
11. МСН 4.02-03-2004 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов
12. Правила пользования тепловой энергией в Республике Казахстан от 24.01.2005
13. РД 153-34.0-20.523-98. Методические указания по составлению энергетических характеристик для систем транспорта тепловой энергии. - М.: СПО ОРГРЭС. 1999. - 80 с.
14. Самойленко Н.И., Гавриленко И.А. Функциональная надёжность трубопроводных транспортных систем / под ред. Самойленко Н.И. - Хорьков.: ХНАГХ, 2008. - 180 с.
15. Селезнёв В.Е., Алёшин В.В., Прялов С.Н. Математическое моделирование магистральных трубопроводных систем: дополнительные главы / под ред. В.Е. Селезнёва. - М.: МАКС Пресс, 2009. - 356 с.
16. СНиП 2.05.06-85. Магистральные трубопроводы. - М.: СПО ОРГРЭС. 1985. - 86 с.
17. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. - М.: СПО ОРГРЭС. 2003. - 22 с.
18. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. - М.: СПО ОРГРЭС. 2003. - 26 с.
19. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника. - М.: СПО ОРГРЭС. 1980. - 49 с.

20. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. - М.: Издательство МЭИ. 2001. - 472 с.
21. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты. - М.: СПО ОРГРЭС. 2004. - 132 с.
22. СП РК 4.02-102-2003 Проектирование тепловой изоляции оборудования и трубопроводов
23. СТ СЭВ 5063-85 Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и показатели
24. Тиатор И. Отопительные системы. - М.: Техносфера. 2006. - 272 с.
25. Уилсон М. С++: практический подход к решению проблем программирования. Пер с англ. – М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2006. – 736 с.
26. Фокин В.М. Основы энергосбережения и энергоаудита. - М.: «Издательство Машиностроение-1». 2006. - 256 с.
27. Ширакс Э.Э. Теплоснабжение. - М.: Энергия. 1979. - 256с.
28. <http://apuchtin-igor.narod.ru/index1.html>
29. <http://articles.gazeta.kz/art.asp?aid=87751>
30. <http://www.build.kz/index.php?page=inc/tov&subcid=1&cid=8>
31. http://www.capec.kz/page.php?page_id=42&lang=1&news_id=170
32. http://www.promsvjas.kz/manuf_minvata.htm
33. <http://www.retscreen.net/>
34. http://www.strallex.kz/index.php?option=com_content&view=article&id=4:2010-03-24-17-56-23&catid=1:2010-03-24-09-59-27&Itemid=5

Приложение 1 - Технические характеристики теплоизоляционных изделий, допускаемых к применению (по нормам) в качестве основного слоя изоляции для трубопроводов тепловых сетей при воздушной прокладке [20]

Наименование	ГОСТ или ТУ	Условные проходы труб $D_y, мм$	Расчетная плотность в конструкции $\rho_c, кг/м^3$	Расчетная теплопроводность в конструкции		Максимальная температура применения $t_{макс}, °C$	Основные размеры, мм		
				при $\lambda_c^0, Вт/(м \cdot °C)$	температурный коэффициент $\beta \cdot 10^4, Вт/(м \cdot °C^2)$		Толщина δ	Длина l	Ширина b (или внутренний диаметр $d_{вн}$)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Цилиндры и полуцилиндры из минеральной ваты на синтетическом связующем	ГОСТ 23208-83	25-200	100	0,049	2,1	400	40—80	500-1500	25—219
			150	0,051	2,0				
			200	0,053	1,9				
Плиты мягкие из минеральной ваты на синтетическом связующем	ГОСТ 9573-82	100-450	55-75	0,040	2,9	400	60— 100	1000	500 и 1000
			76-115	0,043	2,2				
Плиты полужесткие из минеральной ваты на синтетическом связующем	ГОСТ 9573-82	500-1400	90—150	0,044	2,1	400	50—80	1000	500 и 1000

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Маты минераловатные прошивные в обкладке из металлической сетки или стеклоткани	ГОСТ 21880-86	200-1400	90	0,043	2,2	400	40-120	1000-2500	500-2500
			120	0,045	2,1				
			150	0,049	2,0				
Маты минераловатные прошивные марки ВФ-75 на металлической сетке	ТУ 21-24-51-73	200-1400	100	0,037	2,0	300	50 и 100	3000 и 5000	500 и 1000
Маты из стеклянного штапельного волокна на синтетическом связующем марок МТ-33 и МТ-50	ГОСТ 10499-78	50-400	60	0,040	3,0	180	30-80	1000-13000	500-1500
			80	0,042	2,8				
Сегменты из пенопласта марки ФРП-1	ГОСТ 22546-77	300-1000	65-85	0,041	2,3	130	30-80	1000 и 1500	(327—1500)

Значение теплопроводности $\lambda_c, Bm/(m \cdot ^\circ C)$ при заданных температурах $t_{уз}^{cp}$ (принимаемой половине суммы температур на поверхности трубы и окружающего воздуха) и табличных значениях $\lambda_c^0, Bm/(m \cdot ^\circ C)$ и $\beta \cdot 10^4, Bm/(m \cdot ^\circ C^2)$, подсчитываются по формуле $\lambda_c = \lambda_c^0 + \beta(t_{уз}^{cp} - t_{уз}^{ucx})$ при $t_{уз}^{ucx} = 0^\circ C$ и соответствуют отсутствию влаги в изделиях.

Приложение 2 — Значения коэффициента дополнительных потерь K [11]

Способ прокладки трубопроводов	Коэффициент K
1	2
На открытом воздухе, в непроходных каналах, тоннелях и помещениях:	
- для стальных трубопроводов на подвижных опорах, условным проходом, мм:	
до 150	1,2
150 и более	1,15
- на подвесных опорах	1,05
- для неметаллических трубопроводов на подвижных и подвесных опорах	1,7
Бесканальная	1,15

Приложение 3 — Ориентировочные значения $R_n^L, (m^2 \cdot ^\circ C)/Bm$ [11]

Наружный диаметр, мм	На открытом воздухе		
	100	300	500
1	2	3	4
32	0,12	0,09	0,07
40	0,10	0,07	0,05
50	0,09	0,06	0,04
100	0,07	0,05	0,04
125	0,05	0,04	0,03
150	0,05	0,04	0,03
200	0,04	0,03	0,03
250	0,03	0,03	0,02
300	0,03	0,02	0,02
350	0,03	0,02	0,02
400	0,02	0,02	0,02
500	0,02	0,02	0,016
600	0,017	0,015	0,014
700	0,015	0,013	0,012
800	0,013	0,012	0,011
900	0,012	0,011	0,010
1000	0,011	0,010	0,009

1. Для промежуточных значений диаметров и температуры величина R_n^L определяется интерполяцией.
2. Для температуры теплоносителя ниже $100^\circ C$ принимаются данные, соответствующие $100^\circ C$.

Приложение 4 – Нормативные тепловые потери трубопровода [22]

Диаметр трубопровода, <i>м</i>	Нормативные тепловые потери $q_{\text{н}}$, $Вт/м \cdot ч$	
	Подающий трубопровод ($t = 115^{\circ}\text{C}$)	Обратный трубопровод ($t = 70^{\circ}\text{C}$)
1	2	3
0,92	230	180
0,82	210	164
0,529	146	115
0,426	124	100
0,325	98	76
0,273	91	66
0,219	77	56
0,159	62	47
0,133	58	43
0,108	53	39
0,089	47	35
0,076	43	32
0,056	38	27
0,048	35	25
0,032	31	21

Алгоритм работы программы

Вход в программу

Запуск программы осуществляется путём двойного нажатия по её иконке. Далее при наличии на компьютере необходимых библиотек Microsoft .NET Framework 2.0 появляется окно работы с программой, в противном случае появится окно, сообщающее об ошибке и необходима установка дополнительного программного обеспечения. Первоначально при входе в программу отображаются исходные данные по умолчанию: город – Павлодар, диаметр трубы 0,92 м, температура теплоносителя 115 °С и др.

Ввод данных и вычисление

При нажатии кнопки «Вычислить» осуществится расчёт искомых величин указанных по умолчанию, выбранных путём изменения исходных данных, либо введённых вручную. После ввода данных при повторном нажатии кнопки «Вычислить» и соблюдении условий исходных данных будет произведён расчёт. При несоответствии исходных данных необходимым условиям появится окно с указанием ошибки. Ответ полученный в результате вычислений можно скопировать в буфер обмена путём его выделения и нажатия сочетания клавиш Ctrl+C.

Описание особенностей программы

Программа написана на языке программирования C++ [25] и предназначена для двухтрубных тепловых сетей (подающий и обратный трубопроводы) с температурами 115 °С и 70 °С соответственно, надземной прокладки.

Диаметры трубопроводов *от 0,92 до 0,032 м.*

Вследствие её особенностей требует наличие библиотеки дополнений Microsoft .NET Framework 2.0 входящей в состав операционных систем Windows XP SP3, Windows 7, Windows Vista, для других пакетов систем Windows XP необходима дополнительная установка программного обеспечения Microsoft .NET Framework 2.0

Язык интерфейса – русский.

Она объединяет в себе:

- вычисление удельных тепловых потерь для различных диаметров труб и теплоносителей, с климатическими данными по двадцати двум городам Казахстана;
- нахождение толщины пятнадцати видов изоляции для различных диаметров труб и теплоносителей;
- определение среднегодовых тепловых потерь трубопровода для различных диаметров труб и теплоносителей, с возможностью выбора длин участков и количества часов работы тепловой сети.

Также в программе можно отобразить исходную формулу для проверки результата расчётов.

Сама программа состоит отдельно из трёх блоков (подпрограмм): вычисление удельных тепловых потерь трубопровода, расчёт толщины изоляции, и расчёт среднегодовых тепловых потерь трубопровода. В каждом блоке можно работать отдельно. Город и климатические данные, необходимые для вычислений первого и второго блоков, по умолчанию Павлодар, и для корректного вычисления может быть необходимо его изменение.