

**РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА
ВЕЛИЧИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА
ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ЕЕ ПЕРЕДАЧУ В СЕТЯХ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ИХ ИЗНОСА, СРОКА
И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Издание официальное

**Министерство энергетики
Республики Беларусь**

Минск

Ключевые слова: система теплоснабжения, температура, тепловые потери, водяные тепловые сети, сети горячего водоснабжения, конденсатопровод, паропровод, теплоизоляционная конструкция, утечка

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНО ОАО «Белэнергоремналадка»

2 РАССМОТРЕНО ГПО «Белэнерго», РУП-облэнерго

3 ОДОБРЕНО протоколом заседания секции энергоэффективности, экологии, инноваций, энергетического надзора и охраны труда Научно-технического совета Министерства энергетики Республики Беларусь от 31 июля 2023 года № 2 (ПрНТС_2)

© ГПО «Белэнерго», 2023
© Оформление. ОАО «Экономэнерго», 2023

Настоящее пособие не может быть тиражировано и распространено без разрешения ГПО «Белэнерго»

Издано на русском языке

Содержание

1	Область применения	1
2	Нормативные ссылки	1
3	Термины и определения	1
4	Общие положения	1
5	Расчет нормируемых тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов водяных тепловых сетей и сетей горячего водоснабжения	5
5.1	Канальная двухтрубная прокладка	5
5.1.1	Расчет по нормам плотности теплового потока	5
	Пример 1 к 5.1	5
	Пример 2 к 5.1	6
	Пример 3 к 5.1	7
	Пример 3а к 5.1	8
	Пример 4 к 5.1	10
	Пример 4а к 5.1	12
	Пример 5 к 5.1	13
	Пример 5а к 5.1	15
	Пример 5б к 5.1	16
	Пример 6 к 5.1	18
5.1.2	Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводами	19
	Пример 7 к 5.1	19
	Пример 8 к 5.1	20
	Пример 9 к 5.1	21
	Пример 10 к 5.1	22
	Пример 11 к 5.1	23
5.2	Бесканальная прокладка	25
5.2.1	Расчет по нормам плотности теплового потока	25
	Пример 1 к 5.2	25
	Пример 2 к 5.2	26
	Пример 3 к 5.2	27
5.2.2	Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводами	29
	Пример 4 к 5.2	29
5.3	Прокладка на открытом воздухе (надземная прокладка), в помещении (техническом подполье), тоннеле (проходном канале)	30
5.3.1	Расчет по нормам плотности теплового потока	30
	Пример 1 к 5.3	30
	Пример 2 к 5.3	31
	Пример 3 к 5.3	32
	Пример 4 к 5.3	33
5.3.2	Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-трубопроводами	34
	Пример 5 к 5.3	34
	Пример 6 к 5.3	35
	Пример 7 к 5.3	36
6	Расчет нормируемых тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции водяных тепловых сетей и сетей горячего водоснабжения при их совместной прокладке в непроходных каналах ...	37
6.1	Одноячейковый канал	37
6.1.1	Расчет по нормам плотности теплового потока	37
	Пример 1 к 6.1	37
	Пример 1а к 6.1	42
6.1.2	Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводами	46
	Пример 2 к 6.1	46

6.2 Двухъячейковый канал	49
6.2.1 Расчет по нормам плотности теплового потока	49
Пример 1 к 6.2	49
6.2.2 Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводами	55
Пример 2 к 6.2	55
7 Расчет нормируемых тепловых потерь с нормативной утечкой теплоносителя и нормативного расхода воды на подпитку	59
7.1 Нормирование значения утечки теплоносителя в водяных тепловых сетях	59
7.2 Определение расчетного объема воды в трубопроводах тепловой сети и системах теплоснабжения	61
Пример 1 к 7.2	61
7.3 Расчет нормируемых тепловых потерь с нормативной утечкой теплоносителя в сетях горячего водоснабжения в закрытой системе теплоснабжения	66
8 Расчет суммарных нормируемых тепловых потерь трубопроводами тепловых сетей и подключенными к ним системами теплоснабжения	66
9 Расчет нормируемых тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции паропроводов и конденсаторов	66
9.1 Определение температурных условий при проектировании тепловой изоляции паропроводов и конденсаторов	66
9.2 Определение нормируемых термических сопротивлений основного теплоизоляционного слоя паропровода	66
9.3 Расчет нормируемой плотности теплового потока в расчетный период	67
Пример 1 к 9.3	67
Приложение А (справочное) Метеостанции для определения температуры наружного воздуха и грунта для теплоисточников ГПО «Белэнерго»	70
Таблица А.1 – Соответствие населенных пунктов теплоисточников и метеостанций для определения температуры наружного воздуха и грунта	70
Приложение Б (справочное) Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность при подземной прокладке	71
Таблица Б.1 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов горячего водоснабжения и циркуляционных при бесканальной прокладке и прокладке в непроходных каналах, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года	71
Таблица Б.2 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке и прокладке в непроходных каналах, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года	72
Таблица Б.3 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года	73
Таблица Б.4 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года	74
Таблица Б.5 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года	75
Таблица Б.6 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года	76
Таблица Б.7 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года	77

[illegible]

Таблица В.6 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке на открытом воздухе и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года	96
Приложение Г (справочное) Нормы линейной и поверхностной плотности теплового потока через изолированную поверхность при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах)	97
Таблица Г.1 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года	97
Таблица Г.2 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года	98
Таблица Г.3 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года	100
Таблица Г.4 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года	101
Таблица Г.5 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года	102
Таблица Г.6 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года	103
Приложение Д (справочное) Расчет требуемых габаритных размеров непроходного канала.....	104
Таблица Д.1 – Технические характеристики стальных труб (таблица 2.11 [4]).....	104
Таблица Д.2 – Расстояние в свету от поверхности теплоизоляционной конструкции трубопроводов (таблица 10.4 СН 4.02.01-2019)	104
Приложение Е (справочное) Методика расчета тепловых потерь тепловой сети двухтрубной подземной прокладки при нештатных режимах работы (в работе один трубопровод).....	106
Приложение Ж (справочное) Расчет тепловых потерь на участке с общей тепловой изоляцией паропровода и конденсатопровода	109
Приложение К (справочное) Методология определения линейной плотности теплового потока для тепловых сетей при заданных теплотехнических характеристиках теплоизоляционной конструкции	111
Библиография	114

ПОСОБИЕ К ТЕХНИЧЕСКОМУ КОДЕКСУ УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИК

РЕКОМЕНДАЦИИ И ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ВЕЛИЧИНЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ НА ЕЕ ПЕРЕДАЧУ В СЕТЯХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ИХ ИЗНОСА, СРОКА И УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

РЭКАМЕНДАЦЫІ І ПРЫКЛАДЫ РАЗЛІКУ ВЕЛІЧЫНІ ТЭХНАЛАГІЧНАГА РАСХОДУ ЦЕПЛАВОЙ ЭНЕРГІІ НА ЯЕ ПЕРАДАЧУ Ў СЕТКАХ ЦЕПЛАЗАБЕСПЯЧЭННЯ З УЛІКАМ ІХ ЗНОСУ, ТЭРМІНУ І ЎМОЎ ЭКСПЛУАТАЦЫІ

Recommendations and best practices of calculation of the value of technological consumption of thermal energy for its transmission in heat supply networks adjusted for their wear, operating period and in-service environment

1 Область применения

Положения настоящего пособия (далее – Пособие) распространяются на расчет величины технологического расхода тепловой энергии на ее передачу в сетях теплоснабжения с учетом их износа, срока и условий эксплуатации, а также на расчет величины нормативной подпитки в тепловых сетях, системах теплоснабжения и теплопотребления.

2 Нормативные ссылки

В Пособии использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее – ТНПА):

ТКП 458-2012 (02230) Правила технической эксплуатации теплоустановок и тепловых сетей потребителей

ТКП 642-2019 (33240/33540/33040) Порядок расчета величины технологического расхода тепловой энергии на ее передачу в сетях теплоснабжения с учетом их износа, срока и условий эксплуатации

СТБ 2252-2012 Трубы стальные, предварительно термоизолированные пенополиуретаном. Технические условия

СН 4.02.01- 2019 Тепловые сети

СН 4.02.02-2019 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов

Примечание – При пользовании Пособием целесообразно проверить действие ТНПА по каталогу, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании Пособием следует руководствоваться действующими взамен ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В Пособии применяют термины с соответствующими определениями, установленные в ТКП 642-2019.

4 Общие положения

4.1 Для расчета нормируемых тепловых потерь через изоляцию трубопроводов необходимы результаты испытаний на тепловые потери, проводимых с периодичностью не реже 1 раза в 5 лет согласно требованиям ТКП 458, ТКП 642, [1] в соответствии с [2].

Если в период между испытаниями были выполнены работы по замене тепловой изоляции на участках тепловой сети, то для этих участков проводится корректировка значений нормируемых тепловых потерь в соответствии с ТКП 642 (п. 4.10).

Для реконструированных теплосетей до следующих испытаний следует применять коэффициент K для аналогичного способа прокладки, определенный по результатам предыдущих испытаний, если $K \leq 1$. При $K > 1$ применяется $K = 1$.

Если замена тепловой изоляции проведена на участках тепловой сети, которые подвергались предыдущим испытаниям на тепловые потери, и на основании результатов испытаний был определен $K_{\text{ср}}$ для всей испытанной тепловой сети, то $K_{\text{ср}}$ следует пересчитать с учетом положений, приведенных выше.

В соответствии с ТКП 642 (п. 4.7) применять $K > 1,1$ при нормировании тепловых потерь можно только на срок не более трех лет и при наличии программы работ по доведению тепловых потерь до нормативных значений.

Расчет тепловых потерь с $K > 1,1$ и испытания тепловых сетей с $K > 1,1$ с нормативной периодичностью должны проводиться для определения реального уровня тепловых потерь и основных направлений разработки мероприятий по улучшению технико-экономических показателей передачи тепловой энергии в сетях теплоснабжения.

4.2 В ТКП 642 в соответствии с ТНПА по проектированию тепловой изоляции нормы плотности теплового потока определяются только по расчетной температуре теплоносителя. При одинаковых значениях расчетных температур теплоносителя нормы плотности теплового потока имеют одинаковое значение для всех населенных пунктов Республики Беларусь независимо от климатических условий (температуры грунта и наружного воздуха).

Учет климатических условий производится при определении термических сопротивлений трубопроводов, при которых обеспечиваются заданные значения норм плотности теплового потока.

Нормы плотности теплового потока для подземной прокладки также не зависят от глубины залегания трубопроводов. Глубина залегания учитывается при определении расчетной температуры окружающей трубопровод среды при определении нормируемых тепловых потерь.

В приложении А Пособия приведены ближайшие к теплоисточникам ГПО «Белэнерго» метеостанции для определения температур наружного воздуха и грунта.

В приложениях Б–Г Пособия приведены нормы плотности теплового потока для водяных тепловых сетей и сетей горячего водоснабжения (далее – ГВС) для расчетных температур теплоносителя (температурных графиков), отсутствующих в приложениях ТКП 642:

– при подземной прокладке: для расчетной температуры в подающем трубопроводе сетей ГВС 60 °С, для водяных тепловых сетей с проектными температурными графиками 110–70, 120–70, 130–70, 140–70 °С;

– при прокладке на открытом воздухе, в помещении, тоннеле: для расчетной температуры в подающем трубопроводе сетей ГВС 60 °С, для подающих трубопроводов водяных тепловых сетей с проектными температурными графиками 110–70, 120–70, 130–70, 140–70, 150–70 °С.

Расчетные нормы плотности теплового потока, приведенные в Пособии, определены методом линейной интерполяции между табличными значениями, приведенными в ТКП 642, по формулам:

а) при подземной прокладке:

– для водяных тепловых сетей между $q_{\text{н}}^{90/50}$ и $q_{\text{н}}^{65/50}$ и между $q_{\text{н}}^{90}$ и $q_{\text{н}}^{65}$ по расчетной температуре $t_{\text{п}}$ в соответствии с ТКП 642 (таблица 5.1):

$$q_{\text{н } t_{\text{п}}}^{t/50} = q_{\text{н}}^{65/50} + (q_{\text{н}}^{90/50} - q_{\text{н}}^{65/50})(t_{\text{п}} - 65) / (90 - 65);$$

$$q_{\text{н } t_{\text{п}}}^t = q_{\text{н}}^{65} + (q_{\text{н}}^{90} - q_{\text{н}}^{65})(t_{\text{п}} - 65) / (90 - 65);$$

– для подающего трубопровода сетей ГВС между $q_{\text{н}}^{65}$ и $q_{\text{н}}^{50}$:

$$q_{\text{н}}^{60} = q_{\text{н}}^{50} + (q_{\text{н}}^{65} - q_{\text{н}}^{50})(60 - 50) / (65 - 50);$$

б) при прокладке на открытом воздухе, в помещении, тоннеле:

$$q_{\text{н } t_{\text{п}}}^t = q_{\text{н}}^{50} + (q_{\text{н}}^{100} - q_{\text{н}}^{50})(t_{\text{п}} - 50) / (100 - 50).$$

4.3 При подземной двухтрубной прокладке трубопроводов разных диаметров нормы плотности теплового потока и их коэффициенты местных тепловых потерь определяются для каждого трубопровода отдельно.

4.4 Для тепловых сетей, сооруженных по проектам, выполненным с 1990 до 2010 года, для ГПИ-, ГСИ-трубопроводов независимо от способа прокладки следует применять коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$.

4.5 В ТКП 642 ПИ-трубопроводами считаются трубы, предварительно термоизолированные жестким пенополиуретаном, в полиэтиленовой трубе-оболочке (при прокладке на открытом воздухе – в трубе-оболочке из оцинкованной стали), у которых номинальные размеры стальной трубы и трубы-оболочки соответствуют СТБ 2252 (таблица 3.1). Номинальные размеры ПИ-трубопроводов приведены в таблицах Б.13, Б.14 Пособия.

4.6 Для тепловых сетей, выполненных из ПИ-, ГСИ- и ГПИ-труб, расчетные температуры окружающей среды и теплоносителя следует принимать в соответствии с п. 5.3.3 ТКП 642.

4.7 По ТКП 642 (п. 6.2.1.5) при определении нормативных термических сопротивлений трубопроводов при расчете тепловых потерь для совместной прокладки в непроходных каналах трубопроводов водяных тепловых сетей и сетей ГВС при отсутствии результатов испытаний на тепловые потери ($K = 1$) значение нормы плотности теплового потока обратного трубопровода водяных тепловых сетей принимается равным нулю ($q_{2н}^{подз} = 0$):

$$\tau_{н(кан)}^{ср.г} = \tau_{гр.р}^{ср.г} + (q_{1н}^{подз} + 0 + q_{3н}^{подз} + q_{4н}^{подз}) \cdot R_{кан}.$$

Данное положение обосновано необходимостью получения значений термических сопротивлений трубопроводов не менее минимально возможных и нормируемых значений плотности теплового потока для сетей ГВС при проектных температурных условиях и выбранных термических сопротивлениях трубопроводов не более заданных.

Минимально возможные термические сопротивления трубопроводов (без тепловой изоляции), а также справочные данные и расчетные формулы для определения требуемых характеристик непроходных каналов приведены в приложении Д Пособия.

При заглублении канала менее 0,7 м вместо температуры грунта принимается температура наружного воздуха:

- при $q_{1н}^{подз} > q_{3н}^{подз} + q_{4н}^{подз}$ – расчетная для водяных тепловых сетей в соответствии с ТКП 642 (п. 5.3.1, перечисление а));
- при $q_{1н}^{подз} \leq q_{3н}^{подз} + q_{4н}^{подз}$ – среднегодовая.

При расчете тепловых потерь при прокладке в непроходных каналах трубопроводов водяных тепловых сетей и сетей ГВС, выполненных из ПИ-, ГПИ-, ГСИ-труб, термические сопротивления трубопроводов принимаются по ТКП 642 (таблицы Б.15, Б.17, Б.19).

Методология расчета совместной прокладки трубопроводов в непроходных каналах, приведенная в ТКП 642 (раздел 6), позволяет определять тепловые потери для количества трубопроводов n с учетом соответствующих значений K , q_n , t .

В общем случае температура воздуха в канале для количества трубопроводов n определяется по формуле

$$\tau_{кан}^{пер} = \left(\frac{\tau_1^{ср.пер}}{R_{1норм}} + \frac{\tau_2^{ср.пер}}{R_{2норм}} + \dots + \frac{\tau_n^{ср.пер}}{R_{nнорм}} + \frac{\tau_{гр}^{ср.пер}}{R_{кан}} \right) / \left(\frac{1}{R_{1норм}} + \frac{1}{R_{2норм}} + \dots + \frac{1}{R_{nнорм}} + \frac{1}{R_{кан}} \right).$$

При отключении в расчетный период одного или нескольких трубопроводов (трубопроводов отопления в межотопительный период, трубопроводов, отключаемых при реконструкции или ремонте и т.д.) в формуле для расчета температуры воздуха в канале приводятся слагаемые, относящиеся только к оставшимся в работе трубопроводам.

4.8 В Пособии рассматривается расчет тепловых потерь при нештатных режимах работы тепловых сетей (отключение трубопровода или перевод в непроектный режим работы для снижения тепловых потерь в межотопительный период, при реконструкции или ремонте тепловых сетей и т.д.).

В таблицах Б.13–Б.18 Пособия приведены расчетные значения плотности теплового потока для одиночного ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопровода при прокладке в непроходных каналах и бесканально.

Методика расчета тепловых потерь при отключении одного трубопровода при двухтрубной подземной прокладке приведена в приложении Е Пособия.

При прокладке на открытом воздухе, в помещении, тоннеле при переводе трубопровода в не-проектный режим работы тепловые потери рассчитываются по тем же формулам, что и при определении тепловых потерь за расчетный период, с подстановкой фактической температуры теплоносителя.

4.9 При проектировании паропроводов и конденсатопроводов возможны следующие схемы прокладки на открытом воздухе, особенности которых требуется учитывать при расчете тепловых потерь:

- паропровод и конденсатопровод имеют общую тепловую изоляцию;
- конденсатопровод смонтирован на паропроводе (прокладка по схеме «труба на трубе»).

При прокладке в общей тепловой изоляции тепловые потери паропровода обусловлены как потерями через изоляцию, так и потерями, идущими на нагрев конденсата. Методика расчета тепловых потерь при прокладке в общей изоляции приведена в приложении Ж Пособия.

При прокладке по схеме «труба на трубе» следует учитывать увеличение доли местных тепловых потерь для паропровода, обусловленное наличием на нем дополнительных скользящих опор, на которых смонтирован конденсатопровод.

Долю местных тепловых потерь паропровода при схеме «труба на трубе» $\beta_{тр}$ можно оценить по формуле

$$\beta_{тр} = \beta + (\beta - 1)N_{конд} / N_{пар},$$

где β – по ТКП 642 (таблица 5.2);

$N_{конд}$ – проектное количество скользящих опор конденсатопровода;

$N_{пар}$ – проектное количество скользящих опор паропровода.

4.10 В ТКП 642 (п. 4.9) предусмотрена возможность при разрешении спорных вопросов между энергоснабжающей организацией и абонентом (либо абонентом и субабонентом) определения норм плотности теплового потока на участках тепловой сети теплотехническим расчетом теплоизоляционных конструкций этих участков.

Методика теплотехнического расчета, соответствующая положениям [3], приведена в приложении К Пособия.

5 Расчет нормируемых тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов водяных тепловых сетей и сетей горячего водоснабжения

5.1 Канальная двухтрубная прокладка

5.1.1 Расчет по нормам плотности теплового потока

Пример 1 к 5.1

П.1.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ГВС при Н > 0,7 м	До 1990	Более 0,7	219	133	1000	100,4		1,2	1,05	455414,4

П.1.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.1.1.2 Расчетная температура теплоносителя по ТКП 642 (п. 5.3.2): в подающем трубопроводе – 60 °С, в обратном – 50 °С.

П.1.1.3 По ТКП 642 (п. 5.4.2, последний абзац) при подземной двухтрубной прокладке трубопроводов разных диаметров нормы плотности теплового потока определяются для каждого трубопровода отдельно, суммируются и участвуют в дальнейшем расчете нормируемых тепловых потерь.

Нормы плотности теплового потока определяются по таблице Б.1 Пособия:

$q_{1н} = 59,7 \text{ Вт/м}; q_{2н} = 40,7 \text{ Вт/м}; \Sigma q_{н} = 100,4 \text{ Вт/м}.$

П.1.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,2 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.1.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \Sigma q_{н} \beta L K = 3,6 \cdot 100,4 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 1,05 = 455414,4 \text{ кДж/ч}.$

П.1.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период Z _{пер}	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура грунта за расчетный период τ _{гр} ^{ср.пер} , °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период Q _{из} ^{пер(подз)} , ГДж
			под.	обр.		
Май	744	455414,4	55	45	12	281,739

П.1.2.1 При Н > 0,7 м принимается среднегодовая температура грунта по ТКП 642 (таблица А.2) τ_{гр.г}^{ср.г} = 9,3 °С (г. Гомель).

П.1.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$Q_{из}^{пер(подз)} = Q_{норм}^{(подз)} \cdot \frac{t_1^{ср.пер} + t_{2гр}^{ср.пер} - 2t^{ср.пер}}{t_{1р} + t_{2р} - 2\tau_{гр.г}^{ср.г}} \cdot 10^{-6} Z_{пер} = 455414,4 \cdot \frac{55 + 45 - 2 \cdot 12,0}{60 + 50 - 2 \cdot 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 281,739 \text{ ГДж}.$

Пример 2 к 5.1

П.2.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ГВС при $H \leq 0,7$ м	С 1990 до 1 июля 1995	Менее 0,7	219	133	1000	56,0		1,169	1,05	247453,9

П.2.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.2.1.2 Расчетная температура теплоносителя по ТКП 642 (п. 5.3.2): в подающем трубопроводе – 60 °С, в обратном – 50 °С.

П.2.1.3 Нормы плотности теплового потока определяются с учетом $K = 0,7$ (проект с 1990 года до 1 июля 1995 года):

- $q_{3н} = 24,5/0,7 = 35,0$ Вт/м по таблице Б.3 Пособия;
- $q_{4н} = 14,7/0,7 = 21,0$ Вт/м по таблице Б.3 ТКП 642;
- $\Sigma q_n = 56,0$ Вт/м.

П.2.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь по ТКП 642 (таблица 5.2) (проект с 1990 года до 1 июля 1995 года):

- $\beta_{3н} = 1,15$ (Dy 150 и более) для подающего трубопровода Dy 200;
- $\beta_{4н} = 1,2$ (Dy до 150) для обратного трубопровода Dy 125;
- $\beta_{\text{ср}} = \frac{q_{1н} \cdot \beta_1 + q_{2н} \cdot \beta_2}{q_{1н} + q_{2н}} = \frac{35 \cdot 1,15 + 21 \cdot 1,2}{35 + 21} = 1,169$ согласно 4.3 Пособия.

П.2.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 3,6 \Sigma q_n \beta L K = 3,6 \cdot 56,0 \cdot 1,169 \cdot 1000 \cdot 1,05 = 247453,9 \text{ кДж/ч.}$$

П.2.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z^{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $t_{\text{в}}^{\text{ср.пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	247453,9	55	45	25	94,510

П.2.2.1 В соответствии с ТКП 642 (п. 5.3.1) при заглублении верхней части перекрытия канала не более чем на 0,7 м за расчетную температуру следует принимать температуру наружного воздуха, как и при прокладке на открытом воздухе.

По ТКП 642 (таблица А.1) при продолжительности работы более 5000 ч в год принимается среднегодовая температура воздуха $t_{\text{в.г}}^{\text{ср.г}} = 6,3$ °С (г. Гомель).

П.2.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})} = Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} \cdot \frac{t_1^{\text{ср.пер}} + t_{2\text{в}}^{\text{ср.пер}} - 2t_{\text{в}}^{\text{ср.пер}}}{t_{1\text{п}} + t_{2\text{р}} - 2t_{\text{в.г}}^{\text{ср.г}}} \cdot 10^{-6} Z^{\text{пер}} = 247453,9 \cdot \frac{55 + 45 - 2 \cdot 25,0}{60 + 50 - 2 \cdot 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 94,510 \text{ ГДж.}$$

П.2.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и наружного воздуха в расчетный период – в соответствии с П.2.2.

П.2.3.1 Определение нормируемых термических сопротивлений канала и трубопроводов

$$q_{3н} = 35 \cdot 1,05 = 36,75 \text{ Вт/м}; \quad q_{4н} = 21 \cdot 1,05 = 22,05 \text{ Вт/м};$$
$$\tau_{н(кан)} = \left(\frac{60}{36,75} - \frac{50}{22,05} \right) / \left(\frac{1}{36,75} - \frac{1}{22,05} \right) = 35,0 \text{ }^{\circ}\text{C}; \quad R_{кан} = \frac{35 - 6,3}{36,75 + 22,05} = 0,488095 \text{ м}\cdot^{\circ}\text{C/Вт};$$
$$R_{3норм} = R_{4норм} = \frac{60 - 35,0}{36,75} = \frac{50 - 35}{22,05} = 0,680272 \text{ м}\cdot^{\circ}\text{C/Вт}.$$

П.2.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$\tau_{3н(кан)} = \left(\frac{60}{0,680272} + \frac{6,3}{0,488095} \right) / \left(\frac{1}{0,680272} + \frac{1}{0,488095} \right) = 28,734 \text{ }^{\circ}\text{C};$$
$$q_{3н} = \frac{60 - 28,734}{0,680272} = 45,961 \text{ м}\cdot^{\circ}\text{C/Вт}; \quad Q_{3норм} = 3,6 \cdot 45,961 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 190278,5 \text{ кДж/ч};$$
$$Q_3^{пер} = 190278,5 \cdot \frac{55 - 25,0}{60 - 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 79,088 \text{ ГДж}.$$

Пример 3 к 5.1

П.3.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ про- кладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участ- ка, м	Норма плотности теплового потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффици- ент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная >5000 при Н > 0,7 м	До 1990	Более 0,7	530		1000	282,6		1,2	1,0	1220832,0

П.3.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.3.1.2 Проектный температурный график 150–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 90 °С. Продолжительность работы более 5000 ч в год.

П.3.1.3 Норма плотности теплового потока суммарно для двухтрубной прокладки определяется по ТКП 642 (таблица Б.2).

П.3.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,2 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.3.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 282,6 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 1 = 1220832,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.3.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепло- вой сети за расчетный период Z _{пер}	Суммарные нор- мируемые часовые значения тепловых потерь Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч	Средняя температу- ра теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя темпе- ратура грунта за расчетный период τ _{гр} ^{ср.пер} , °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период Q _{из} ^{пер (подз)} , ГДж
			под.	обр.		
Май	744	1220832,0	65	43	12	628,477

П.3.2.1 Среднегодовая температура грунта по ТКП 642 (таблица А.2) – 9,3 °С (г. Гомель).

П.3.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{из}^{пер(подз)} = 1220832,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 12,0}{90 + 50 - 2 \cdot 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 628,477 \text{ ГДж.}$$

П.3.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.3.2.

П.3.3.1 Определение нормируемых термических сопротивлений канала и трубопроводов

Год выполнения проекта по тепловой изоляции – до 1990 года.

Принимается температура в канале 30 °С (см. приложение Е Пособия).

$$R_{кан} = \frac{30 - 9,3}{1 \cdot 282,6} = 0,073248 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт.}$$

В соответствии с таблицей Б.2 ТКП 642 $q_{1н} = 165,1 \text{ Вт/м}$, $q_{2н} = 117,5 \text{ Вт/м}$.

$$R_{1норм} = \frac{90 - 30}{1 \cdot 165,1} = 0,363416 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт}; \quad R_{2норм} = \frac{50 - 30}{1 \cdot 117,5} = 0,170213 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт.}$$

П.3.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$\tau_{1н(кан)} = \left(\frac{90}{0,363416} + \frac{9,3}{0,073248} \right) / \left(\frac{1}{0,363416} + \frac{1}{0,073248} \right) = 22,837 \text{ °С};$$

$$q_{1н} = \frac{90 - 22,837}{0,363416} = 184,81 \text{ Вт/м}; \quad Q_{1норм} = 3,6 \cdot 184,81 \cdot 1,2 \cdot 1000 = 798379,2 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_1^{пер} = 798379,2 \cdot \frac{65 - 12,0}{90 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 390,108 \text{ ГДж.}$$

П.3.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$\tau_{2н(кан)} = \left(\frac{50}{0,170213} + \frac{9,3}{0,073248} \right) / \left(\frac{1}{0,170213} + \frac{1}{0,073248} \right) = 21,545 \text{ °С};$$

$$q_{2н} = \frac{50 - 21,545}{0,170213} = 167,173 \text{ Вт/м}; \quad Q_{2норм} = 3,6 \cdot 167,173 \cdot 1,2 \cdot 1000 = 722187,4 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_2^{пер} = 722187,4 \cdot \frac{43 - 12,0}{50 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 409,251 \text{ ГДж.}$$

Пример За к 5.1

П.3а.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ про- кладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффици- ент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная >5000 при Н ≤ 0,7 м	До 1990	Менее 0,7		530	1000		282,6	1,2	1,0	1220832,0

П.3а.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.3а.1.2 Проектный температурный график 150–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 90 °С. Продолжительность работы более 5000 ч в год.

П.3а.1.3 Норма плотности теплового потока суммарно для двухтрубной прокладки определяется по ТКП 642 (таблица Б.2).

Примечание – Норма плотности теплового потока для подземной прокладки не зависит от глубины залегания трубопровода. Глубина залегания учитывается при определении расчетной температуры окружающей среды при определении нормируемых тепловых потерь за расчетный период.

П.3а.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,2$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.3а.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 3,6 \cdot 282,6 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 1 = 1220832,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.3а.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $t_{\text{в}}^{\text{ср.пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	1220832,0	65	43	25	413,511

П.3а.2.1 При продолжительности работы более 5000 ч в год и $H \leq 0,7$ м по ТКП 642 (таблица А.1) принимается среднегодовая температура воздуха $t_{\text{в.р}}^{\text{ср.г}} = 6,3$ °С (г. Гомель).

П.3а.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 1220832,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 25,0}{90 + 50 - 2 \cdot 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 413,511 \text{ ГДж.}$$

П.3а.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.3а.2.

П.3а.3.1 Определение нормируемых термических сопротивлений канала и трубопроводов

Период выполнения проекта по тепловой изоляции – до 1990 года.

Принимается температура в канале 30 °С (см. приложение Е Пособия).

$$R_{\text{кан}} = \frac{30 - 6,3}{1 \cdot 282,6} = 0,083864 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт.}$$

В соответствии с ТКП 642 (таблица Б.2) $q_{1н} = 165,1$ Вт/м, $q_{2н} = 117,5$ Вт/м.

$$R_{1\text{норм}} = \frac{90 - 30}{1 \cdot 165,1} = 0,363416 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт}; \quad R_{2\text{норм}} = \frac{50 - 30}{1 \cdot 117,5} = 0,170213 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт.}$$

П.3а.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$\tau_{1н(кан)} = \left(\frac{90}{0,363416} + \frac{9,3}{0,083864} \right) / \left(\frac{1}{0,363416} + \frac{1}{0,083864} \right) = 21,994 \text{ } ^\circ\text{C};$$
$$q_{1н} = \frac{90 - 21,994}{0,363416} = 187,13 \text{ Вт/м}; \quad Q_{1норм} = 3,6 \cdot 187,13 \cdot 1,2 \cdot 1000 = 808401,6 \text{ кДж/ч};$$
$$Q_1^{пер} = 808401,6 \cdot \frac{65 - 25,0}{90 - 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 287,432 \text{ ГДж}.$$

П.3а.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$t_{2н(кан)} = \left(\frac{50}{0,170213} + \frac{6,3}{0,083864} \right) / \left(\frac{1}{0,170213} + \frac{1}{0,083864} \right) = 20,724 \text{ } ^\circ\text{C};$$
$$q_{2н} = \frac{50 - 20,724}{0,170213} = 171,996 \text{ Вт/м}; \quad Q_{2норм} = 3,6 \cdot 171,996 \cdot 1,2 \cdot 1000 = 743022,7 \text{ кДж/ч};$$
$$Q_2^{кан} = 743022,7 \cdot \frac{43 - 25,0}{50 - 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 227,702 \text{ ГДж}.$$

Пример 4 к 5.1

П.4.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ про- кладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплого потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффици- ент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная <5000 при Н > 0,7 м	С 1990 до 1 июля 1995	Более 0,7		530	1000		154,3	1,15	1,0	638802,0

П.4.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.4.1.2 Проектный температурный график 120–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 76,4 °С. Продолжительность работы менее 5000 ч в год.

П.4.1.3 По ТКП 642 (п. 5.4.2, третий абзац) нормы плотности теплового потока для тепловых сетей, сооруженных по проектам, выполненным с 1990 года до 1 июля 1995 года, определяются делением норм, приведенных в таблицах Б.3, Б.4, на коэффициент 0,7, в таблицах Б.7, Б.9 – на коэффициент 0,8.

Норма плотности теплового потока суммарно для двухтрубной прокладки для расчетных температур 76,4/50 определяется по таблице Б.4 Пособия с учетом примечания:

$$q_{н}^{76,4/50} / 0,7 = 108,0 / 0,7 = 154,3 \text{ Вт/м}.$$

П.4.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,15 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.4.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 154,3 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 638802,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.4.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °C		Средняя температура грунта за расчетный период $t_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}}$, °C	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	638802,0	65	43	12	370,339

П.4.2.1 В соответствии с ТКП 642 (п. 5.3.1, перечисление г)) для подземной прокладки независимо от продолжительности работы в год при $H > 0,7$ м принимается средняя за год температура грунта.

Среднегодовая температура грунта по ТКП 642 (таблица А.2) – 9,3 °C (г. Гомель).

П.4.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 638802,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 12,0}{76,4 + 50 - 2 \cdot 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 370,339 \text{ ГДж}.$$

П.4.3 Нештатный режим

Температура теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.4.2.

П.4.3.1 Определение нормируемых термических сопротивлений канала и трубопроводов

В соответствии с таблицей Б.4 Пособия $q_{1н} = 73,7/0,7 = 105,3$ Вт/м, $q_{2н} = q_{1н}^{76,4/50} - q_{1н} = 154,3 - 105,3 = 49,0$ Вт/м.

$$\begin{aligned} \tau_{н(\text{кан})} &= \left(\frac{76,4}{105,3} - \frac{50}{49,0} \right) / \left(\frac{1}{105,3} - \frac{1}{49,0} \right) = 27,023 \text{ °C}; \\ R_{\text{кан}} &= \frac{27,023 - 9,3}{1 \cdot 154,3} = 0,114861 \text{ м} \cdot \text{°C} / \text{Вт}; \\ R_{1\text{норм}} = R_{2\text{норм}} &= \frac{76,4 - 27,023}{1 \cdot 105,3} = \frac{50 - 27,023}{1 \cdot 49,0} = 0,468917 \text{ м} \cdot \text{°C} / \text{Вт}. \end{aligned}$$

П.4.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$\begin{aligned} \tau_{1н(\text{кан})} &= \left(\frac{76,4}{0,468917} + \frac{9,3}{0,114861} \right) / \left(\frac{1}{0,468917} + \frac{1}{0,114861} \right) = 22,502 \text{ °C}; \\ q_{1н} &= \frac{76,4 - 22,502}{0,468917} = 114,941 \text{ Вт/м}; \quad Q_{1\text{норм}} = 3,6 \cdot 114,941 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 475855,7 \text{ кДж/ч}; \\ Q_1^{\text{пер}} &= 475855,7 \cdot \frac{65 - 12,0}{76,4 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 279,641 \text{ ГДж}. \end{aligned}$$

П.4.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$\begin{aligned} \tau_{2н(\text{кан})} &= \left(\frac{50}{0,468917} + \frac{9,3}{0,114861} \right) / \left(\frac{1}{0,468917} + \frac{1}{0,114861} \right) = 17,308 \text{ °C}; \\ q_{2н} &= \frac{50 - 17,308}{0,468917} = 69,718 \text{ Вт/м}; \quad Q_{2\text{норм}} = 3,6 \cdot 69,718 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 88632,52 \text{ кДж/ч}; \\ Q_2^{\text{пер}} &= 88632,5 \cdot \frac{43 - 12,0}{50 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 163,563 \text{ ГДж}. \end{aligned}$$

Пример 4а к 5.1

П.4а.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ про- кладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплого потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффици- ент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная <5000 при Н ≤ 0,7 м	С 1990 до 1 июля 1995	Менее 0,7	530		1000	154,3		1,15	1,0	638802,0

П.4а.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.4а.1.2 Проектный температурный график 120–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 76,4 °С. Продолжительность работы менее 5000 ч в год.

П.4а.1.3 По ТКП 642 (п. 5.4.2, третий абзац) нормы плотности теплового потока для тепловых сетей, сооруженных по проектам, выполненным с 1990 года до 1 июля 1995 года, определяются делением норм, приведенных в таблицах Б.3, Б.4, на коэффициент 0,7, в таблицах Б.7, Б.9 – на коэффициент 0,8.

Норма плотности теплового потока суммарно для двухтрубной прокладки для расчетных температур 76,4/50 определяется по таблице Б.4 Пособия с учетом примечания:

$$q_n^{76,4/50} / 0,7 = 108,0 / 0,7 = 154,3 \text{ Вт/м.}$$

П.4а.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,15 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.4а.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 154,3 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 638802,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.4а.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепло- вой сети за расчетный период Z _{пер}	Суммарные нор- мируемые часовые значения тепловых потерь Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч	Средняя температу- ра теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя темпе- ратура воздуха за расчетный период τ _в ^{ср.пер} , °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период Q _{из} ^{пер(подз)} , ГДж
			под.	обр.		
Май	744	638802,0	65	43	25	214,685

П.4а.2.1 В соответствии с ТКП 642 (п. 5.3.1) при продолжительности работы менее 5000 ч в год и Н ≤ 0,7 м принимается средняя температура воздуха отопительного периода по ТКП 642 (таблица А.1) τ_{в.от}^{ср.от} = – 1,0 °С (г. Гомель).

П.4а.2.2 При Н ≤ 0,7 м принимается средняя температура воздуха за расчетный период.

П.4а.2.3 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{из}^{пер(подз)} = 638802,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 25,0}{76,4 + 50 - 2 \cdot (-1,0)} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 214,685 \text{ ГДж.}$$

П.4а.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и воздуха в расчетный период – в соответствии с П.4а.2.

П.4а.3.1 Определение нормируемых термических сопротивлений канала и трубопроводов

$q_{1н} = 73,7/0,7 = 105,3 \text{ Вт/м}; \quad q_{2н} = q_{н}^{76,4/50} - q_{1н} = 154,3 - 105,3 = 49,0 \text{ Вт/м};$

$\tau_{н(кан)} = \left(\frac{76,4}{105,3} - \frac{50}{49,0} \right) / \left(\frac{1}{105,3} - \frac{1}{49,0} \right) = 27,023 \text{ }^{\circ}\text{C};$

$R_{кан} = \frac{27,023 - (-1,0)}{1 \cdot 154,3} = 0,181614 \text{ м} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт};$

$R_{1норм} = R_{2норм} = \frac{76,4 - 27,023}{1 \cdot 105,3} = \frac{50 - 27,023}{1 \cdot 49,0} = 0,468917 \text{ м} \cdot ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}.$

П.4а.3.2 В работе только подающий трубопровод

$\tau_{1н(кан)} = \left(\frac{76,4}{0,468917} + \frac{(-1,0)}{0,181614} \right) / \left(\frac{1}{0,468917} + \frac{1}{0,181614} \right) = 20,608 \text{ }^{\circ}\text{C};$

$q_{1н} = \frac{76,4 - 20,608}{0,468917} = 118,981 \text{ Вт/м}; \quad Q_{1норм} = 3,6 \cdot 118,981 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 492581,3 \text{ кДж/ч};$

$Q_1^{пер} = 492581,3 \cdot \frac{65 - 25,0}{76,4 - (-1,0)} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 189,396 \text{ ГДж}.$

П.4а.3.3 В работе только обратный трубопровод

$\tau_{2н(кан)} = \left(\frac{50}{0,468917} + \frac{(-1,0)}{0,181614} \right) / \left(\frac{1}{0,468917} + \frac{1}{0,181614} \right) = 13,238 \text{ }^{\circ}\text{C};$

$q_{2н} = \frac{50 - 13,238}{0,468917} = 78,398 \text{ Вт/м}; \quad Q_{2норм} = 3,6 \cdot 78,398 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 324567,7 \text{ кДж/ч};$

$Q_2^{пер} = 324567,7 \cdot \frac{43 - 25,0}{50 - (-1,0)} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 85,228 \text{ ГДж}.$

Пример 5 к 5.1

П.5.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ про- кладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплого потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффици- ент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная >5000 при Н > 0,7 м	С 1 июля 1995 до 2010	Более 0,7	530	325	1000	76,4		1,15	1,0	316296,0

П.5.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.5.1.2 Проектный температурный график 110–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 71,8 °С. Продолжительность работы более 5000 ч в год.

П.5.1.3 По ТКП 642 (п. 5.4.2, последний абзац) при подземной двухтрубной прокладке трубопроводов разных диаметров нормы плотности теплового потока определяются для каждого трубопровода отдельно, суммируются и участвуют в дальнейшем расчете нормируемых тепловых потерь:

- $q_{н500}^{71,8} = 53,3$ Вт/м – по таблице Б.3 Пособия;
- $q_{н300}^{50} = 23,1$ Вт/м – по таблице Б.3 ТКП 642;
- $\Sigma q_n = 76,4$ Вт/м.

П.5.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.5.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 76,4 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 316296,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.5.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{пер}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{норм}^{(подз)}$, кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура грунта за расчетный период $\tau_{гр}^{ср.пер}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{из}^{пер(подз)}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	316296,0	65	43	12	191,543

П.5.2.1 Среднегодовая температура грунта по ТКП 642 (таблица А.2) – 9,3 °С (г. Гомель).

П.5.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{из}^{пер(подз)} = 316296,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 12,0}{71,8 + 50 - 2 \cdot 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 191,543 \text{ ГДж.}$$

П.5.3 Нештатный режим

Температура теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.5.2.

П.5.3.1 Определение нормируемых термических сопротивлений канала и трубопроводов

$$q_{1н} = 53,3 \text{ Вт/м; } q_{2н} = 23,1 \text{ Вт/м;}$$

$$\tau_{н(кан)} = \left(\frac{71,8}{53,3} - \frac{50}{23,1} \right) \Bigg/ \left(\frac{1}{53,3} - \frac{1}{23,1} \right) = 33,325 \text{ °С;}$$

$$R_{кан} = \frac{33,325 - 9,3}{1 \cdot 76,4} = 0,314463 \text{ м} \cdot \text{°С} / \text{Вт;}$$

$$R_{1норм} = R_{2норм} = \frac{71,8 - 33,325}{1 \cdot 53,3} = \frac{50 - 33,325}{1 \cdot 23,1} = 0,72186 \text{ м} \cdot \text{°С} / \text{Вт.}$$

П.5.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$\tau_{1н(кан)} = \left(\frac{71,8}{0,72186} + \frac{9,3}{0,314463} \right) \Bigg/ \left(\frac{1}{0,72186} + \frac{1}{0,314463} \right) = 28,265 \text{ °С;}$$

$$q_{1н} = \frac{71,8 - 28,265}{0,72186} = 60,309 \text{ Вт/м; } Q_{1норм} = 3,6 \cdot 60,309 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 249679,3 \text{ кДж/ч;}$$

$$Q_1^{пер} = 249679,3 \cdot \frac{65 - 12,0}{71,8 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 157,526 \text{ ГДж.}$$

П.5.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$\tau_{2н(кан)} = \left(\frac{50}{0,72186} + \frac{9,3}{0,314463} \right) / \left(\frac{1}{0,73186} + \frac{1}{0,314463} \right) = 21,650 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$q_{2н} = \frac{50 - 21,650}{0,72186} = 39,274 \text{ Вт/м}; \quad Q_{2норм} = 3,6 \cdot 39,274 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 162594,4 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_2^{пер} = 162594,4 \cdot \frac{43 - 12,0}{50 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 92,139 \text{ ГДж}.$$

Пример 5а к 5.1

Непроектный режим: подающий трубопровод переведен в режим работы обратного трубопровода (два трубопровода в режиме обратного трубопровода)

П.5а.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{норм}^{(подз)}$, кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная >5000 при $H > 0,7$ м	С 1 июля 1995 до 2010	Более 0,7	530	325	1000	60,26		1,15	1,0	249476,4

П.5а.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.5а.1.2 Проектный температурный график 110–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 71,8 °С. Продолжительность работы более 5000 ч в год.

П.5а.2.3 Среднегодовая температура грунта по ТКП 642 (таблица А.2) – 9,3 °С (г. Гомель).

П.5а.1.4 Предварительно определяются нормы плотности теплового потока при проектных температурных условиях, на которые запроектированы трубопроводы рассматриваемых участков теплосети по ТКП 642 (п. 5.4.5.1):

- $q_{н 500}^{71,8} = 53,3$ Вт/м – по таблице Б.3 Пособия;
- $q_{н 300}^{50} = 23,1$ Вт/м – по таблице Б.3 ТКП 642;
- $\Sigma q_n = q_{н 500}^{71,8} + q_{н 300}^{50} = 53,3 + 23,1 = 76,4$ Вт/м.

Производится пересчет нормативных значений, определенных в соответствии ТКП 642 (п. 5.4.5.1), на фактический режим работы участков теплосети в соответствии с ТКП 642 (п. 5.4.5.2).

$$\Sigma q_{н.ф} = \Sigma q_n \cdot \frac{t_{2п} - \tau_{гр.г}^{ср.г}}{0,5(t_{1п} + t_{2п}) - \tau_{гр.г}^{ср.г}} = 76,4 \cdot \frac{50 - 9,3}{0,5(71,8 + 50) - 9,3} = 60,26 \text{ Вт/м}.$$

П.5а.1.5 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.5а.1.6 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 60,26 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 249476,4 \text{ кДж/ч}.$$

П.5а.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура грунта за расчетный период $\tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{(\text{подз})}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	249476,4	43		12	141,374

П.5а.2.1 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.11)):

$$Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 249476,4 \cdot \frac{43 - 12,0}{50 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 141,374 \text{ ГДж.}$$

П.5а.3 Нештатный режим

Температура теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.5а.2.

П.5а.3.1 Определение нормируемых термических сопротивлений канала и трубопроводов

$$\begin{aligned} q_{1н} &= 53,3 \text{ Вт/м}; \quad q_{2н} = 23,1 \text{ Вт/м}; \\ \tau_{н(\text{кан})} &= \left(\frac{71,8}{53,3} - \frac{50}{23,1} \right) / \left(\frac{1}{53,3} - \frac{1}{23,1} \right) = 33,325 \text{ °С}; \\ R_{\text{кан}} &= \frac{33,325 - 9,3}{1 \cdot 76,4} = 0,314463 \text{ м} \cdot \text{°С} / \text{Вт}; \\ R_{1\text{норм}} = R_{2\text{норм}} &= \frac{71,8 - 33,325}{1 \cdot 53,3} = \frac{50 - 33,325}{1 \cdot 23,1} = 0,72186 \text{ м} \cdot \text{°С} / \text{Вт}. \end{aligned}$$

П.5а.3.2 В работе только один трубопровод (независимо от диаметра, т.к. $R_{1\text{норм}} = R_{2\text{норм}}$)

$$\begin{aligned} \tau_{2н(\text{кан})} &= \left(\frac{50}{0,72186} + \frac{9,3}{0,314463} \right) / \left(\frac{1}{0,73186} + \frac{1}{0,314463} \right) = 21,650 \text{ °С}; \\ q_{2н} &= \frac{50 - 21,650}{0,72186} = 39,274 \text{ Вт/м}; \quad Q_{2\text{норм}} = 3,6 \cdot 39,274 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 162594,4 \text{ кДж/ч}; \\ Q_2^{\text{пер}} &= 162594,4 \cdot \frac{43 - 12,0}{50 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 92,139 \text{ ГДж.} \end{aligned}$$

Пример 56 к 5.1

Непроектный режим: обратный трубопровод переведен в режим работы подающего трубопровода (два трубопровода в режиме подающего трубопровода)

П.5б.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная >5000 при $H \leq 0,7$ м	С 1 июля 1995 до 2010	Менее 0,7	530	325	1000	91,65		1,15	1,0	379431,0

П.56.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.56.1.2 Проектный температурный график 110–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 71,8 °С. Продолжительность работы более 5000 ч в год.

П.56.1.3 При $H \leq 0,7$ для продолжительности работы более 5000 в год среднегодовая температура воздуха по ТКП 642 (таблица А.1) $\tau_{в}^{ср.г} = 6,3$ °С (г. Гомель).

П.56.1.4 Предварительно определяются нормы плотности теплового потока при проектных температурных условиях, на которые запроектированы трубопроводы рассматриваемых участков теплосети по ТКП 642 (п. 5.4.5.1):

- $q_{н\ 500}^{71,8} = 71,8$ Вт/м – по таблице Б.3 Пособия;
- $q_{н\ 300}^{50} = 23,1$ Вт/м – по таблице Б.3 ТКП 642;
- $\Sigma q_{н} = q_{н\ 500}^{71,8} + q_{н\ 300}^{50} = 53,3 + 23,1 = 76,4$ Вт/м.

Производится пересчет нормативных значений, определенных в соответствии ТКП 642 (п. 5.4.5.1), на фактический режим работы участков теплосети в соответствии ТКП 642 (п. 5.4.5.2):

$$\Sigma q_{н.ф} = \Sigma q_{н} \cdot \frac{t_{2p} - \tau_{в}^{ср.г}}{0,5(t_{1p} + t_{2p}) - \tau_{в}^{ср.г}} = 76,4 \cdot \frac{71,8 - 6,3}{0,5(71,8 + 50) - 6,3} = 91,65 \text{ Вт/м.}$$

П.56.1.5 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.56.1.6 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 91,65 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 379431,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.56.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепло-вой сети за расчетный период $Z_{пер}$	Суммарные нор-мируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{норм}^{(подз)}$, кДж/ч	Средняя температу-ра теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя темпе-ратура воздуха за расчетный период $\tau_{в}^{ср.пер}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{из}^{пер(подз)}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	379431,0	65		25	172,395

П.56.2.1 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный пери-од определяются по ТКП 642 (формула (5.10)):

$$Q_{из}^{пер(подз)} = 379431,0 \cdot \frac{65 - 25,0}{71,8 - 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 172,395 \text{ ГДж.}$$

П.56.3 Нештатный режим

Температура теплоносителя и воздуха в расчетный период – в соответствии с П.56.2

П.56.3.1 Определение нормируемых термических сопротивлений канала и трубопроводов

$$q_{1н} = 53,3 \text{ Вт/м; } q_{2н} = 23,1 \text{ Вт/м;}$$

$$\tau_{н(кан)} = \left(\frac{71,8}{53,3} - \frac{50}{23,1} \right) / \left(\frac{1}{53,3} - \frac{1}{23,1} \right) = 33,325 \text{ °С;}$$

$$R_{кан} = \frac{33,325 - 6,3}{1 \cdot 76,4} = 0,353730 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт;}$$

$$R_{1норм} = R_{2норм} = \frac{71,8 - 33,325}{1 \cdot 53,3} = \frac{50 - 33,325}{1 \cdot 23,1} = 0,72186 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт.}$$

П.56.3.2 В работе только один трубопровод (независимо от диаметра, т.к. $R_{1норм} = R_{2норм}$)

$$\tau_{1н(кан)} = \left(\frac{71,8}{0,72186} + \frac{6,3}{0,353730} \right) / \left(\frac{1}{0,72186} + \frac{1}{0,353730} \right) = 27,841 \text{ } ^\circ\text{C};$$
$$q_{1н} = \frac{71,8 - 27,841}{0,72186} = 60,897 \text{ Вт/м}; \quad Q_{1норм} = 3,6 \cdot 60,897 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 252113,6 \text{ кДж/ч};$$
$$Q_1^{пер} = 252113,6 \cdot \frac{65 - 25,0}{71,8 - 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 1114,548 \text{ ГДж}.$$

Пример 6 к 5.1

Запроектировано два обратных трубопровода

П.6.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ про- кладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффици- ент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{норм}^{(подз)}$, кДж/ч
			обр.	обр.		обр.	обр.			
Подземная >5000 при $H > 0,7$ м	С 1 июля 1995 до 2010	Более 0,7	325		1000	46,2		1,15	1,0	191268,0

П.6.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная.

П.6.1.2 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.6.1.3 Продолжительность работы более 5000 ч в год. Норма плотности теплового потока по ТКП 642 (таблица Б.3): $q_{2н}^{50+50} = 2 \cdot q_{2н}^{50} = 2 \cdot 23,1 = 46,2$ Вт/м.

П.6.1.4 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 46,2 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 191268,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.6.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепло- вой сети за расчетный период $Z_{пер}$	Суммарные нор- мируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{норм}^{(подз)}$, кДж/ч	Средняя температу- ра теплоносителя за расчетный период, $^\circ\text{C}$		Средняя темпе- ратура грунта за расчетный период $\tau_{гр}^{ср.пер}$, $^\circ\text{C}$	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{из}^{пер(подз)}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	191268,0	43		12	108,388

П.6.2.1 Среднегодовая температура грунта по ТКП 642 (таблица. А.2) – 9,3 $^\circ\text{C}$ (г. Гомель).

П.6.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный пери-
од определяются по ТКП 642 (формула (5.11)):

$$Q_{из}^{пер(подз)} = 191268,0 \cdot \frac{43 - 12,0}{50 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 108,388 \text{ ГДж}.$$

П.6.3 Нештатный режим

Температура теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.6.2.

П.6.3.1 Определение нормируемого термического сопротивления канала и трубопроводов
Принимается температура в канале 30 °С (см. Е.1.1, перечисление б)):

$$R_{\text{кан}} = \frac{\tau_{\text{н(кан)}}^{\text{ср.г}} - \tau_{\text{гр.р}}^{\text{ср.г}}}{K \cdot q_{2\text{н}}^{50+50}} = \frac{30 - 9,3}{1 \cdot 46,2} = 0,448052 \text{ м} \cdot ^\circ\text{С/Вт};$$

$$R_{2\text{норм}} = \frac{t_{2\text{р}} - \tau_{\text{н(кан)}}^{\text{ср.г}}}{K \cdot q_{2\text{н}}^{\text{подз}}} = \frac{50 - 30}{1 \cdot 23,1} = 0,865801 \text{ м} \cdot ^\circ\text{С/Вт}.$$

П.6.3.2 В работе только один трубопровод

$$\tau_{\text{н(кан)}} = \left(\frac{50}{0,865801} + \frac{9,3}{0,448052} \right) \left/ \left(\frac{1}{0,865801} + \frac{1}{0,448052} \right) \right. = 23,180 \text{ } ^\circ\text{С};$$

$$q_{2\text{н}}^{50} = \frac{50 - 23,180}{0,865801} = 30,977 \text{ Вт/м}; \quad Q_{\text{норм}} = 3,6 \cdot 30,977 \cdot 1,15 \cdot 1000 = 128244,8 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{\text{норм}}^{\text{пер(подз)}} = 128244,8 \cdot \frac{43 - 12,0}{50 - 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 72,674 \text{ ГДж}.$$

5.1.2 Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводами

Пример 7 к 5.1

П.7.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ про- кладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффици- ент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ПИ по СТБ 2252 при Н > 0,7 м	С 1 июля 1995 до 2010	Бо- лее 0,7	530		1000	80,7		1,15	1,0	334098,0

П.7.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная ПИ-трубами.

П.7.1.2 Расчетная температура теплоносителя для ПИ-труб: в подающем трубопроводе – 90 °С, в обратном – 50 °С.

П.7.1.3 Расчетная плотность теплового потока определяется по ТКП 642 (таблица Б.15).

П.7.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,15 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.7.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{\text{норм}}^{\text{(подз)}} = 3,6 \cdot 80,7 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 334098,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.7.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепло- вой сети за расчетный период Z _{пер}	Суммарные нор- мируемые часовые значения тепловых потерь Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч	Средняя температу- ра теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя темпе- ратура грунта за расчетный период τ _{гр.пер} ^{ср.пер} , °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период Q _{из} ^{пер(подз)} , ГДж
			под.	обр.		
Май	744	334098,0	65	43	12	160,614

П.7.2.1 Расчетная температура окружающей трубопровод среды для ПИ-труб по ТКП 642 (п. 5.3.3) – 5 °С.

П.7.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{из}^{пер(подз)} = 334098,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 12,0}{90 + 50 - 2 \cdot 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 160,614 \text{ ГДж.}$$

П.7.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.7.2.

П.7.3.1 Расчетная плотность теплового потока для одиночного трубопровода при температуре теплоносителя 90 °С приведена в таблице Б.13 Пособия:

$$q_n^{90} = 58,0 \text{ Вт/м; } Q_{норм} = 3,6 \cdot 58,0 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 240120,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.7.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$Q_{норм}^{пер(подз)} = 240120,0 \cdot \frac{65 - 12,0}{90 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 111,393 \text{ ГДж.}$$

П.7.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$Q_{норм}^{пер(подз)} = 240120,0 \cdot \frac{43 - 12,0}{90 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 65,154 \text{ ГДж.}$$

Пример 8 к 5.1

П.8.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ПИ по СТБ 2252 при Н ≤ 0,7 м	С 2010	Менее 0,7		530	1000	80,7		1,0	1,0	290520,0

П.8.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная ПИ-трубами.

П.8.1.2 Расчетная температура теплоносителя для ПИ-труб: для подающего трубопровода – 90 °С, для обратного – 50 °С.

П.8.1.3 Расчетная плотность теплового потока определяется по ТКП 642 (таблица Б.15).

П.8.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,0 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.8.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 80,7 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 290520,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.8.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период Z ^{пер}	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь Q _{норм} ^(подз) , кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период τ _в ^{ср.пер} , °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период Q _{из} ^{пер(подз)} , ГДж
			под.	обр.		
Май	744	290520,0	65	43	25	96,435

П.8.2.1 Расчетная температура окружающей трубопровод среды для ПИ-труб по ТКП 642 (п. 5.3.3) – 5 °С.

П.8.2.2 При $H \leq 0,7$ м принимается средняя температура воздуха за расчетный период.

П.8.2.3 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{из}^{пер(подз)} = 290520,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 25,0}{90 + 50 - 2 \cdot 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 96,435 \text{ ГДж.}$$

П.8.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и воздуха в расчетный период – в соответствии с П.8.2.

П.8.3.1 Расчетная плотность теплового потока для одиночного трубопровода при температуре теплоносителя 90 °С приведена в таблице Б.13 Пособия:

$$q_n^{90} = 58,0 \text{ Вт/м; } Q_{норм} = 3,6 \cdot 58,0 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 208800,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.8.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$Q_{норм}^{пер(подз)} = 208800,0 \cdot \frac{65 - 25,0}{90 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 73,105 \text{ ГДж.}$$

П.8.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$Q_{норм}^{пер(подз)} = 208800,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{90 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 32,897 \text{ ГДж.}$$

Пример 9 к 5.1

П.9.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{норм}^{(подз)}$, кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ГПИ при $H > 0,7$ м	С 1 июля 1995 до 2010	Более 0,7	90/160		1000	31,6		1,15	1,0	130824,0

П.9.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная ГПИ-трубами.

П.9.1.2 Для ГПИ-труб вместо наружного диаметра указывается типоразмер труб для подземной прокладки в непроходных каналах по ТКП 642 (таблица Б.17).

П.9.1.3 Расчетная температура теплоносителя для ГПИ-труб: в подающем трубопроводе – 65 °С, в обратном – 50 °С.

П.9.1.4 Расчетная плотность теплового потока – по ТКП 642 (таблица Б.17).

П.9.1.5 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.9.1.6 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 31,6 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 130824,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.9.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура грунта за расчетный период $t_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{(\text{подз})}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	130824,0	65	43	12	77,866

П.9.2.1 Расчетная температура окружающей трубопровод среды для ГПИ-труб по ТКП 642 (п. 5.3.3) – 5 °С.

П.9.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{\text{из}}^{(\text{подз})} = 130824,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 12,0}{65 + 50 - 2 \cdot 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 77,866 \text{ ГДж.}$$

П.9.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.9.2.

П.9.3.1 Расчетная плотность теплового потока для одиночного трубопровода при температуре теплоносителя 65 °С приведена в таблице Б.15 Пособия:

$$q_{\text{н}}^{65} = 19,3 \text{ Вт/м; } Q_{\text{норм}} = 3,6 \cdot 19,3 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 79902,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.9.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 79902,0 \cdot \frac{65 - 12,0}{65 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 52,512 \text{ ГДж.}$$

П.9.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 79902,0 \cdot \frac{43 - 12,0}{65 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 30,714 \text{ ГДж.}$$

Пример 10 к 5.1

П.10.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр $d_{\text{н}}$, мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока $q_{\text{н}}$, Вт/м		Коэффициент местных тепловых потерь β	Коэффициент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ГСИ при $H \leq 0,7$ м	С 2010	Менее 0,7	88	160	1000	36,4		1,0	1,0	131040,0

П.10.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная ГСИ-трубами.

П.10.1.2 Для ГСИ-труб вместо наружного диаметра указывается типоразмер труб для подземной прокладки в непроходных каналах по ТКП 642 (таблица Б.19).

П.10.1.3 Расчетная температура теплоносителя для ГСИ-труб: в подающем трубопроводе – 65 °С, в обратном – 50 °С.

П.10.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,0$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.10.1.5 Расчетная плотность теплового потока – по ТКП 642 (таблица Б.19).

П.10.1.6 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 3,6 \cdot 36,4 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 131040,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.10.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $t_{\text{в}}^{\text{ср.пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	131040,0	65	43	25	53,854

П.10.2.1 Расчетная температура окружающей трубопровод среды для ГСИ-труб по ТКП 642 (п. 5.3.3) – 5 °С.

П.10.2.2 При $H \leq 0,7$ м принимается средняя температура воздуха за расчетный период.

П.10.2.3 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 131040,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 25,0}{65 + 50 - 2 \cdot 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 53,854 \text{ ГДж.}$$

П.10.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и воздуха в расчетный период в соответствии с П.10.2.

П.10.3.1 Расчетная плотность теплового потока для одиночного трубопровода при температуре теплоносителя 65 °С приведена в таблице Б.18 Пособия:

$$q_{\text{н}}^{65} = 22,5 \text{ Вт/м; } Q_{\text{норм}} = 3,6 \cdot 22,5 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 81000,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.10.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$Q_{\text{норм}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 81000,0 \cdot \frac{65 - 25,0}{65 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 40,176 \text{ ГДж.}$$

П.10.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$Q_{\text{норм}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 81000,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{65 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 18,079 \text{ ГДж.}$$

Пример 11 к 5.1

П.11.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр $d_{\text{н}}$, мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока $q_{\text{н}}$, Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ГПИ при $H \leq 0,7$ м	С 2010	Менее 0,7	90/125	40/110	1000	33,5		1,0	1,0	120600,0

Примечание – Типоразмер труб в соответствии с ТКП 642 (таблица Б.17): подающего трубопровода – 90/125 с наружным диаметром трубы оболочки 129,7 мм; обратного трубопровода – 40/110 с толщиной стенки напорной трубы 6,9 мм.

П.11.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка канальная ГПИ-трубами.

П.11.1.2 Расчетная температура теплоносителя для ГПИ-труб: в подающем трубопроводе – 65 °С, в обратном – 50 °С.

П.11.1.3 По ТКП 642 (п. 5.4.2, последний абзац) при подземной двухтрубной прокладке трубопроводов разных диаметров нормы плотности теплового потока определяются для каждого трубопровода отдельно, суммируются и участвуют в дальнейшем расчете нормируемых тепловых потерь.

Расчетная плотность теплового потока определяется по ТКП 642 (таблица Б.17):

$$q_{1н} = 23,5 \text{ Вт/м}; q_{2н} = 10,0 \text{ Вт/м}; \Sigma q_{н} = 33,5 \text{ Вт/м}.$$

П.11.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,0$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.11.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 3,6 \cdot 33,5 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 120600,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.11.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $t_{\text{в}}^{\text{ср.пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	120600,0	65	43	25	49,563

П.11.2.1 Расчетная температура окружающей трубопровод среды для ГПИ-труб ТКП 642 (п. 5.3.3) – 5 °С.

П.11.2.2 При $H \leq 0,7$ м принимается средняя температура воздуха за расчетный период.

П.11.2.3 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 120600,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 25,0}{65 + 50 - 2 \cdot 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 49,563 \text{ ГДж}.$$

П.11.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и воздуха в расчетный период – в соответствии с П.11.2.

П.11.3.1 Расчетная плотность теплового потока для одиночного трубопровода при температуре теплоносителя 65 °С приведена в таблице Б.15 Пособия:

- для подающего трубопровода – $q_{1н}^{65} = 25,0$ Вт/м;
- для обратного трубопровода – $q_{2н}^{65} = 14,3$ Вт/м.

П.11.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$Q_{\text{норм}} = 3,6 \cdot 25,0 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 90000,0 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{\text{норм}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 90000,0 \cdot \frac{65 - 25,0}{65 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 44,640 \text{ ГДж}.$$

П.11.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$Q_{\text{норм}} = 3,6 \cdot 14,3 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 51480,0 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{\text{норм}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 51480,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{65 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 11,490 \text{ ГДж}.$$

5.2 Бесканальная прокладка

5.2.1 Расчет по нормам плотности теплового потока

Пример 1 к 5.2

П.1.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q ^(подз) _{норм} , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ГВС при Н > 0,7 м	До 1990	Более 0,7	219	133	1000	100,4		1,15	1,0	415656,0

П.1.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. проект выполнен до 1990 года.

П.1.1.2 Расчетная температура теплоносителя по ТКП 642 (п. 5.3.2): в подающем трубопроводе – 60 °С, в обратном – 50 °С.

П.1.1.3 Норма плотности теплового потока по таблице Б.1 Пособия:

- для подающего трубопровода – q_{1н} = 59,7 Вт/м;
- для обратного трубопровода – q_{2н} = 40,7 Вт/м;
- Σq_н = 100,4 Вт/м.

П.1.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,15 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.1.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 3,6 \cdot 100,4 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 415656,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.1.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период Z _{пер}	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь Q ^(подз) _{норм} , кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура грунта за расчетный период τ _{гр.пер} ^{ср.пер} , °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период Q ^{пер(подз)} _{из} , ГДж
			под.	обр.		
Май	744	415656,0	55	45	12	257,143

П.1.2.1 Среднегодовая температура грунта по ТКП 642 (таблица А.2) – 9,3 °С (г. Гомель).

П.1.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{\text{из}}^{\text{пер(подз)}} = 415656,0 \cdot \frac{55 + 45 - 2 \cdot 12,0}{60 + 50 - 2 \cdot 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 257,143 \text{ ГДж.}$$

П.1.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.1.2.

П.1.3.1 Год выполнения проекта по тепловой изоляции – до 1990 года.

$$R_{1н} = \frac{t_{1р} - \tau_{гр.р}^{ср.г}}{K \cdot q_{1н}} = \frac{60 - 9,3}{1 \cdot 59,7} = 0,849246 \text{ м} \cdot \text{°С/Вт.}$$

П.1.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$q_{1н}^{пер} = \frac{55 - 12,0}{0,849246} = 50,633 \text{ Вт/м};$$
$$Q_1^{пер} = 3,6 \cdot 50,633 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 155,958 \text{ ГДж}.$$

Пример 2 к 5.2

П.2.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ про- кладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплого потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффици- ент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом $K \cdot Q_{норм}^{(подз)}$, кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ГВС при $H \leq 0,7$ м	С 1990 до 1 июля 1995	Менее 0,7	219	133	1000	67,038		1,15	1,0	277537,3

П.2.1.1 Теплоизоляционный слой – пенополиуретан. Коэффициент $K_{т1}$ на материал по ТКП 642 (таблица Б.8): для подающего трубопровода $D_u 200 - 0,7$; для обратного трубопровода $D_u 125 - 0,6$.

П.2.1.2 Расчетная температура теплоносителя по ТКП 642 (п. 5.3.2): в подающем трубопроводе – 60°C , в обратном – 50°C .

П.2.1.3 Нормы плотности теплового потока с учетом коэффициентов $K = 0,8$ (проект с 1990 года до 1 июля 1995 года) и $K_{т1}$:

– для подающего трубопровода по таблице Б.7 Пособия:

$$q_{1н} = 48,5 \cdot K_{т1} / K = 48,5 \cdot 0,7 / 0,8 = 42,438 \text{ Вт/м};$$

– для обратного трубопровода по ТКП 642 (таблица Б.7):

$$q_{2н} = 32,8 \cdot K_{т1} / K = 32,8 \cdot 0,6 / 0,8 = 24,600 \text{ Вт/м};$$

$$\Sigma q_n = 67,038 \text{ Вт/м}.$$

П.2.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.2.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 67,038 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 277537,3 \text{ кДж/ч}.$$

П.2.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепло- вой сети за расчетный период $Z^{пер}$	Суммарные нор- мируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{норм}^{(подз)}$, кДж/ч	Средняя температу- ра теплоносителя за расчетный период, $^\circ\text{C}$		Средняя темпе- ратура воздуха за расчетный период $\tau_{в}^{ср.пер}$, $^\circ\text{C}$	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{из}^{пер(подз)}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	277537,3	55	45	25	106,0

П.2.2.1 При продолжительности работы более 5000 ч в год принимается среднегодовая температура воздуха по ТКП 642 (таблица А.1) $\tau_{в,р}^{ср.г} = 6,3^\circ\text{C}$ (г. Гомель).

П.2.2.2 При $H \leq 0,7$ м принимается средняя температура воздуха за расчетный период.

П.2.2.3 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{\text{из}}^{\text{пер(подз)}} = 277537,3 \cdot \frac{55 + 45 - 2 \cdot 25,0}{60 + 50 - 2 \cdot 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 106,0 \text{ ГДж.}$$

П.2.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и воздуха в расчетный период – в соответствии с П.2.2.

П.2.3.1 Год выполнения проекта по тепловой изоляции – с 1990 года до 1 июля 1995 года.

$$A = \frac{q_{2н} (50 - \tau_{в}^{\text{ср.г}}) - q_{1н} (t_{1р} - \tau_{в}^{\text{ср.г}})}{q_{2н} (t_{1р} - \tau_{в}^{\text{ср.г}}) - q_{1н} (50 - \tau_{в}^{\text{ср.г}})} = \frac{24,6 \cdot (50 - 6,3) - 42,438 \cdot (60 - 6,3)}{24,6 \cdot (60 - 6,3) - 42,438 \cdot (50 - 6,3)} = 2,257;$$

$$R_{1н} = R_{2н} = \frac{(t_{1р} + 50 - 2\tau_{в}^{\text{ср.г}}) A}{q_{1н} + q_{2н}} \cdot (1 + A) = \frac{(60 + 50 - 2 \cdot 6,3) \cdot 2,257}{42,438 + 24,6} \cdot (1 + 2,257) = 1,006820 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_0 = \frac{t_{1р} + 50 - 2\tau_{в}^{\text{ср.г}}}{q_{1н} + q_{2н}} - R_{1н} = \frac{60 + 50 - 2 \cdot 6,3}{42,438 + 24,6} - 1,006820 = 0,446087 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}.$$

П.2.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$q_{1н}^{\text{пер}} = \frac{55 - 25,0}{1,006820} = 29,797 \text{ Вт/м.}$$

$$Q_1^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 29,797 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 91,780 \text{ ГДж.}$$

Пример 3 к 5.2

П.3.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ про- кладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплого потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффици- ент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом $K Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная >5000 при $H > 0,7$ м	С 2010 до 16 марта 2018	Более 0,7		219	1000		104,0	1,0	1,0	374400,0

П.3.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. проект выполнен с 2010 года.

П.3.1.2 Проектный температурный график 150–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1) расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 90 °С. Продолжительность работы более 5000 ч в год.

П.3.1.3 Норма плотности теплового потока по ТКП 642 (таблица Б.11):

$$q_{1н} = 67,0 \text{ Вт/м}; \quad q_{2н} = 104,0 - 67,0 = 37,0 \text{ Вт/м}; \quad \Sigma q_n = 104,0 \text{ Вт/м}.$$

П.3.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,0$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.3.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 3,6 \cdot 100,4 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 374400,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.3.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z^{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})}$, кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °C		Средняя температура грунта за расчетный период $\tau_{\text{гр}}^{\text{пер}}$, °C	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})}$, ГДж
			под.	обр.		
Май	744	374400,0	65	43	12	192,739

П.3.2.1 Среднегодовая температура грунта по ТКП 642 (таблица А.2) – 9,3 °C (г. Гомель).

П.3.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формула (5.9)):

$$Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 374400,3 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 12,0}{90 + 50 - 2 \cdot 9,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 192,739 \text{ ГДж.}$$

П.3.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и грунта в расчетный период – в соответствии с П.3.2.

П.3.3.1 Период выполнения проекта по тепловой изоляции – с 2010 года до 16 марта 2018 года.

$$A = \frac{q_{2\text{н}}(50 - \tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}}) - q_{1\text{н}}(t_{1\text{п}} - \tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}})}{q_{2\text{н}}(t_{1\text{п}} - \tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}}) - q_{1\text{н}}(50 - \tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}})} = \frac{37,0 \cdot (50 - 9,3) - 67,0 \cdot (90 - 9,3)}{37,0 \cdot (90 - 9,3) - 67,0 \cdot (50 - 9,3)} = -15,062;$$

$$R_{1\text{н}} = R_{2\text{н}} = \frac{(t_{1\text{п}} + 50 - 2\tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}})A}{q_{1\text{н}} + q_{2\text{н}}} \Big/ (1 + A) = \frac{(90 + 50 - 2 \cdot 9,3) \cdot (-15,062)}{67,0 + 37,0} \Big/ (1 + (-15,062)) = 1,250319 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$R_0 = \frac{t_{1\text{п}} + 50 - 2\tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}}}{q_{1\text{н}} + q_{2\text{н}}} - R_{1\text{н}} = \frac{90 + 50 - 2 \cdot 9,3}{67,0 + 37,0} - 1,250319 = -0,08301 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Для трубопроводов с $R_0 \leq 0$ линейная плотность теплового потока при работе одиночного трубопровода определяется без учета взаимного влияния трубопроводов по формулам:

$$R_{1\text{н}} = \frac{t_{1\text{п}} - \tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}}}{q_{1\text{н}}} = \frac{90 - 9,3}{67,0} = 1,204478 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт};$$

$$R_{2\text{н}} = \frac{50 - \tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}}}{q_{2\text{н}}} = \frac{50 - 9,3}{37,0} = 1,100000 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}.$$

П.3.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$q_{1\text{н}}^{\text{пер}} = \frac{t_1^{\text{пер}} - \tau_{\text{гр}}^{\text{пер}}}{R_{1\text{н}}} = \frac{65 - 12,0}{1,204478} = 44,002 \text{ Вт/м};$$

$$Q_1^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 44,002 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 117,855 \text{ ГДж.}$$

П.3.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$q_{2\text{н}}^{\text{пер}} = \frac{t_2^{\text{пер}} - \tau_{\text{гр}}^{\text{пер}}}{R_{2\text{н}}} = \frac{43 - 12,0}{1,100000} = 28,182 \text{ Вт/м};$$

$$Q_2^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 28,182 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 75,483 \text{ ГДж.}$$

5.2.2 Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводами

Пример 4 к 5.2

П.4.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Заглубление, м	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K Q ^(подз) _{норм} , кДж/ч
			под.	обр.		под.	обр.			
Подземная ГПИ при H ≤ 0,7 м	С 2010	Менее 0,7	90/125	40/110	1000	36,3		1,0	1,0	130680,0

Примечание – Типоразмер труб в соответствии с ТКП 642 (таблица Б.18): подающего трубопровода – 90/125 с наружным диаметром трубы-оболочки 129,7 мм; обратного – 40/110 с толщиной стенки напорной трубы 6,9 мм.

П.4.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка ГПИ-трубами.

П.4.1.2 Расчетная температура теплоносителя для ГПИ-труб: в подающем трубопроводе – 65 °С, в обратном – 50 °С.

П.4.1.3 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,0 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.4.1.4 Расчетная плотность теплового потока по ТКП 642 (таблица Б.18):

$q_{1н} = 25,6 \text{ Вт/м}; q_{2н} = 10,7 \text{ Вт/м}; \Sigma q_{н} = 36,3 \text{ Вт/м}.$

П.4.1.5 По ТКП 642 (п. 5.4.2) при подземной двухтрубной прокладке трубопроводов разных диаметров нормы плотности теплового потока определяются для каждого трубопровода отдельно, суммируются и участвуют в дальнейшем расчете нормируемых тепловых потерь.

Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$Q_{норм}^{(подз)} = 3,6 \cdot 36,3 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 130680,0 \text{ кДж/ч}.$

П.4.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период Z _{пер}	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь Q ^(подз) _{норм} , кДж/ч	Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период t _в ^{ср.пер} , °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период Q ^{пер(подз)} _{из} , ГДж
			под.	обр.		
Май	744	130680,0	65	43	25	53,706

П.4.2.1 Расчетная температура окружающей трубопровод среды для ГПИ-труб по ТКП 642 (п. 5.3.3) – 5 °С.

П.4.2.2 При H ≤ 0,7 м принимается средняя температура воздуха за расчетный период.

П.4.2.3 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период:

$Q_{из}^{пер(подз)} = 130680,0 \cdot \frac{65 + 43 - 2 \cdot 25,0}{65 + 50 - 2 \cdot 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 53,706 \text{ ГДж}.$

П.4.3 Нештатный режим

Температуры теплоносителя и воздуха в расчетный период – в соответствии с П.4.2.

П.4.3.1 Расчетная плотность теплового потока для одиночного трубопровода при температуре теплоносителя 65 °С приведена в таблице Б.15 Пособия:

- для подающего трубопровода – $q_{1н}^{65} = 25,0$ Вт/м;
- для обратного трубопровода – $q_{2н}^{65} = 14,3$ Вт/м.

П.4.3.2 В работе только подающий трубопровод

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 3,6 \cdot 25,0 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 90000,0 \text{ кДж/ч.}$$

$$Q_{\text{норм}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 90000,0 \cdot \frac{65 - 25,0}{65 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 44,640 \text{ ГДж.}$$

П.4.3.3 В работе только обратный трубопровод

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{подз})} = 3,6 \cdot 14,3 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 1 = 51480,0 \text{ кДж/ч.}$$

$$Q_{\text{норм}}^{\text{пер}(\text{подз})} = 51480,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{65 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 11,490 \text{ ГДж.}$$

5.3 Прокладка на открытом воздухе (надземная прокладка), в помещении (техническом подполье), тоннеле (проходном канале)

Расчет тепловых потерь для прокладки на открытом воздухе (надземная прокладка), в помещении (техническом подполье), тоннеле (проходном канале) проводится по одним формулам с подстановкой в них соответствующих температур воздуха.

5.3.1 Расчет по нормам плотности теплового потока

Пример 1 к 5.3

П.1.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{\text{норм}}^{(\text{возд})}$, кДж/ч	
		под.	обр.		под.	обр.			под.	обр.
Надземная >5000	До 1990	530		1000	133,0	88,4	1,25	1,0	598500,0	397800,0

П.1.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка надземная.

П.1.1.2 Проектный температурный график 150–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 90 °С. Продолжительность работы более 5000 ч в год.

П.1.1.3 Норма плотности теплового потока:

- $q_{1н} = 133,0$ Вт/м для 90 °С по таблице В.1 Пособия;
- $q_{2н} = 88,4$ Вт/м для 50 °С по таблице В.1 ТКП 642.

П.1.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,25$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.1.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{\text{норм}}^{(\text{возд})} = 3,6 \cdot 133,0 \cdot 1,25 \cdot 1000 \cdot 1 = 598500,0 \text{ кДж/ч;}$$

$$Q_{2\text{норм}}^{(\text{возд})} = 3,6 \cdot 88,4 \cdot 1,25 \cdot 1000 \cdot 1 = 397800,0 \text{ кДж/ч.}$$

П.1.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{возд})}$, кДж/ч		Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $t_{\text{в.пер}}^{\text{ср.пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{возд})}$, ГДж	
		под.	обр.	под.	обр.		под.	обр.
Май	744	598500,0	397800,0	65	43	25	212,8	121,9

П.1.2.1 Среднегодовая температура воздуха по ТКП 642 (таблица А.1) – 6,3 °С (г. Гомель).

П.1.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формулы (5.12), (5.13)):

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер}(\text{возд})} = Q_{1\text{норм}}^{(\text{возд})} \cdot \frac{t_{1\text{ср.пер}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.пер}}}{t_{1\text{р}} - t_{\text{в.р}}^{\text{ср.г}}} \cdot 10^{-6} \cdot Z_{\text{пер}} = 598500,0 \cdot \frac{65 - 25,0}{90 - 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 212,800 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{из}}^{\text{пер}(\text{возд})} = Q_{2\text{норм}}^{(\text{возд})} \cdot \frac{t_{2\text{ср.пер}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.пер}}}{t_{2\text{р}} - t_{\text{в.р}}^{\text{ср.г}}} \cdot 10^{-6} \cdot Z_{\text{пер}} = 397800,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{50 - 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 121,907 \text{ ГДж}.$$

П.1.3 Нештатный режим

Перевод подающего трубопровода для работы в режиме обратного трубопровода с температурой 43 °С.

Температура воздуха в расчетный период – в соответствии с П.1.2.

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер}(\text{возд})} = Q_{1\text{норм}}^{(\text{возд})} \cdot \frac{t_{2\text{ср.пер}} - t_{\text{в}}^{\text{ср.пер}}}{t_{1\text{р}} - t_{\text{в.р}}^{\text{ср.г}}} \cdot 10^{-6} \cdot Z_{\text{пер}} = 598500,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{90 - 6,3} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 95,760 \text{ ГДж}.$$

Пример 2 к 5.3**П.2.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642**

Способ прокладки	Год проекта	Наружный диаметр $d_{\text{н}}$, мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока $q_{\text{н}}$, Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{\text{норм}}^{(\text{возд})}$, кДж/ч	
		под.	обр.		под.	обр.			под.	обр.
Надземная <5000	С 1 июля 1995 до 2010	530		1000	89,6	70,4	1,15	1,0	370944,0	291456,0

П.2.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка надземная.

П.2.1.2 Проектный температурный график 110–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 71,8 °С. Продолжительность работы менее 5000 ч в год.

П.2.1.3 Норма плотности теплового потока:

– $q_{1\text{н}} = 89,6$ Вт/м для 71,8 °С по таблице В.4 Пособия;

– $q_{2\text{н}} = 70,4$ Вт/м для 50 °С по таблице В.4 ТКП 642.

П.2.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.2.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K при проектных температурах теплоносителя и грунта определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{1\text{норм}}^{(\text{возд})} = 3,6 \cdot 89,6 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 370944,0 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{2\text{норм}}^{(\text{возд})} = 3,6 \cdot 70,4 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 291456,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.2.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{возд})}$, кДж/ч		Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $t_{\text{в, ср. пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{возд})}$, ГДж	
		под.	обр.	под.	обр.		под.	обр.
Май	744	370944,0	291456,0	65	43	25	151,6	76,5

П.2.2.1 Средняя температура воздуха отопительного периода по ТКП 642 (таблица А.1) – минус 1,0 °С (г. Гомель).

П.2.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формулы (5.12), (5.13)):

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер}(\text{возд})} = 370944,0 \cdot \frac{65 - 25,0}{71,8 - (-1,0)} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 151,639 \text{ ГДж};$$
$$Q_{2\text{из}}^{\text{пер}(\text{возд})} = 291456,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{50,0 - (-1,0)} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 76,533 \text{ ГДж}.$$

П.2.3 Нештатный режим

Перевод прямого трубопровода для работы в режиме обратного трубопровода с температурой 43 °С.

Температура воздуха – в соответствии с П.2.2:

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер}(\text{возд})} = 370944,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{71,8 - (-1,0)} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 68,237 \text{ ГДж}.$$

Пример 3 к 5.3

П.3.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{\text{норм}}^{(\text{пом})}$, кДж/ч	
		под.	обр.		под.	обр.			под.	обр.
В помещении >5000	До 1990	530		1000	126,5	83,7	1,25	1,0	569250,0	376650,0

П.3.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка в помещении.

П.3.1.2 Проектный температурный график 150–70 °С по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 90 °С. Продолжительность работы более 5000 ч в год.

П.3.1.3 Норма плотности теплового потока:

– $q_{1н}$ = 126,5 Вт/м для 90 °С по таблице Г.1 Пособия;

– $q_{2н}$ = 83,7 Вт/м для 50 °С по таблице Г.1 ТКП 642.

П.3.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,25 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.3.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{1\text{норм}}^{(\text{пом})} = 3,6 \cdot 126,5 \cdot 1,25 \cdot 1000 \cdot 1 = 569250,0 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{2\text{норм}}^{(\text{пом})} = 3,6 \cdot 83,7 \cdot 1,25 \cdot 1000 \cdot 1 = 376650,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.3.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z^{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{пом})}$, кДж/ч		Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $t_{\text{в}}^{\text{ср.пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер(пом)}}$, ГДж	
		под.	обр.	под.	обр.		под.	обр.
Май	744	569250,0	376650,0	65	43	20	272,3	214,8

П.3.2.1 Расчетная температура окружающего воздуха по ТКП 642 (п. 5.3.1) – 20,0 °С.

П.3.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формулы (5.14), (5.15)):

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер(пом)}} = Q_{1\text{норм}}^{(\text{пом})} \cdot \frac{t_1^{\text{ср.пер}} - t_{\text{пом.р}}}{t_{1\text{р}} - t_{\text{пом.р}}} \cdot 10^{-6} \cdot Z^{\text{пер}} = 569250,0 \cdot \frac{65 - 20,0}{90 - 20,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 272,264 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{из}}^{\text{пер(пом)}} = Q_{2\text{норм}}^{(\text{пом})} \cdot \frac{t_2^{\text{ср.пер}} - t_{\text{пом.р}}}{t_{2\text{р}} - t_{\text{пом.р}}} \cdot 10^{-6} \cdot Z^{\text{пер}} = 376650,0 \cdot \frac{43 - 20,0}{50 - 20,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 214,841 \text{ ГДж}.$$

П.3.3 Нештатный режим

Перевод подающего трубопровода для работы в режиме обратного трубопровода с температурой 43 °С.

Температура воздуха в расчетный период – в соответствии с П.3.2:

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер(пом)}} = Q_{1\text{норм}}^{(\text{пом})} \cdot \frac{t_2^{\text{ср.пер}} - t_{\text{пом.р}}}{t_{1\text{р}} - t_{\text{пом.р}}} \cdot 10^{-6} \cdot Z^{\text{пер}} = 569250,0 \cdot \frac{43 - 20,0}{90 - 20,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 139,157 \text{ ГДж}.$$

Пример 4 к 5.3

П.4.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент K	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом K $Q_{\text{норм}}^{(\text{пом})}$, кДж/ч	
		под.	обр.		под.	обр.			под.	обр.
В тоннеле <5000	С 1 июля 1995 до 2010	530	530	1000	66,4	48,3	1,15	1,0	274896,0	199962,0

П.4.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка в тоннеле.

П.4.1.2 Проектный температурный график 110–70 °С – по ТКП 642 (таблица 5.1), расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе 71,8 °С. Продолжительность работы менее 5000 ч в год.

П.4.1.3 Норма плотности теплового потока:

– $q_{1н} = 66,4$ Вт/м для 71,8 °С по таблице Г.4 Пособия;

– $q_{2н} = 48,3$ Вт/м для 50 °С по таблице Г.4 ТКП 642.

П.4.1.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.4.1.5 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурах теплоносителя и грунта определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{1\text{норм}}^{(\text{пом})} = 3,6 \cdot 66,4 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 274896,0 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{2\text{норм}}^{(\text{пом})} = 3,6 \cdot 48,3 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 199962,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.4.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{пом})}$, кДж/ч		Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $t_{\text{в, ср. пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{пом})}$, ГДж	
		под.	обр.	под.	обр.		под.	обр.
Май	744	274896,0	199962,0	65	43	40	160,8	44,6

П.4.2.1 Расчетная температура окружающего воздуха по ТКП 642 (п. 5.3.1) – 40,0 °С.

П.4.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формулы (5.16), (5.17)):

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер}(\text{пом})} = 274896,0 \cdot \frac{65 - 40,0}{71,8 - 40,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 160,788 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{из}}^{\text{пер}(\text{пом})} = 199962,0 \cdot \frac{43 - 40,0}{50,0 - 20,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 44,632 \text{ ГДж}.$$

П.4.3 Нештатный режим

Перевод прямого трубопровода для работы в режиме обратного трубопровода с температурой 43 °С.

Температура воздуха – в соответствии с П.4.2:

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер}(\text{пом})} = 274896,0 \cdot \frac{43 - 40,0}{71,8 - 40,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 19,295 \text{ ГДж}.$$

5.3.2 Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-трубопроводами

Пример 5 к 5.3

П.5.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К $Q_{\text{норм}}^{(\text{возд})}$, кДж/ч	
		под.	обр.		под.	обр.			под.	обр.
Надземная ПИ по СТБ 2252	С1 июля 1995 до 2010	530		1000	60,3	31,9	1,15	1,0	249642,0	132066,0

П.5.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка надземная ПИ-трубами.

Расчетная температура теплоносителя в трубопроводе: в подающем – 90 °С, в обратном – 50 °С.

П.5.1.2 Норма плотности теплового потока по ТКП 642 (таблица В.7): для 90 °С $q_{1н} = 60,3$ Вт/м, для 50 °С $q_{2н} = 31,9$ Вт/м.

П.5.1.3 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.5.1.4 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{1норм}^{(возд)} = 3,6 \cdot 60,3 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 249642,0 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{2норм}^{(возд)} = 3,6 \cdot 31,9 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 132066,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.5.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период Z _{пер}	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь Q _{норм} ^(возд) , кДж/ч		Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период τ _{в.пер} ^{ср.пер} , °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период Q _{из} ^{пер(возд)} , ГДж	
		под.	обр.	под.	обр.		под.	обр.
Май	744	249642,0	132066,0	65	43	25	87,4	39,3

П.5.2.1 Расчетная температура воздуха по ТКП 642 (п. 5.3.3) – 5,0 °С.

П.5.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формулы (5.12), (5.13)):

$$Q_{1из}^{пер(возд)} = 249642,0 \cdot \frac{65 - 25,0}{90 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 87,404 \text{ ГДж};$$

$$Q_{1из}^{пер(возд)} = 132066,0 \cdot \frac{65 - 25,0}{50 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 87,340 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2из}^{пер(возд)} = 132066,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{50 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 39,303 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2из}^{пер(возд)} = 249642,0 \cdot \frac{43 - 25,0}{90 - 5,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 39,332 \text{ ГДж}.$$

Примечание – Пересчет расчетной плотности теплового потока на любой режим работы трубопровода в расчетный период может проводиться с любых расчетных условий (при 50 °С и 90 °С), т.к. они определены теплотехническим расчетом конкретной (заводской) теплоизоляционной конструкции трубопровода.

Пример 6 к 5.3

П.6.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Наружный диаметр d _н , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q _н , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К Q _{норм} ^(пом) , кДж/ч	
		под.	обр.		под.	обр.			под.	обр.
В помещении ПИ по СТБ 2252	С 1 июля 1995 до 2010	530		1000	53,9	23,1	1,15	1,0	223146,0	95634,0

П.6.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка в помещении ПИ-трубами. Расчетная температура теплоносителя в трубопроводе: в подающем – 90 °С, в обратном – 50 °С.

П.6.1.2 Норма плотности теплового потока по ТКП 642 (таблица Г.7):

– q_{1н} = 53,9 Вт/м для 90 °С;

– q_{2н} = 23,1 Вт/м для 50 °С.

П.6.1.3 Коэффициент местных тепловых потерь β = 1,15 по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.6.1.4 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$$Q_{1\text{норм}}^{(\text{ном})} = 3,6 \cdot 53,9 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 223146,0 \text{ кДж/ч};$$

$$Q_{2\text{норм}}^{(\text{ном})} = 3,6 \cdot 23,1 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 95634,0 \text{ кДж/ч}.$$

П.6.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{\text{пер}}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{\text{норм}}^{(\text{ном})}$, кДж/ч		Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $t_{\text{в, ср. пер}}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{\text{из}}^{\text{пер}(\text{ном})}$, ГДж	
		под.	обр.	под.	обр.		под.	обр.
Май	744	223146,0	95634,0	65	43	20	106,7	39,3

П.6.2.1 Расчетная температура воздуха по ТКП 642 (п. 5.3.3) – 20,0 °С.

П.6.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формулы (5.14), (5.15)):

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер}(\text{ном})} = 223146,0 \cdot \frac{65 - 20,0}{90 - 20,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 106,728 \text{ ГДж};$$

$$Q_{1\text{из}}^{\text{пер}(\text{ном})} = 95634,0 \cdot \frac{65 - 20,0}{50 - 20,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 106,728 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{из}}^{\text{пер}(\text{ном})} = 95634,0 \cdot \frac{43 - 20,0}{50 - 20,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 54,550 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{из}}^{\text{пер}(\text{ном})} = 223146,0 \cdot \frac{43 - 20,0}{90 - 20,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 54,550 \text{ ГДж}.$$

Пример 7 к 5.3

П.7.1 Заполнение таблицы К.2 ТКП 642

Способ прокладки	Год проекта	Наружный диаметр d_n , мм		Длина участка, м	Норма плотности теплового потока q_n , Вт/м		Коэффициент местных потерь β	Коэффициент К	Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К $Q_{\text{норм}}^{(\text{ном})}$, кДж/ч	
		под.	обр.		под.	обр.			под.	обр.
В тоннеле ПИ по СТБ 2252	С 1 июля 1995 до 2010	530	530	1000	38,5	7,7	1,15	1,0	159390,0	31878,0

П.7.1.1 Теплоизоляционный слой не указывается, т.к. прокладка в тоннеле ПИ-трубами. Расчетная температура теплоносителя в трубопроводе: в подающем – 90 °С, в обратном – 50 °С.

П.7.1.2 Норма плотности теплового потока по ТКП 642 (таблица Г.7):

– $q_{1н} = 38,5$ Вт/м для 90 °С;

– $q_{2н} = 7,7$ Вт/м для 50 °С.

П.7.1.3 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta = 1,15$ по ТКП 642 (таблица 5.2).

П.7.1.4 Нормируемые часовые значения тепловых потерь с коэффициентом К при проектных температурных условиях определяются по ТКП 642 (формула (5.5)):

$Q_{1норм}^{(ном)} = 3,6 \cdot 38,5 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 159390,0 \text{ кДж/ч};$
 $Q_{2норм}^{(ном)} = 3,6 \cdot 7,7 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 1 = 31878,0 \text{ кДж/ч}.$

П.7.2 Заполнение таблицы К.7 ТКП 642

Месяц	Число часов работы тепловой сети за расчетный период $Z_{пер}$	Суммарные нормируемые часовые значения тепловых потерь $Q_{норм}^{(ном)}$, кДж/ч		Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С		Средняя температура воздуха за расчетный период $\tau_{в, ср. пер}$, °С	Нормируемые тепловые потери через изоляцию за расчетный период $Q_{из}^{пер(ном)}$, ГДж	
		под.	обр.	под.	обр.		под.	обр.
Май	744	159390,0	31878,0	65	43	40	106,7	39,3

П.7.2.1 Расчетная температура воздуха по ТКП 642 (п. 5.3.3) – 40,0 °С.

П.7.2.2 Нормируемые тепловые потери через изоляцию тепловых сетей за расчетный период определяются по ТКП 642 (формулы (5.16), (5.17)):

$Q_{из}^{пер(ном)} = 159390,0 \cdot \frac{65 - 40,0}{90 - 40,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 59,293 \text{ ГДж};$
 $Q_{из}^{пер(ном)} = 31878,0 \cdot \frac{65 - 40,0}{50 - 40,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 59,293 \text{ ГДж};$
 $Q_{2из}^{пер(ном)} = 31878,0 \cdot \frac{43 - 40,0}{50 - 40,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 7,115 \text{ ГДж};$
 $Q_{2из}^{пер(ном)} = 159390,0 \cdot \frac{43 - 40,0}{90 - 40,0} \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 7,115 \text{ ГДж}.$

6 Расчет нормируемых тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции водяных тепловых сетей и сетей горячего водоснабжения при их совместной прокладке в непроходных каналах

По ТКП 642 (п. 6.1, перечисление а)) при прокладке в непроходном канале количества трубопроводов n в расчетных формулах учитываются соответствующие значения K , q_n , t .

6.1 Однотрубойный канал

6.1.1 Расчет по нормам плотности теплового потока

Пример 1 к 6.1

Расчет шести труб в канале: два трубопровода сетевой воды на ЦТП, два трубопровода на системы отопления потребителей ЦТП, два трубопровода сетей ГВС

П.1.1 Исходные данные. Заполнение таблицы К.8 ТКП 642

Водяная т/с на ЦТП	Сети отопления с ЦТП	Сети ГВС		Длина участка, м	Расстояние от поверхности грунта до перекрытия канала H_k , м	Коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_{гр}$, Вт/м·°С	Коэффициент испытаний на тепловые потери К
Работа трубопроводов в год, ч, год проекта							
>5000	<5000	>5000					
До 1990	С 1990 до 1 июля 1995	С 1990 до 1 июля 1995					
Наружный диаметр трубопроводов, мм							
325	219	159	108	1000	1,6	1,8	1,0

Продолжение таблицы

Тип канала	Характеристика канала, м		
	высота h	ширина b	толщина перекрытия $\delta_{\text{пер}}$
КЛп210-90, КЛп180-90	0,9	3,9	0,15

П.1.1.1 Принимаем два типа канала: КЛп210-90 и КЛп180-90 ($h = 0,9$ м, $b = 3,9$ м, $\delta_{\text{пер}} = 0,15$ м).

$$h = (\Delta_{\text{пер}} + \Delta_{\text{дно}} + d_{\text{н}}^{\text{макс}} + 2\delta_{\text{из}}^{\text{макс}}) \cdot 10^{-3} = (70 + 150 + 325 + 2 \cdot 60) \cdot 10^{-3} = 0,665 \text{ м};$$
$$b = (2\delta_{\text{ст}} + (d_{\text{н1}} + 2\delta_{\text{из1}} + \Delta_{\text{тр1}}) + \dots (d_{\text{н(n-1)}} + 2\delta_{\text{из(n-1)}} + \Delta_{\text{тр(n-1)}}) + \dots (d_{\text{нn}} + 2\delta_{\text{изn}} + \Delta_{\text{трn}})) \cdot 10^{-3} =$$
$$= (2 \cdot 250 + 2 \cdot (325 + 2 \cdot 60 + 160) + 2 \cdot (219 + 2 \cdot 60 + 140) + (159 + 2 \cdot 60 + 140) + (108 + 2 \cdot 50)) \cdot 10^{-3} = 3,295 \text{ м},$$

где $\Delta_{\text{пер}}$ – расстояние в свету от поверхности теплоизоляционной конструкции трубопроводов до перекрытия канала, мм;

$\Delta_{\text{дно}}$ – расстояние в свету от поверхности теплоизоляционной конструкции трубопроводов до дна канала, мм;

$\Delta_{\text{тр}}$ – расстояние в свету от поверхности теплоизоляционной конструкции трубопроводов до поверхности теплоизоляционной конструкции смежного трубопровода, мм;

$d_{\text{н}}^{\text{макс}}$ – максимальный наружный диаметр n-го трубопровода в канале, мм;

$d_{\text{н1}}, d_{\text{н(n-1)}}, d_{\text{нn}}$ – наружный диаметр первого, n–1 и n-го трубопровода в канале, мм;

$\delta_{\text{из}}^{\text{макс}}$ – толщина тепловой изоляции трубопровода с максимальным наружным диаметром, мм.

П.1.2 Расчет нормируемых термических сопротивлений. Заполнение таблицы К.9 ТКП 642

Расчетное заглубление канала Н, м	Термическое сопротивление грунта R ^к _{гр} , м°С/Вт	Термическое сопротивление теплоотдаче от воз- духа канала к его стенкам R ^к _{в,к} , м°С/Вт	Термическое сопротивление канала и грунта R ^к _{канг} , м°С/Вт	Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Нормируемая температу- ра воздуха в канале τ ^{ср} _{н(кан)} , °С
				Расчетная температура теплоносителя, °С						
				t _{1р}	t _{2р}	t _{1р.от}	t _{2р.от}	t _{3р}	t _{4р}	
				90	50	65	50	60	50	
				Норма плотности теплового потока, Вт/м						
				q ^{подз} _{1н}	q ^{подз} _{2н}	q ^{подз} _{1н.от}	q ^{подз} _{2н.от}	q ^{подз} _{3н}	q ^{подз} _{4н}	
2,200	0,125706	0,019796	0,145502	116,3	79,1	48,0	31,0	28,7	19,0	40,146

Продолжение таблицы

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС	
Нормируемое термическое сопротивление, м.°C/Вт					
R _{1норм}	R _{2норм}	R _{1норм.от}	R _{2норм.от}	R _{3норм}	R _{4норм}
0,428667	0,428667	0,517792	0,517792	0,691777	0,518632

П.1.2.1 Расчетное заглубление канала от поверхности грунта до оси канала Н вычисляют по ТКП 642 (формула (6.2)):

$$H = H_{\text{к}} + \delta_{\text{пер}} + \frac{h}{2} = 1,6 + 0,150 + \frac{0,9}{2} = 2,200 \text{ м}.$$

П.1.2.2 Приведенное заглубление канала не определяется, т.к. $H_{\text{к}} > 0,7$ м.

П.1.2.3 Термическое сопротивление грунта $R_{\text{гр}}^{\text{к}}$ вычисляют по ТКП 642 (формула (6.1)):

$$R_{гр}^k = \ln \left[3,5 \cdot \frac{H}{h} \cdot \left(\frac{h}{b} \right)^{0,25} \right] / \left(\left(5,7 + 0,5 \cdot \frac{b}{h} \right) \cdot \lambda_{гр} \right) = \ln \left[3,5 \cdot \frac{2,2}{0,9} \cdot \left(\frac{0,9}{3,9} \right)^{0,25} \right] / \left(\left(5,7 + 0,5 \cdot \frac{3,9}{0,9} \right) \cdot 1,8 \right) = 0,125706 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

П.1.2.4 Термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха канала к его стенкам $R_{в,к}$ вычисляют по ТКП 642 (формула (6.4)):

$$R_{в,к} = 1 / \left(\pi \alpha_{в,к} \cdot \frac{2bh}{b+h} \right) = 1 / \left(3,14 \cdot 11 \cdot \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 3,9}{0,9 + 3,9} \right) = 0,019796 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

П.1.2.5 Общее термическое сопротивление канала и грунта $R_{кан}$ вычисляют по формуле

$$R_{кан} = R_{гр}^k + R_{в,к} = 0,125706 + 0,019796 = 0,145502 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

П.1.2.6 Нормы плотности теплового потока:

а) для трубопроводов сетевой воды на ЦТП с проектным температурным графиком 150–70 °С – $t_{1р} = 90$ °С, $t_{2р} = 50$ °С. По таблице Б.2 ТКП 642:

$$q_{1н}^{подз} = 116,3 \text{ Вт/м}, q_{1н}^{подз} = 195,4 \text{ Вт/м}, q_{2н}^{подз} = q_{1н}^{подз} - q_{1н}^{подз} = 195,4 - 116,3 = 79,1 \text{ Вт/м};$$

б) для трубопроводов системы отопления с ЦТП с проектным температурным графиком 95–70 °С – $t_{1р.от} = 65$ °С, $t_{2р.от} = 50$ °С. По таблице Б.4 ТКП 642 с учетом $K = 0,7$ для проекта, выполненного с 1990 года до 1 июля 1995 года:

$$q_{1н.от}^{подз} = 33,6 / 0,7 = 48,0 \text{ Вт/м}, q_{2н.от}^{подз} = 21,7 / 0,7 = 31,0 \text{ Вт/м};$$

в) для трубопроводов сетей ГВС (проект с 1990 года до 1 июля 1995 года):
– подающий трубопровод 159 мм с $t_{3р} = 60$ °С. По таблице Б.3 Пособия:

$$q_{3н}^{подз} = 20,1 / 0,7 = 28,7 \text{ Вт/м};$$

– обратный трубопровод 108 мм с $t_{4р} = 50$ °С. По таблице Б.3 ТКП 642:

$$q_{4н}^{подз} = 13,3 / 0,7 = 19,0 \text{ Вт/м}.$$

П.1.2.7 Нормируемую температуру воздуха в канале $\tau_{н(кан)}^{ср.г}$ при проектных температурных условиях вычисляют по ТКП 642 (формула (6.6)). При $K = 1$ принимается $q_{2н}^{подз} = 0$ и $q_{2н.от}^{подз} = 0$. При $H_k > 0,7$ м температура грунта $\tau_{гр.р}^{ср.г} = 9,3$ °С (г. Гомель).

$$\tau_{н(кан)}^{ср.г} = \tau_{гр.р}^{ср.г} + (K_1 \cdot q_{1н}^{подз} + K_2 \cdot q_{2н}^{подз} + K_{1от} \cdot q_{1н.от}^{подз} + K_{2от} \cdot q_{2н.от}^{подз} + K_3 \cdot q_{3н}^{подз} + K_4 \cdot q_{4н}^{подз}) \cdot R_{кан} = 9,3 + (116,3 + 0 + 48,0 + 0 + 28,7 + 19,0) \cdot 0,145502 = 40,146 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

П.1.2.8 Нормируемые термические сопротивления теплопередаче от трубопровода к воздуху канала $R_{iнорм}$ вычисляют по ТКП 642 (формулы (6.7)–(6.10)):

1) подающий и обратный трубопроводы сетевой воды на ЦТП – при $K = 1$ $R_{2норм} = R_{1норм}$:

$$R_{1(2)норм} = \frac{t_{1р} - \tau_{н(кан)}^{ср.г}}{K_1 \cdot q_{1н}^{подз}} = \frac{90 - 40,146}{1 \cdot 116,3} = 0,428667 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

2) подающий и обратный трубопроводы сетевой воды с ЦТП – при $K = 1$ $R_{2норм.от} = R_{1норм.от}$:

$$R_{1(2)норм.от} = \frac{t_{1р.от} - \tau_{н(кан)}^{ср.г}}{K_1 \cdot q_{1н.от}^{подз}} = \frac{65 - 40,146}{1 \cdot 48,0} = 0,517792 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

3) подающий трубопровод сетей ГВС:

$$R_{3\text{норм}} = \frac{60 - \tau_{\text{н(кан)}}^{\text{ср.г}}}{K_3 \cdot q_{3\text{н}}^{\text{подз}}} = \frac{60 - 40,146}{1 \cdot 28,7} = 0,691777 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

4) циркуляционный трубопровод сетей ГВС:

$$R_{4\text{норм}} = \frac{50 - \tau_{\text{н(кан)}}^{\text{ср.г}}}{K_4 \cdot q_{4\text{н}}^{\text{подз}}} = \frac{50 - 40,146}{1 \cdot 19,0} = 0,518632 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

П.1.3 Заполнение таблицы К.10 ТКП 642 (отопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °С (Н > 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °С	Число часов работы теплосети
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С								
т ₁ ^{ср.пер}	т ₂ ^{ср.пер}	т _{1от} ^{ср.пер}	т _{2от} ^{ср.пер}	т ₃ ^{ср.пер}	т ₄ ^{ср.пер}	τ _{гр} ^{ср.пер}	τ _{кан} ^{пер}	Z ^{пер}
90	50	65	50	60	50	9,3	42,384	744
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{1н} ^{подз}	q _{2н} ^{подз}	q _{1н.от} ^{подз}	q _{2н.от} ^{подз}	q _{3н} ^{подз}	q _{4н} ^{подз}			
111,079	17,767	43,678	14,709	25,465	14,685			
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,2	1,2	1,15	1,15	1,15	1,2			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{1норм} ^{пер}	Q _{2норм} ^{пер}	Q _{1норм.от} ^{пер}	Q _{2норм.от} ^{пер}	Q _{3норм} ^{пер}	Q _{4норм} ^{пер}			
357,017	57,105	134,535	45,306	78,436	47,199			

П.1.3.1 Среднюю температуру воздуха в канале для отопительного периода вычисляют по формуле

$$\tau_{\text{кан}}^{\text{пер}} = \frac{\frac{t_1^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм}}} + \frac{t_2^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм}}} + \frac{t_{1\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм.от}}} + \frac{t_{2\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм.от}}} + \frac{t_3^{\text{ср.пер}}}{R_{3\text{норм}}} + \frac{t_4^{\text{ср.пер}}}{R_{4\text{норм}}} + \frac{\tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}}}{R_{\text{кан}}}}{\frac{1}{R_{1\text{норм}}} + \frac{1}{R_{2\text{норм}}} + \frac{1}{R_{1\text{норм.от}}} + \frac{1}{R_{2\text{норм.от}}} + \frac{1}{R_{3\text{норм}}} + \frac{1}{R_{4\text{норм}}} + \frac{1}{R_{\text{кан}}}} =$$
$$= \frac{\frac{90}{0,428667} + \frac{50}{0,428667} + \frac{65}{0,517792} + \frac{50}{0,517792} + \frac{60}{0,691777} + \frac{50}{0,518632} + \frac{9,3}{0,145502}}{\frac{1}{0,428667} + \frac{1}{0,428667} + \frac{1}{0,517792} + \frac{1}{0,517792} + \frac{1}{0,691777} + \frac{1}{0,518632} + \frac{1}{0,145502}} = 42,384 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

П.1.3.2 Нормируемую плотность теплового потока за расчетный период для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.13)):

$$q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{t_1^{\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{1\text{норм}}} = \frac{90 - 42,384}{0,428667} = 111,079 \text{ Вт / м}; \quad q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{t_2^{\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{2\text{норм}}} = \frac{50 - 42,384}{0,428667} = 17,767 \text{ Вт/м};$$
$$q_{1\text{норм.от}}^{\text{пер}} = \frac{t_{1\text{от}}^{\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{1\text{норм.от}}} = \frac{65 - 42,384}{0,517792} = 43,678 \text{ Вт / м}; \quad q_{2\text{норм.от}}^{\text{пер}} = \frac{t_{2\text{от}}^{\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{2\text{норм.от}}} = \frac{50 - 42,384}{0,517792} = 14,709 \text{ Вт/м};$$
$$q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{t_3^{\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{3\text{норм}}} = \frac{60 - 42,384}{0,691777} = 25,465 \text{ Вт / м}; \quad q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{t_4^{\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{4\text{норм}}} = \frac{50 - 42,384}{0,518632} = 14,685 \text{ Вт/м}.$$

Примечание – Отношения нормируемых значений плотности теплового потока при проектных температурах теплоносителя и грунта к нормативным значениям составляют:

$$K_1 = q_{1норм}^{пер} / q_{1н}^{подз} = 111,079 / 116,3 = 0,955; \quad K_2 = q_{2норм}^{пер} / q_{2н}^{подз} = 17,767 / 79,1 = 0,225;$$
$$K_{1от} = q_{1норм.от}^{пер} / q_{1н.от}^{подз} = 43,678 / 48,0 = 0,910; \quad K_{2от} = q_{2норм.от}^{пер} / q_{2н.от}^{подз} = 14,709 / 31,0 = 0,474;$$
$$K_3 = q_{3норм}^{пер} / q_{3н}^{подз} = 25,465 / 28,7 = 0,887; \quad K_4 = q_{4норм}^{пер} / q_{4н}^{подз} = 14,685 / 19,0 = 0,773.$$

П.1.3.3 Коэффициент местных тепловых потерь:

$$\beta_1 = \beta_2 = 1,2; \beta_{1от} = \beta_{2от} = 1,15; \beta_3 = 1,15 \text{ (Dy 150 и более)}; \beta_4 = 1,2 \text{ (Dy до 150)}.$$

П.1.3.4 Нормируемые тепловые потери на участке, для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$Q_{1норм}^{пер} = 3,6 \cdot 111,079 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 357,017 \text{ ГДж};$$
$$Q_{2норм}^{пер} = 3,6 \cdot 17,767 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 57,105 \text{ ГДж};$$
$$Q_{1норм.от}^{пер} = 3,6 \cdot 43,678 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 134,535 \text{ ГДж};$$
$$Q_{2норм.от}^{пер} = 3,6 \cdot 14,709 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 45,306 \text{ ГДж};$$
$$Q_{3норм}^{пер} = 3,6 \cdot 25,465 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 78,436 \text{ ГДж};$$
$$Q_{4норм}^{пер} = 3,6 \cdot 14,685 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 47,199 \text{ ГДж}.$$

П.1.4 Заполнение таблицы К.10 ТКП 642 (межотопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °С (Н > 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °С	Число часов работы теплосети
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С								
т ₁ ^{ср.пер}	т ₂ ^{ср.пер}	т _{1от} ^{ср.пер}	т _{2от} ^{ср.пер}	т ₃ ^{ср.пер}	т ₄ ^{ср.пер}	τ _{гр} ^{ср.пер}	τ _{кан} ^{пер}	Z ^{пер}
90	50	—	—	60	50	9,3	38,469	744
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{1н} ^{подз}	q _{2н} ^{подз}	q _{1н.от} ^{подз}	q _{2н.от} ^{подз}	q _{3н} ^{подз}	q _{4н} ^{подз}			
120,212	26,900	—	—	31,124	22,233			
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,2	1,2	1,15	1,15	1,15	1,2			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{1норм} ^{пер}	Q _{2норм} ^{пер}	Q _{1норм.от} ^{пер}	Q _{2норм.от} ^{пер}	Q _{3норм} ^{пер}	Q _{4норм} ^{пер}			
386,371	86,459	—	—	95,867	71,459			

П.1.4.1 Среднюю температуру воздуха в канале вычисляют по формуле:

$$\tau_{кан}^{пер} = \frac{\frac{t_{1}^{ср.пер}}{R_{1норм}} + \frac{t_{2}^{ср.пер}}{R_{2норм}} + \frac{t_{3}^{ср.пер}}{R_{3норм}} + \frac{t_{4}^{ср.пер}}{R_{4норм}} + \frac{\tau_{гр}^{ср.пер}}{R_{кан}}}{\frac{1}{R_{1норм}} + \frac{1}{R_{2норм}} + \frac{1}{R_{3норм}} + \frac{1}{R_{4норм}} + \frac{1}{R_{кан}}} = \frac{\frac{90}{0,428667} + \frac{50}{0,428667} + \frac{60}{0,691777} + \frac{50}{0,518632} + \frac{9,3}{0,145502}}{\frac{1}{0,428667} + \frac{1}{0,428667} + \frac{1}{0,691777} + \frac{1}{0,518632} + \frac{1}{0,145502}} = 38,469 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

П.1.4.2 Нормируемую плотность теплового потока за расчетный период для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.13)):

$$q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{t_{1\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{1\text{норм}}} = \frac{90 - 38,469}{0,428667} = 120,212 \text{ Вт/м;}$$
$$q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{t_{2\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{2\text{норм}}} = \frac{50 - 38,469}{0,428667} = 26,900 \text{ Вт/м;}$$

$$q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{t_{3\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{3\text{норм}}} = \frac{60 - 38,469}{0,691777} = 31,124 \text{ Вт/м;}$$
$$q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{t_{4\text{ср.пер}} - \tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}}{R_{4\text{норм}}} = \frac{50 - 38,469}{0,518632} = 22,233 \text{ Вт/м.}$$

П.1.4.3 Нормируемые тепловые потери на участке, для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$Q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 120,212 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 386,371 \text{ ГДж;}$$
$$Q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 26,900 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 86,459 \text{ ГДж;}$$

$$Q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 31,124 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 95,867 \text{ ГДж;}$$
$$Q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 22,233 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 71,459 \text{ ГДж.}$$

Пример 1а к 6.1

Расчет шести труб в канале: два трубопровода сетевой воды на ЦТП, два трубопровода на системы отопления потребителей ЦТП, два трубопровода сетей ГВС

П.1а.1 Исходные данные. Заполнение таблицы К.8 ТКП 642

Водяная т/с на ЦТП	Сети отопления с ЦТП	Сети ГВС		Длина участка, м	Расстояние от поверхности грунта до перекрытия канала Н _к , м	Коэффициент теплопроводности грунта λ _{гр} , Вт/м·°С	Коэффициент испытаний на тепловые потери К
Работа трубопроводов в год, ч, год проекта							
>5000	<5000	>5000					
До 1990	С 1990 до 1 июля 1995	С 1990 до 1 июля 1995					
Наружный диаметр трубопроводов, мм							
325	219	159	108	1000	0,6	1,8	1,0

Продолжение таблицы

Тип канала	Характеристика канала, м		
	высота h	ширина b	толщина перекрытия δ _{пер}
КЛп210-90, КЛп180-90	0,9	3,9	0,15

П.1а.2 Расчет нормируемых термических сопротивлений. Заполнение таблицы К.9 ТКП 642

Расчетное заглубление канала Н, м	Приведенное заглубление канала Н _{прив} , м	Термическое сопротивление грунта R _{гр} ^к , м°С/Вт	Термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха канала к его стенкам R _{в,к} ^к , м°С/Вт	Термическое сопротивление канала и грунта R _{кан} ^к , м°С/Вт	Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Нормируемая температура воздуха в канале τ _{н(кан)} ^{ср,г} , °С
					Норма плотности теплового потока, Вт/м						
					q _{1н.подз}	q _{2н.подз}	q _{1н.от}	q _{2н.от}	q _{3н}	q _{4н}	
1,200	1,306	0,088878	0,019796	0,108674	116,3	79,1	48,0	31,0	28,7	19,0	29,339

Продолжение таблицы

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС	
Нормируемое термическое сопротивление, м·°C/Вт					
R _{1норм}	R _{2норм}	R _{1норм.от}	R _{2норм.от}	R _{3норм}	R _{4норм}
0,521591	0,521591	0,742938	0,742938	1,068328	1,087421

П.1а.2.1 Расчетное заглубление канала от поверхности грунта до оси канала Н вычисляют по ТКП 642 (формула (6.2)):

$$H = 0,6 + 0,150 + \frac{0,9}{2} = 1,200 \text{ м.}$$

П.1а.2.2 Приведенное заглубление канала – по ТКП 642 (формула (6.2)), т.к. $H_k < 0,7$ м.

$$H_{\text{прив}} = H + \frac{\lambda_{\text{гр}}}{\alpha_{\text{пов}}} = 1,2 + \frac{1,8}{17} = 1,306 \text{ м.}$$

П.1а.2.3 Термическое сопротивление грунта вычисляют по ТКП 642 (формула (6.1)):

$$R_{\text{гр}}^k = \ln \left[3,5 \cdot \frac{H_{\text{прив}}}{h} \cdot \left(\frac{h}{b} \right)^{0,25} \right] / \left(\left(5,7 + 0,5 \cdot \frac{b}{h} \right) \cdot \lambda_{\text{гр}} \right) = \ln \left[3,5 \cdot \frac{1,306}{0,9} \cdot \left(\frac{0,9}{3,9} \right)^{0,25} \right] / \left(\left(5,7 + 0,5 \cdot \frac{3,9}{0,9} \right) \cdot 1,8 \right) = 0,088878 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт.}$$

П.1а.2.4 Термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха канала к его стенкам вычисляют по ТКП 642 (формула (6.4)):

$$R_{\text{в.к}} = 1 / \left(3,14 \cdot 11 \cdot \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 3,9}{0,9 + 3,9} \right) = 0,019796 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт.}$$

П.1а.2.5 Общее термическое сопротивление канала и грунта вычисляют по формуле

$$R_{\text{кан}} = 0,088878 + 0,019796 = 0,108674 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт.}$$

П.1а.2.6 Нормы плотности теплового потока такие же, как и в примере 1 к 6.1, т.к. нормы плотности теплового потока для подземной прокладки не зависят от глубины залегания трубопроводов.

П.1а.2.7 Нормируемую температуру воздуха в канале $\tau_{\text{н(кан)}}^{\text{ср.г}}$ при проектных температурных условиях вычисляют по ТКП 642 (формула (6.6)). При $K = 1$ принимается $q_{2\text{н}}^{\text{подз}} = 0$ и $q_{2\text{н.от}}^{\text{подз}} = 0$. При $H_k < 0,7$ м и $q_{1\text{н}}^{\text{подз}} + q_{1\text{н.от}}^{\text{подз}} > q_{3\text{н}}^{\text{подз}} + q_{4\text{н}}^{\text{подз}}$ принимается среднегодовая температура воздуха $\tau_{\text{нв}}^{\text{ср.г}} = 6,3$ °C (г. Гомель).

$$\tau_{\text{н(кан)}}^{\text{ср.г}} = 6,3 + (116,3 + 0 + 48,0 + 0 + 28,7 + 19,0) \cdot 0,108674 = 29,339 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

П.1а.2.8 Нормируемые термические сопротивления теплопередаче от трубопровода к воздуху:

1) подающий и обратный трубопроводы сетевой воды на ЦТП – при $K = 1$ $R_{2\text{норм}} = R_{1\text{норм}}$:

$$R_{1(2)\text{норм}} = \frac{90 - 29,339}{1 \cdot 116,3} = 0,521591 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

2) подающий и обратный трубопроводы сетевой воды с ЦТП – при $K = 1$ $R_{2\text{норм.от}} = R_{1\text{норм.от}}$:

$$R_{1(2)\text{норм.от}} = \frac{65 - 29,339}{1 \cdot 48,0} = 0,742938 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

3) подающий трубопровод сетей ГВС:

$$R_{3\text{норм}} = \frac{60 - 29,339}{1 \cdot 28,7} = 1,068328 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

4) циркуляционный трубопровод сетей ГВС:

$$R_{4\text{норм}} = \frac{50 - 29,339}{1 \cdot 19,0} = 1,087421 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

П.1а.3 Заполнение таблицы К.10 ТКП 642 (отопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °С (Н < 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °С	Число часов работы теплосети
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С								
t ₁ ^{ср.пер}	t ₂ ^{ср.пер}	t _{1от} ^{ср.пер}	t _{2от} ^{ср.пер}	t ₃ ^{ср.пер}	t ₄ ^{ср.пер}	τ _{гр} ^{ср.пер}	τ _{кан} ^{пер}	Z ^{пер}
90	50	65	50	60	50	−1,0	29,353	744
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{1н} ^{подз}	q _{2н} ^{подз}	q _{1н.от} ^{подз}	q _{2н.от} ^{подз}	q _{3н} ^{подз}	q _{4н} ^{подз}			
116,273	39,585	47,981	27,791	28,687	18,987			
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,2	1,2	1,15	1,15	1,15	1,2			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{1норм} ^{пер}	Q _{2норм} ^{пер}	Q _{1норм.от} ^{пер}	Q _{2норм.от} ^{пер}	Q _{3норм} ^{пер}	Q _{4норм} ^{пер}			
373,711	127,229	147,789	85,601	88,361	61,026			

П.1а.3.1 Средняя температура воздуха в канале для отопительного периода:

$$t_{\text{кан}}^{\text{пер}} = \frac{\frac{90}{0,521591} + \frac{50}{0,521591} + \frac{65}{0,742938} + \frac{50}{0,742938} + \frac{60}{1,068328} + \frac{50}{1,087421} + \frac{-1,0}{0,108674}}{\frac{1}{0,521591} + \frac{1}{0,521591} + \frac{1}{0,742938} + \frac{1}{0,742938} + \frac{1}{1,068328} + \frac{1}{1,087421} + \frac{1}{0,108674}} = 29,353 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

П.1а.3.2 Нормы плотности теплового потока за расчетный период:

$$\begin{aligned} q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} &= \frac{90 - 29,353}{0,521591} = 116,273 \text{ Вт/м}; & q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} &= \frac{50 - 29,353}{0,521591} = 39,585 \text{ Вт/м}; \\ q_{1\text{норм.от}}^{\text{пер}} &= \frac{65 - 29,353}{0,742938} = 47,981 \text{ Вт/м}; & q_{2\text{норм.от}}^{\text{пер}} &= \frac{50 - 29,353}{0,742938} = 27,791 \text{ Вт/м}; \\ q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} &= \frac{60 - 29,353}{1,068328} = 28,687 \text{ Вт/м}; & q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} &= \frac{50 - 29,353}{1,087421} = 18,987 \text{ Вт/м}. \end{aligned}$$

Примечание – Отношения нормируемых значений плотности теплового потока при проектных температурах теплоносителя и грунта к нормативным значениям составляют:

$$K_{1\text{от}} = q_{1\text{норм.от}}^{\text{пер}} / q_{1\text{н.от}}^{\text{подз}} = 47,981/48,0 = 1,0; \quad K_{2\text{от}} = q_{2\text{норм.от}}^{\text{пер}} / q_{2\text{н.от}}^{\text{подз}} = 27,791/31,0 = 0,896.$$

П.1а.3.3 Нормируемые тепловые потери на участке для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$Q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 116,273 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 373,711 \text{ ГДж};$$
$$Q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 39,585 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 127,229 \text{ ГДж};$$
$$Q_{1\text{норм.от}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 47,981 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 147,789 \text{ ГДж};$$
$$Q_{2\text{норм.от}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 27,791 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 85,601 \text{ ГДж};$$
$$Q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 28,687 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 88,361 \text{ ГДж};$$
$$Q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 18,987 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 61,026 \text{ ГДж}.$$

П.1а.4 Заполнение таблицы К.10 ТКП 642 (межотопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °С (Н < 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °С	Число часов работы теплосети
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С								
t ₁ ^{ср.пер}	t ₂ ^{ср.пер}	t _{1от} ^{ср.пер}	t _{2от} ^{ср.пер}	t ₃ ^{ср.пер}	t ₄ ^{ср.пер}	τ _{гр} ^{ср.пер}	τ _{кан} ^{пер}	Z ^{пер}
90	50	—	—	60	50	6,3	28,766	744
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{1н} ^{подз}	q _{2н} ^{подз}	q _{1н.от} ^{подз}	q _{2н.от} ^{подз}	q _{3н} ^{подз}	q _{4н} ^{подз}			
117,379	40,691	—	—	29,227	19,518			
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,2	1,2	1,15	1,15	1,15	1,2			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{1норм} ^{пер}	Q _{2норм} ^{пер}	Q _{1норм.от} ^{пер}	Q _{2норм.от} ^{пер}	Q _{3норм} ^{пер}	Q _{4норм} ^{пер}			
377,265	130,784	—	—	90,024	62,732			

П.1а.4.1 Среднюю температуру воздуха в канале вычисляют по формуле

$$t_{\text{кан}}^{\text{пер}} = \frac{\frac{90}{0,521591} + \frac{50}{0,521591} + \frac{60}{1,068328} + \frac{50}{1,087421} + \frac{6,3}{0,108674}}{\frac{1}{0,521591} + \frac{1}{0,521591} + \frac{1}{1,068328} + \frac{1}{1,087421} + \frac{1}{0,108674}} = 28,776 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

П.1а.4.2 Нормируемую плотность теплового потока за расчетный период для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.13)):

$$q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{90 - 28,776}{0,521591} = 117,379 \text{ Вт/м}; \quad q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 28,776}{0,521591} = 40,691 \text{ Вт/м};$$
$$q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{60 - 28,776}{1,068328} = 29,227 \text{ Вт/м}; \quad q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 28,776}{1,087421} = 19,518 \text{ Вт/м}.$$

П.1а.4.3 Нормируемые тепловые потери на участке, для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$\begin{aligned} Q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 117,379 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 377,265 \text{ ГДж}; \\ Q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 40,691 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 130,784 \text{ ГДж}; \\ Q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 29,227 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 90,024 \text{ ГДж}; \\ Q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 19,518 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 62,732 \text{ ГДж}. \end{aligned}$$

6.1.2 Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводами

Пример 2 к 6.1

Расчет шести труб в канале: два трубопровода сетевой воды на ЦТП, два трубопровода на системы отопления потребителей ЦТП, два трубопровода сетей ГВС

П.2.1 Исходные данные. Заполнение таблицы К.8 ТКП 642

Водяная т/с на ЦТП	Сети отопления с ЦТП	Сети ГВС		Длина участка, м	Расстояние от поверхности грунта до перекрытия канала H_k , м	Коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_{гр}$, Вт/м·°C	Коэффициент испытаний на тепловые потери К
Год проекта							
С 2010	С 2010	С 2010					
Наружный диаметр трубопроводов, мм							
ПИ-трубы (таблица Б.13 Пособия)		ГПИ-трубы (таблица Б.15 Пособия)					
325/450	219/315	180/250	125/200	1000	1,6	1,8	1,0

Продолжение таблицы

Тип канала	Характеристика канала, м		
	высота h	ширина b	толщина перекрытия $\delta^{\text{пер}}$
КЛп210-90, КЛп180-90	0,9	3,9	0,15

П.2.1.1 Принимаем два типа канала: КЛп210-90 и КЛп180-90 ($h = 0,9$ м, $b = 3,9$ м, $\delta^{\text{пер}} = 0,15$ м).

$$\begin{aligned} h &= (70 + 150 + 450) \cdot 10^{-3} = 0,670 \text{ м}; \\ b &= (2 \cdot 250 + 2 \cdot (450 + 250) + 2 \cdot (315 + 250) + (250 + 250) + (200)) \cdot 10^{-3} = 3,730 \text{ м}. \end{aligned}$$

П.2.2 Заполнение таблицы К.9 ТКП 642

Расчетное заглубление канала Н, м	Термическое сопротив- ление грунта R _{гр} , м·°C/ Вт	Термическое сопро- тивление теплоотдаче от воздуха канала к его стенкам R _{в,к} , м·°C/Вт	Термическое сопротив- ление канала и грунта, R _{канг} , м·°C/Вт	Водяная т/с на ЦТП	Сети ото- пления с ЦТП	Сети ГВС		Нормируемая темпера- тура воздуха в канале τ _{н(кан)г} , °C
				Нормируемое термическое сопротивление, м·°C/Вт				
				R _{1норм} = = R _{2норм}	R _{1норм.от} = = R _{2норм.от}	R _{3норм}	R _{4норм}	
2,200	0,125706	0,019796	0,145502	1,50560	1,69297	1,66751	2,34952	29,339

П.2.2.1 Расчетное заглубление канала от поверхности грунта до оси канала H вычисляют по ТКП 642 (формула (6.2)):

$$H = 1,6 + 0,150 + \frac{0,9}{2} = 2,200 \text{ м}.$$

П.2.2.2 Приведенное заглубление канала не определяется, т.к. $H_k > 0,7$ м.

П.2.2.3 Термическое сопротивление грунта $R_{гр}^k$ вычисляют по ТКП 642 (формула (6.1)):

$$R_{гр}^k = \ln \left[3,5 \cdot \frac{2,2}{0,9} \cdot \left(\frac{0,9}{3,9} \right)^{0,25} \right] / \left(\left(5,7 + 0,5 \cdot \frac{3,9}{0,9} \right) \cdot 1,8 \right) = 0,125706 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}.$$

П.2.2.4 Термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха канала к его стенкам вычисляют по ТКП 642 (формула (6.4)):

$$R_{в,к} = 1 / \left(3,14 \cdot 11 \cdot \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 3,9}{0,9 + 3,9} \right) = 0,019796 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}.$$

П.2.2.5 Общее термическое сопротивление канала и грунта вычисляют по формуле

$$R_{кан} = 0,125706 + 0,019796 = 0,145502 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}.$$

П.2.2.6 Нормируемые термические сопротивления теплопередаче от трубопровода к воздуху канала принимаются в соответствии со значениями, приведенными в ТКП 642 (таблицы Б.15 и Б.17), при $K = 1$.

П.2.3 Заполнение таблицы К.10 ТКП 642 (отопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °C (H > 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °C	Число часов работы теплосети
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °C								
t ₁ ^{ср.пер}	t ₂ ^{ср.пер}	t _{1от} ^{ср.пер}	t _{2от} ^{ср.пер}	t ₃ ^{ср.пер}	t ₄ ^{ср.пер}	τ _{гр} ^{ср.пер}	τ _{кан} ^{пер}	Z ^{пер}
90	50	65	50	60	50	9,3	27,104	744
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{1н} ^{подз}	q _{2н} ^{подз}	q _{1н.от} ^{подз}	q _{2н.от} ^{подз}	q _{3н} ^{подз}	q _{4н} ^{подз}			
41,775	15,207	22,384	13,524	19,728	9,745			
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{1норм} ^{пер}	Q _{2норм} ^{пер}	Q _{1норм.от} ^{пер}	Q _{2норм.от} ^{пер}	Q _{3норм} ^{пер}	Q _{4норм} ^{пер}			
111,890	40,730	59,953	36,223	52,839	26,101			

П.2.3.1 Средняя температура воздуха в канале:

$$t_{кан}^{пер} = \frac{\frac{90}{1,50560} + \frac{50}{1,50560} + \frac{65}{1,69297} + \frac{50}{1,69297} + \frac{60}{1,66751} + \frac{50}{2,34952} + \frac{9,3}{0,145502}}{\frac{1}{1,50560} + \frac{1}{1,50560} + \frac{1}{1,69297} + \frac{1}{1,69297} + \frac{1}{1,66751} + \frac{1}{2,34952} + \frac{1}{0,145502}} = 27,104 \text{ °C}.$$

П.2.3.2 Нормируемую плотность теплового потока за расчетный период для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.13)):

$$\begin{aligned} q_{1\text{ норм}}^{\text{пер}} &= \frac{90 - 27,104}{1,50560} = 41,775 \text{ Вт/м}; & q_{2\text{ норм}}^{\text{пер}} &= \frac{50 - 27,104}{1,50560} = 15,207 \text{ Вт/м}; \\ q_{1\text{ норм.от}}^{\text{пер}} &= \frac{65 - 27,104}{1,69297} = 22,384 \text{ Вт/м}; & q_{2\text{ норм.от}}^{\text{пер}} &= \frac{50 - 27,104}{1,69297} = 13,524 \text{ Вт/м}; \\ q_{3\text{ норм}}^{\text{пер}} &= \frac{60 - 27,104}{1,66751} = 19,728 \text{ Вт/м}; & q_{4\text{ норм}}^{\text{пер}} &= \frac{50 - 27,104}{2,34952} = 9,745 \text{ Вт/м}. \end{aligned}$$

П.2.3.3 Нормируемые тепловые потери на участке для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$\begin{aligned} Q_{1\text{ норм}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 41,775 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 111,890 \text{ ГДж}; \\ Q_{2\text{ норм}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 15,207 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 40,730 \text{ ГДж}; \\ Q_{1\text{ норм.от}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 22,384 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 59,953 \text{ ГДж}; \\ Q_{2\text{ норм.от}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 13,524 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 36,223 \text{ ГДж}; \\ Q_{3\text{ норм}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 19,728 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 52,839 \text{ ГДж}; \\ Q_{4\text{ норм}}^{\text{пер}} &= 3,6 \cdot 9,745 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 26,101 \text{ ГДж}. \end{aligned}$$

П.2.4 Заполнение таблицы К.10 ТКП 642 (межотопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °С (Н > 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °С	Число часов работы теплосети
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С								
т ₁ ^{ср.пер}	т ₂ ^{ср.пер}	т _{1от} ^{ср.пер}	т _{2от} ^{ср.пер}	т ₃ ^{ср.пер}	т ₄ ^{ср.пер}	τ _{гр} ^{ср.пер}	τ _{кан} ^{пер}	Z ^{пер}
90	50	—	—	60	50	9,3	23,212	744
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{1н} ^{подз}	q _{2н} ^{подз}	q _{1н.от} ^{подз}	q _{2н.от} ^{подз}	q _{3н} ^{подз}	q _{4н} ^{подз}			
44,360	17,792	—	—	22,062	11,401			
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{1норм} ^{пер}	Q _{2норм} ^{пер}	Q _{1норм.от} ^{пер}	Q _{2норм.от} ^{пер}	Q _{3норм} ^{пер}	Q _{4норм} ^{пер}			
118,814	47,654	—	—	59,091	30,536			

П.2.4.1 Средняя температура воздуха в канале:

$$\tau_{\text{кан}}^{\text{пер}} = \frac{\frac{90}{1,50560} + \frac{50}{1,50560} + \frac{60}{1,66751} + \frac{50}{2,34952} + \frac{9,3}{0,145502}}{\frac{1}{1,50560} + \frac{1}{1,50560} + \frac{1}{1,66751} + \frac{1}{2,34952} + \frac{1}{0,145502}} = 23,212 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

П.2.4.2 Нормируемую плотность теплового потока за расчетный период для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.13)):

$$q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{90 - 23,212}{1,50560} = 44,360 \text{ Вт/м}; \quad q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 23,212}{1,50560} = 17,792 \text{ Вт/м};$$
$$q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{60 - 23,212}{1,66751} = 22,062 \text{ Вт/м}; \quad q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 23,212}{2,34952} = 11,401 \text{ Вт/м}.$$

П.2.4.3 Коэффициент местных тепловых потерь для всех трубопроводов $\beta = 1,0$.

П.2.4.4 Нормируемые тепловые потери на участке, для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$Q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 44,360 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 118,814 \text{ ГДж};$$
$$Q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 17,792 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 47,654 \text{ ГДж};$$
$$Q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 22,062 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 59,091 \text{ ГДж};$$
$$Q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 11,401 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 30,536 \text{ ГДж}.$$

6.2 Двухъячейковый канал

6.2.1 Расчет по нормам плотности теплового потока

Пример 1 к 6.2

Расчет шести труб в канале: два трубопровода сетевой воды на ЦТП, два трубопровода на системы отопления потребителей ЦТП, два трубопровода сетей ГВС

П.1.1 Исходные данные. Заполнение таблицы К.11 ТКП 642

Водяная т/с на ЦТП	Сети отопления с ЦТП	Сети ГВС		Длина участка, м	Расстояние от поверхности грунта до поверхности канала Н _к , м	Коэффициент теплопроводности грунта λ _{гр} , Вт/м·°С	Коэффициент испытаний на тепловые потери К
Секция 1	Секция 2						
Работа трубопроводов в год, ч, год проекта							
>5000	<5000	>5000					
До 1990	С 1990 до 1 июля 1995	С 1990 до 1 июля 1995					
Наружный диаметр трубопроводов, мм							
325	219	159	108	1000	1,6	1,8	1,0

Продолжение таблицы

№ канала	Тип канала	Характеристика канала, м			
		высота h	ширина b	толщина перекрытия δ _{пер}	толщина стенки δ _{ст}
Секция 1	КЛп180-90	0,9	1,8	0,145	0,2
Секция 2	КЛп210-90	0,9	2,1	0,15	

П.1.2. Заполнение таблицы К.12 ТКП 642

Расчетное заглубление канала Н, м	Термическое сопротивление грунта R _{гр} ^к , м·°С/Вт	Термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха канала к его стенкам R _{в.к} ^к , м·°С/Вт	Термическое сопротивление канала и грунта R _{кан} ^к , м·°С/Вт	Приведенное термическое сопротивление канала и грунта R _{кан} ^к , м·°С/Вт
Секция 1				
2,195	0,163434	0,024127	0,187561	0,225073
Секция 2				
2,200	0,156534	0,022978	0,179511	0,21119

Продолжение таблицы

Термическое сопротивление теплопередачи стенок между секциями канала $R_{ст}$, м ² ·°C/Вт	Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, Вт/м	Секция 1		Секция 2				Нормируемая температура воздуха в каждой секции канала при проектных температурных условиях, °C	
		Расчетная температура теплоносителя, °C							
		$t_{1}^{ср.пер}$	$t_{2}^{ср.пер}$	$t_{1от}^{ср.пер}$	$t_{2от}^{ср.пер}$	$t_{3}^{ср.пер}$	$t_{4}^{ср.пер}$		
		90	50	65	50	60	50		
		Норма плотности теплового потока, Вт/м							
		$q_{1н}^{подз}$	$q_{2н}^{подз}$	$q_{1н.от}^{подз}$	$q_{2н.от}^{подз}$	$q_{3н}^{подз}$	$q_{4н}^{подз}$	Секция 1 $\tau_{н.кан\text{ «1»}}$	Секция 2 $\tau_{н.кан\text{ «2»}}$
0,549242	6,053	116,3	79,1	48,0	31,0	28,7	19,0	34,114	30,789

Продолжение таблицы

Нормируемое термическое сопротивление, м ² ·°C/Вт					
Секция 1		Секция 2			
$R_{1\text{норм}}$	$R_{2\text{норм}}$	$R_{1\text{норм.от}}$	$R_{2\text{норм.от}}$	$R_{3\text{норм}}$	$R_{4\text{норм}}$
0,480533	0,480533	0,712729	0,712729	1,017805	1,011105

П.1.2.1
Секция 1

$$H = 1,6 + 0,145 + \frac{0,9}{2} = 2,195 \text{ м};$$
$$R_{гр}^k = \ln \left[3,5 \cdot \frac{2,195}{0,9} \cdot \left(\frac{0,9}{1,8} \right)^{0,25} \right] / \left(\left(5,7 + 0,5 \cdot \frac{1,8}{0,9} \right) \cdot 1,8 \right) = 0,163434 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$
$$R_{в.к} = 1 / \left(3,14 \cdot 11 \cdot \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 1,8}{0,9 + 1,8} \right) = 0,024127 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$
$$R_{кан} = 0,163434 + 0,024127 = 0,187561 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$
$$\frac{P}{P_n} = \frac{2 \cdot (h + b)}{h + 2b} = \frac{2 \cdot (0,9 + 1,8)}{0,9 + 2 \cdot 1,8} = 1,2.$$

Приведенное термическое сопротивление секции (на 1 пог. м канала) по ТКП 642 (формула (6.17)):

$$R_{кан\text{ «1»}}^{прив} = R_{кан} \cdot \frac{P}{P_n} = 0,187561 \cdot 1,2 = 0,225073 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт}.$$

Секция 2

$$H = 1,6 + 0,15 + \frac{0,9}{2} = 2,2 \text{ м};$$
$$R_{гр}^k = \ln \left[3,5 \cdot \frac{2,2}{0,9} \cdot \left(\frac{0,9}{2,1} \right)^{0,25} \right] / \left(\left(5,7 + 0,5 \cdot \frac{2,1}{0,9} \right) \cdot 1,8 \right) = 0,156534 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$
$$R_{в.к} = 1 / \left(3,14 \cdot 11 \cdot \frac{2 \cdot 0,9 \cdot 2,1}{0,9 + 2,1} \right) = 0,022978 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$
$$R_{кан} = 0,156534 + 0,022978 = 0,179511 \text{ м} \cdot \text{°C/Вт};$$
$$\frac{P}{P_n} = \frac{2 \cdot (0,9 + 2,1)}{0,9 + 2 \cdot 2,1} = 1,17647.$$

Приведенное термическое сопротивление секции (на 1 пог. м канала) по ТКП 642 (формула (6.17)):

$$R_{\text{кан«2»}}^{\text{прив}} = 0,179511 \cdot 1,17647 = 0,21119 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

П.1.2.2 Термическое сопротивление теплопередаче стенок между секциями канала (на 1 пог. м канала) по ТКП 642 (формула (6.18)):

$$R_{\text{ст}} = 2 \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{\text{в.к}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} \right) / h = 2 \cdot \left(\frac{1}{11} + \frac{0,2}{1,28} \right) / 0,9 = 0,549242 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт},$$

где $\lambda_{\text{ст}}$ – коэффициент теплопроводности стенки канала, который с достаточной степенью точности можно принять равным 1,28 Вт/м·°C.

П.1.2.3 Нормы плотности теплового потока определены в П.1.2.6 п. 6.1.1.

П.1.2.4 Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, вычисляют по ТКП 642 (формула (6.19)). При отсутствии результатов испытаний на тепловые потери ($K_i = 1,0$) принимается $q_{2\text{н}} = 0$.

$$q_{\text{н.ст}} = \frac{(K_1 q_{1\text{н}}^{\text{подз}} + K_2 q_{2\text{н}}^{\text{подз}}) \cdot R_{\text{кан«1»}}^{\text{прив}} - (K_1 q_{1\text{нот}}^{\text{подз}} + K_2 q_{2\text{нот}}^{\text{подз}} + K_3 q_{3\text{н}}^{\text{подз}} + K_4 q_{4\text{н}}^{\text{подз}}) \cdot R_{\text{кан«2»}}^{\text{прив}}}{R_{\text{кан«1»}}^{\text{прив}} + R_{\text{кан«2»}}^{\text{прив}} + R_{\text{ст}}} =$$

$$= \frac{(116,3 + 0) \cdot 0,225073 - (48,0 + 0 + 28,7 + 19,0) \cdot 0,21119}{0,225073 + 0,211190 + 0,549242} = 6,053 \text{ Вт/м}.$$

П.1.2.5 Приближенное значение нормируемой температуры воздуха в каждой секции канала при проектных температурных условиях $\tau_{\text{н.кан«1»}}$ и $\tau_{\text{н.кан«2»}}$, °C, вычисляют по формулам:

– для секции 1 по ТКП 642 (формула (6.20)):

$$\tau_{\text{н.кан«1»}} = \tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}} + (K_1 q_{1\text{н}}^{\text{подз}} + K_2 q_{2\text{н}}^{\text{подз}} - q_{\text{н.ст}}) \cdot R_{\text{кан«1»}}^{\text{прив}} = 9,3 + (116,3 + 0 - 6,053) \cdot 0,225073 = 34,114 \text{ } ^\circ\text{C};$$

– для секции 2 по ТКП 642 (формула (6.20)):

$$\tau_{\text{н.кан«2»}} = \tau_{\text{гр.п}}^{\text{ср.г}} + (K_1 q_{1\text{нот}}^{\text{подз}} + K_2 q_{2\text{нот}}^{\text{подз}} + K_3 q_{3\text{н}}^{\text{подз}} + K_4 q_{4\text{н}}^{\text{подз}} + q_{\text{н.ст}}) \cdot R_{\text{кан«2»}}^{\text{прив}} =$$

$$= 9,3 + (48,0 + 0 + 28,7 + 19,0 + 6,053) \cdot 0,21119 = 30,789 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

П.1.2.6 Нормируемые термические сопротивления теплопередаче от трубопровода к воздуху канала вычисляют по ТКП 642 (формулы (6.22)–(6.25)):

1) подающий и обратный трубопроводы сетевой воды на ЦТП – при $K = 1$ $R_{2\text{норм}} = R_{1\text{норм}}$:

$$R_{1(2)\text{норм«1»}} = \frac{t_{\text{п}} - \tau_{\text{н.кан«1»}}}{K_1 \cdot q_{1\text{н}}^{\text{подз}}} = \frac{90 - 34,114}{1 \cdot 116,3} = 0,480533 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

2) подающий и обратный трубопроводы сетевой воды с ЦТП – при $K = 1$ $R_{2\text{норм.от}} = R_{1\text{норм.от}}$:

$$R_{1(2)\text{норм.от«2»}} = \frac{t_{\text{п.от}} - \tau_{\text{н.кан«2»}}}{K_2 \cdot q_{1\text{нот}}^{\text{подз}}} = \frac{65 - 30,789}{1 \cdot 48,0} = 0,712729 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

3) подающий трубопровод сетей ГВС:

$$R_{3\text{норм«2»}} = \frac{60 - \tau_{\text{н.кан«2»}}}{K_3 \cdot q_{3\text{н}}^{\text{подз}}} = \frac{60 - 30,789}{1 \cdot 28,7} = 1,017805 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

4) циркуляционный трубопровод сетей ГВС:

$$R_{4\text{норм}\langle 2 \rangle} = \frac{50 - \tau_{\text{н.кан}\langle 2 \rangle}}{K_4 \cdot q_{4\text{н}}^{\text{подз}}} = \frac{50 - 30,789}{1 \cdot 19,0} = 1,011\,105 \text{ м} \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

П.1.3 Заполнение таблицы К.13 ТКП 642 (отопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °С (Н > 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °С	
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С								
t ₁ ^{ср.пер}	t ₂ ^{ср.пер}	t _{1от} ^{ср.пер}	t _{2от} ^{ср.пер}	t ₃ ^{ср.пер}	t ₄ ^{ср.пер}	τ _{гр} ^{ср.пер}	Секция 1 τ _{н.кан} «1»	Секция 2 τ _{н.кан} «2»
90	50	65	50	60	50	9,3	37,800	33,759
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{1н} ^{подз}	q _{2н} ^{подз}	q _{1н.от} ^{подз}	q _{2н.от} ^{подз}	q _{3н} ^{подз}	q _{4н} ^{подз}	Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, q _{ст} ^{пер} , Вт/м		
108,629	25,388	43,833	22,787	25,782	16,063	7,356		
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,2	1,2	1,15	1,15	1,15	1,2			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{1норм} ^{пер}	Q _{2норм} ^{пер}	Q _{1норм.от} ^{пер}	Q _{2норм.от} ^{пер}	Q _{3норм} ^{пер}	Q _{4норм} ^{пер}			
349,142	81,599	135,013	70,188	79,413	51,628			

П.1.3.1 Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, вычисляют по ТКП 642 (формула (6.26)):

$$q_{\text{ст}}^{\text{пер}} = \left(\frac{A}{a} - \frac{J}{j} \right) / \left(R_{\text{ст}} + \frac{R_{\text{кан}\langle 1 \rangle}^{\text{прив}}}{a} + \frac{R_{\text{кан}\langle 2 \rangle}^{\text{прив}}}{j} \right) = \\ = \left(\frac{74,873}{1,937} - \frac{66,269}{2,009} \right) / \left(0,549242 + \frac{0,225073}{1,937} + \frac{0,21119}{2,009} \right) = 7,356 \text{ Вт/м},$$

где $A = \tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан}\langle 1 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_1^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм}\langle 1 \rangle}} + \frac{t_2^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм}\langle 1 \rangle}} \right) = 9,3 + 0,225073 \cdot \left(\frac{90}{0,480533} + \frac{50}{0,480533} \right) = 74,873;$

$$J = \tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан}\langle 2 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_{1\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм.от}\langle 2 \rangle}} + \frac{t_{2\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм.от}\langle 2 \rangle}} + \frac{t_3^{\text{ср.пер}}}{R_{3\text{норм}\langle 2 \rangle}} + \frac{t_4^{\text{ср.пер}}}{R_{4\text{норм}\langle 2 \rangle}} \right) = \\ = 9,3 + 0,21119 \cdot \left(\frac{65}{0,712729} + \frac{50}{0,712729} + \frac{60}{1,017805} + \frac{50}{1,011105} \right) = 66,269;$$

$$a = 1 + R_{\text{кан}\langle 1 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{1}{R_{1\text{норм}\langle 1 \rangle}} + \frac{1}{R_{2\text{норм}\langle 1 \rangle}} \right) = 1 + 0,225073 \cdot \left(\frac{1}{0,480533} + \frac{1}{0,480533} \right) = 1,937;$$

$$j = 1 + R_{\text{кан} \langle 2 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{1}{R_{1\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{1}{R_{2\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{1}{R_{3\text{норм} \langle 2 \rangle}} + \frac{1}{R_{4\text{норм} \langle 2 \rangle}} \right) =$$

$$= 1 + 0,21119 \cdot \left(\frac{1}{0,712729} + \frac{1}{0,712729} + \frac{1}{1,017805} + \frac{1}{1,011105} \right) = 2,009.$$

П.1.3.2 Температуру воздуха в секциях канала вычисляют по ТКП 642 (формулы (6.27)– (6.28)):

$$\tau_{\text{кан} \langle 1 \rangle}^{\text{пер}} = \left(\tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан} \langle 1 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_1^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм} \langle 1 \rangle}} + \frac{t_2^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм} \langle 1 \rangle}} - q_{\text{ст}}^{\text{пер}} \right) \right) / a =$$

$$= \left(9,3 + 0,225073 \cdot \left(\frac{90}{0,480533} + \frac{50}{0,480533} - 7,356 \right) \right) / 1,937 = 37,800 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{\text{кан} \langle 2 \rangle}^{\text{пер}} = \left(\tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан} \langle 2 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_{1\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{t_{2\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{t_3^{\text{ср.пер}}}{R_{3\text{норм} \langle 2 \rangle}} + \frac{t_4^{\text{ср.пер}}}{R_{4\text{норм} \langle 2 \rangle}} + q_{\text{ст}}^{\text{пер}} \right) \right) / j =$$

$$= \left(9,3 + 0,211190 \cdot \left(\frac{65}{0,712729} + \frac{50}{0,712729} + \frac{60}{1,017805} + \frac{50}{1,011105} + 7,356 \right) \right) / 2,009 = 33,759 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

П.1.3.3 Нормируемую плотность теплового потока за расчетный период для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.13)):

$$q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{90 - 37,800}{0,480533} = 108,629 \text{ Вт/м}; \quad q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 37,800}{0,480533} = 25,388 \text{ Вт/м};$$

$$q_{1\text{норм.от}}^{\text{пер}} = \frac{65 - 33,759}{0,712729} = 43,833 \text{ Вт/м}; \quad q_{2\text{норм.от}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 33,759}{0,712729} = 22,787 \text{ Вт/м};$$

$$q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{60 - 33,759}{1,017805} = 25,782 \text{ Вт/м}; \quad q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 33,759}{1,011105} = 16,063 \text{ Вт/м}.$$

П.1.3.4 Коэффициент местных тепловых потерь: $\beta_1 = \beta_2 = 1,2$; $\beta_{1\text{от}} = \beta_{2\text{от}} = 1,15$; $\beta_3 = 1,15$ (Dy 150 и более); $\beta_4 = 1,2$ (Dy до 150).

П.1.3.5 Нормируемые тепловые потери на участке для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$Q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 108,631 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 349,142 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 25,389 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 81,599 \text{ ГДж};$$

$$Q_{1\text{норм.от}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 43,832 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 135,013 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{норм.от}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 22,786 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 70,188 \text{ ГДж};$$

$$Q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 25,781 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 79,413 \text{ ГДж};$$

$$Q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 16,062 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 51,628 \text{ ГДж}.$$

1.4 Заполнение таблицы К.13 ТКП 642 (межотопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °С (Н > 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °С	
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С								
t _{ср.пер} ₁	t _{ср.пер} ₂	t _{ср.пер} _{1от}	t _{ср.пер} _{2от}	t _{ср.пер} ₃	t _{ср.пер} ₄	τ _{гр} _{ср.пер}	Секция 1 τ _{н.кан «1»}	Секция 2 τ _{н.кан «2»}
90	50	—	—	60	50	9,3	36,384	25,650
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{подз} _{1н}	q _{подз} _{2н}	q _{подз} _{1н.от}	q _{подз} _{2н.от}	q _{подз} _{3н}	q _{подз} _{4н}	Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, q _{ст} ^{пер} , Вт/м		
111,576	28,335	—	—	33,749	24,083	19,542		
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,2	1,2	1,15	1,15	1,15	1,2			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{пер} _{1норм}	Q _{пер} _{2норм}	Q _{пер} _{1норм.от}	Q _{пер} _{2норм.от}	Q _{пер} _{3норм}	Q _{пер} _{4норм}			
358,614	91,071	—	—	103,952	77,405			

П.1.4.1 Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, вычисляют по ТКП 642 (формула (6.26)):

$$q_{\text{ст.пер}} = \left(\frac{A}{a} - \frac{J}{j} \right) / \left(R_{\text{ст}} + \frac{R_{\text{кан «1» прив}}}{a} + \frac{R_{\text{кан «2» прив}}}{j} \right) =$$

$$= \left(\frac{74,873}{1,937} - \frac{32,193}{1,416} \right) / \left(0,549242 + \frac{0,225073}{1,937} + \frac{0,21119}{1,416} \right) = 19,542 \text{ Вт/м},$$

где $A = \tau_{\text{гр.ср.пер}} + R_{\text{кан «1» прив}} \cdot \left(\frac{t_{1\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм «1»}}} + \frac{t_{2\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм «1»}}} \right) = 9,3 + 0,225073 \cdot \left(\frac{90}{0,480533} + \frac{50}{0,480533} \right) = 74,873;$

$$J = \tau_{\text{гр.ср.пер}} + R_{\text{кан «2» прив}} \cdot \left(\frac{t_{3\text{ср.пер}}}{R_{3\text{норм «2»}}} + \frac{t_{4\text{ср.пер}}}{R_{4\text{норм «2»}}} \right) = 9,3 + 0,21119 \cdot \left(\frac{60}{1,017805} + \frac{50}{1,011105} \right) = 32,193;$$

$$a = 1 + R_{\text{кан «1» прив}} \cdot \left(\frac{1}{R_{1\text{норм «1»}}} + \frac{1}{R_{2\text{норм «1»}}} \right) = 1 + 0,225073 \cdot \left(\frac{1}{0,480533} + \frac{1}{0,480533} \right) = 1,937;$$

$$j = 1 + R_{\text{кан «2» прив}} \cdot \left(\frac{1}{R_{3\text{норм «2»}}} + \frac{1}{R_{4\text{норм «2»}}} \right) = 1 + 0,21119 \cdot \left(\frac{1}{1,017805} + \frac{1}{1,011105} \right) = 1,416.$$

П.1.4.2 Температуру воздуха в секциях канала вычисляют по ТКП 642 (формулы (6.27), (6.28)):

$$\tau_{\text{кан «1» пер}} = \left(\tau_{\text{гр.ср.пер}} + R_{\text{кан «1» прив}} \cdot \left(\frac{t_{1\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм «1»}}} + \frac{t_{2\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм «1»}}} - q_{\text{ст.пер}} \right) \right) / a =$$

$$= \left(9,3 + 0,225073 \cdot \left(\frac{90}{0,480533} + \frac{50}{0,480533} - 19,542 \right) \right) / 1,937 = 36,384 \text{ °С};$$

$$\tau_{\text{кан«2»}}^{\text{пер}} = \left(\tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан«2»}}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_3^{\text{ср.пер}}}{R_{3\text{норм«2»}}} + \frac{t_4^{\text{ср.пер}}}{R_{4\text{норм«2»}}} + q_{\text{ст}}^{\text{пер}} \right) \right) / j =$$

$$= \left(9,3 + 0,211190 \cdot \left(\frac{60}{1,017805} + \frac{50}{1,011105} + 19,542 \right) \right) / 1,416 = 25,650 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

П.1.4.3 Нормируемую плотность теплового потока за расчетный период для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.13)):

$$q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{90 - 36,384}{0,480533} = 111,576 \text{ Вт/м}; \quad q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 36,384}{0,480533} = 28,335 \text{ Вт/м};$$

$$q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{60 - 25,650}{1,017805} = 33,749 \text{ Вт/м}; \quad q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 25,650}{1,011105} = 24,083 \text{ Вт/м}.$$

П.1.4.4 Нормируемые тепловые потери на участке для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$Q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 111,578 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 358,614 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 28,336 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 91,071 \text{ ГДж};$$

$$Q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 33,748 \cdot 1,15 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 103,952 \text{ ГДж};$$

$$Q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 24,081 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 77,405 \text{ ГДж}.$$

6.2.2 Расчет нормируемых тепловых потерь ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводами

Пример 2 к 6.2

Расчет шести труб в канале: два трубопровода сетевой воды на ЦТП, два трубопровода на системы отопления потребителей ЦТП, два трубопровода сетей ГВС

П.2.1 Исходные данные. Заполнение таблицы К.11 ТКП 642

Водяная т/с на ЦТП	Сети отопления с ЦТП	Сети ГВС		Длина участка, м	Расстояние от поверхности грунта до перекрытия канала H_k , м	Коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_{гр}$, Вт/м·°C	Коэффициент испытаний на тепловые потери К
Секция 1	Секция 2						
Год проекта							
С 2010	С 2010	С 2010					
Наружный диаметр трубопроводов, мм							
ПИ-трубы (таблица Б.13 Пособия)		ГПИ-трубы (таблица Б.15 Пособия)					
325/450	219/315	180/250	125/200	1000	1,6	1,8	1,0

Продолжение таблицы

№ канала	Тип канала	Характеристика канала, м			
		высота h	ширина b	толщина перекрытия δ _{пер}	толщина стенки δ _{пер}
Секция 1	КЛп180-90	0,9	1,8	0,145	0,2
Секция 2	КЛп210-90	0,9	2,1	0,15	

П.2.2. Заполнение таблицы К.12 ТКП 642

Расчетное заглубление канала Н, м	Термическое сопротивление грунта $R_{гр}^к$, м·°C/Вт	Термическое сопротивление теплоотдаче от воздуха канала к его стенкам $R_{в,к}$, м·°C/Вт	Термическое сопротивление канала и грунта $R_{кан}$, м·°C/Вт	Термическое сопротивление теплопередаче стенок между секциями канала $R_{ст}$, м·°C/Вт
Секция 1				0,549242
2,195	0,163434	0,024127	0,187561	
Секция 2				
2,200	0,156534	0,022978	0,179511	

Продолжение таблицы

Нормируемое термическое сопротивление, м·°C/Вт					
Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС	
R _{1норм}	R _{2норм}	R _{1норм.от}	R _{2норм.от}	R _{3норм}	R _{4норм}
1,50560	1,50560	1,69297	1,69297	1,66751	2,34952

П.2.2.1 Нормируемые термические сопротивления от трубопровода к воздуху канала принимаются в соответствии с ТКП 642 (таблицы Б.15, Б.17).

П.2.3 Заполнение таблицы К.13 ТКП 642 (отопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °С (Н > 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °С	
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С								
t ₁ ^{ср.пер}	t ₂ ^{ср.пер}	t _{1от} ^{ср.пер}	t _{2от} ^{ср.пер}	t ₃ ^{ср.пер}	t ₄ ^{ср.пер}	τ _{гр} ^{ср.пер}	Секция 1 τ _{н.кан «1»}	Секция 2 τ _{н.кан «2»}
90	50	65	50	60	50	9,3	23,492	24,194
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{1н} ^{подз}	q _{2н} ^{подз}	q _{1н.от} ^{подз}	q _{2н.от} ^{подз}	q _{3н} ^{подз}	q _{4н} ^{подз}	Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, q _{ст} ^{пер} , Вт/м		
44,174	17,606	24,103	15,243	21,473	10,984	– 1,278		
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{1норм} ^{пер}	Q _{2норм} ^{пер}	Q _{1норм.от} ^{пер}	Q _{2норм.от} ^{пер}	Q _{3норм} ^{пер}	Q _{4норм} ^{пер}			
118,316	47,156	64,557	40,827	57,513	29,420			

П.2.3.1 Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, вычисляют по ТКП 642 (формула (6.26)):

$$q_{ст}^{пер} = \left(\frac{A}{a} - \frac{J}{j} \right) / \left(R_{ст} + \frac{R_{кан}^{прив} «1»}{a} + \frac{R_{кан}^{прив} «2»}{j} \right) =$$
$$= \left(\frac{30,229}{1,299} - \frac{35,739}{1,466} \right) / \left(0,549242 + \frac{0,225073}{1,299} + \frac{0,211190}{1,466} \right) = -1,278 \text{ Вт/м},$$

$$\text{где } A = \tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан} \langle 1 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_1^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм} \langle 1 \rangle}} + \frac{t_2^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм} \langle 1 \rangle}} \right) = 9,3 + 0,225073 \cdot \left(\frac{90}{1,50560} + \frac{50}{1,50560} \right) = 30,229;$$

$$J = \tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан} \langle 2 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_{1\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{t_{2\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{t_3^{\text{ср.пер}}}{R_{3\text{норм} \langle 2 \rangle}} + \frac{t_4^{\text{ср.пер}}}{R_{4\text{норм} \langle 2 \rangle}} \right) =$$

$$= 9,3 + 0,211190 \cdot \left(\frac{65}{1,69297} + \frac{50}{1,69297} + \frac{60}{1,66751} + \frac{50}{2,34952} \right) = 35,739;$$

$$a = 1 + R_{\text{кан} \langle 1 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{1}{R_{1\text{норм} \langle 1 \rangle}} + \frac{1}{R_{2\text{норм} \langle 1 \rangle}} \right) = 1 + 0,225073 \cdot \left(\frac{1}{1,50560} + \frac{1}{1,50560} \right) = 1,299;$$

$$j = 1 + R_{\text{кан} \langle 2 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{1}{R_{1\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{1}{R_{2\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{1}{R_{3\text{норм} \langle 2 \rangle}} + \frac{1}{R_{4\text{норм} \langle 2 \rangle}} \right) =$$

$$= 1 + 0,211190 \cdot \left(\frac{1}{1,69297} + \frac{1}{1,69297} + \frac{1}{1,66751} + \frac{1}{2,34952} \right) = 1,466.$$

П.2.3.2 Температуру воздуха в секциях канала вычисляют по ТКП 642 (формулы (6.27), (6.28)):

$$\tau_{\text{кан} \langle 1 \rangle}^{\text{пер}} = \left(\tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан} \langle 1 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_1^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм} \langle 1 \rangle}} + \frac{t_2^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм} \langle 1 \rangle}} - q_{\text{ст}}^{\text{пер}} \right) \right) / a =$$

$$= \left(9,3 + 0,225073 \cdot \left(\frac{90}{1,50560} + \frac{50}{1,50560} - (-1,278) \right) \right) / 1,299 = 23,492 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\tau_{\text{кан} \langle 2 \rangle}^{\text{пер}} = \left(\tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан} \langle 2 \rangle}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_{1\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{t_{2\text{от}}^{\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм.от} \langle 2 \rangle}} + \frac{t_3^{\text{ср.пер}}}{R_{3\text{норм} \langle 2 \rangle}} + \frac{t_4^{\text{ср.пер}}}{R_{4\text{норм} \langle 2 \rangle}} + q_{\text{ст}}^{\text{пер}} \right) \right) / j =$$

$$= \left(9,3 + 0,211190 \cdot \left(\frac{65}{1,69297} + \frac{50}{1,69297} + \frac{60}{1,66751} + \frac{50}{2,34952} + (-1,278) \right) \right) / 1,466 = 24,194 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

П.2.3.3 Нормируемую плотность теплового потока за расчетный период для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.13)):

$$q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{90 - 23,492}{1,50560} = 44,174 \text{ Вт/м}; \quad q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 23,492}{1,50560} = 17,606 \text{ Вт/м};$$

$$q_{1\text{норм.от}}^{\text{пер}} = \frac{65 - 24,195}{1,69297} = 24,103 \text{ Вт/м}; \quad q_{2\text{норм.от}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 24,195}{1,69297} = 15,243 \text{ Вт/м};$$

$$q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{60 - 24,195}{1,66751} = 21,473 \text{ Вт/м}; \quad q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 24,195}{2,34952} = 10,984 \text{ Вт/м}.$$

П.2.3.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta_1 = 1$.

П.2.3.5 Нормируемые тепловые потери на участке для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$Q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 44,174 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 118,316 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 17,606 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 47,156 \text{ ГДж};$$

$$Q_{1\text{норм.от}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 24,103 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 64,557 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{норм.от}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 15,242 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 40,827 \text{ ГДж};$$

$$Q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 21,472 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 57,513 \text{ ГДж};$$

$$Q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 10,983 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 29,420 \text{ ГДж}.$$

П.2.4 Заполнение таблицы К.13 ТКП 642 (межотопительный период)

Водяная т/с на ЦТП		Сети отопления с ЦТП		Сети ГВС		Средняя температура грунта, °С (Н > 0,7 м)	Средняя температура воздуха в канале, °С	
Средняя температура теплоносителя за расчетный период, °С								
t ₁ ^{ср.пер}	t ₂ ^{ср.пер}	t _{1от} ^{ср.пер}	t _{2от} ^{ср.пер}	t ₃ ^{ср.пер}	t ₄ ^{ср.пер}	τ _{гр} ^{ср.пер}	Секция 1 τ _{н.кан «1»}	Секция 2 τ _{н.кан «2»}
90	50	—	—	60	50	9,3	22,170	18,681
Норма плотности теплового потока, Вт/м								
q _{1н} ^{подз}	q _{2н} ^{подз}	q _{1н.от} ^{подз}	q _{2н.от} ^{подз}	q _{3н} ^{подз}	q _{4н} ^{подз}	Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, q _{ст} ^{пер} , Вт/м		
45,052	18,484	—	—	24,779	13,330	6,353		
Коэффициент местных тепловых потерь								
β ₁	β ₂	β _{1от}	β _{2от}	β ₃	β ₄			
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			
Нормируемые тепловые потери, ГДж								
Q _{1норм} ^{пер}	Q _{2норм} ^{пер}	Q _{1норм.от} ^{пер}	Q _{2норм.от} ^{пер}	Q _{3норм} ^{пер}	Q _{4норм} ^{пер}			
120,667	49,508	—	—	66,368	35,703			

П.2.4.1 Тепловой поток через стенки, разделяющие секции канала, вычисляют по ТКП 642 (формула (6.26)):

$$q_{\text{ст.пер}} = \left(\frac{A}{a} - \frac{J}{j} \right) / \left(R_{\text{ст}} + \frac{R_{\text{кан«1»прив}}}{a} + \frac{R_{\text{кан«2»прив}}}{j} \right) =$$

$$= \left(\frac{30,229}{1,299} - \frac{21,393}{1,217} \right) / \left(0,549242 + \frac{0,225073}{1,299} + \frac{0,211190}{1,217} \right) = 6,353 \text{ Вт/м,}$$

где $A = \tau_{\text{гр.пер}} + R_{\text{кан«1»прив}} \cdot \left(\frac{t_{1\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм «1»}}} + \frac{t_{2\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм «1»}}} \right) = 9,3 + 0,225073 \cdot \left(\frac{90}{1,50560} + \frac{50}{1,50560} \right) = 30,229;$

$$J = \tau_{\text{гр.пер}} + R_{\text{кан«2»прив}} \cdot \left(\frac{t_{3\text{ср.пер}}}{R_{3\text{норм «2»}}} + \frac{t_{4\text{ср.пер}}}{R_{4\text{норм «2»}}} \right) = 9,3 + 0,211190 \cdot \left(\frac{60}{1,66751} + \frac{50}{2,34952} \right) = 21,393;$$

$$a = 1 + R_{\text{кан«1»прив}} \cdot \left(\frac{1}{R_{1\text{норм «1»}}} + \frac{1}{R_{2\text{норм «1»}}} \right) = 1 + 0,225073 \cdot \left(\frac{1}{1,50560} + \frac{1}{1,50560} \right) = 1,299;$$

$$j = 1 + R_{\text{кан«2»прив}} \cdot \left(\frac{1}{R_{3\text{норм «2»}}} + \frac{1}{R_{4\text{норм «2»}}} \right) = 1 + 0,211190 \cdot \left(\frac{1}{1,66751} + \frac{1}{2,34952} \right) = 1,217.$$

П.2.4.2 Температуру воздуха в секциях канала вычисляют по ТКП 642 (формулы (6.27), (6.28)):

$$\tau_{\text{кан «1»пер}} = \left(\tau_{\text{гр.пер}} + R_{\text{кан«1»прив}} \cdot \left(\frac{t_{1\text{ср.пер}}}{R_{1\text{норм «1»}}} + \frac{t_{2\text{ср.пер}}}{R_{2\text{норм «1»}}} - q_{\text{ст.пер}} \right) \right) / a =$$

$$= \left(9,3 + 0,225073 \cdot \left(\frac{90}{1,50560} + \frac{50}{1,50560} - 6,353 \right) \right) / 1,299 = 22,170 \text{ °С;}$$

$$\tau_{\text{кан «2»}}^{\text{пер}} = \left(\tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} + R_{\text{кан «2»}}^{\text{прив}} \cdot \left(\frac{t_3^{\text{ср.пер}}}{R_{\text{3норм «2»}}} + \frac{t_4^{\text{ср.пер}}}{R_{\text{4норм «2»}}} + q_{\text{ст}}^{\text{пер}} \right) \right) / j =$$

$$= \left(9,3 + 0,211190 \cdot \left(\frac{60}{1,66751} + \frac{50}{2,34952} + 6,353 \right) \right) / 1,217 = 18,681 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

П.2.4.3 Нормируемую плотность теплового потока за расчетный период для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.13)):

$$q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{90 - 22,170}{1,50560} = 45,052 \text{ Вт/м}; \quad q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 22,170}{1,50560} = 18,484 \text{ Вт/м};$$

$$q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{60 - 18,681}{1,66751} = 24,779 \text{ Вт/м}; \quad q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = \frac{50 - 18,681}{2,34952} = 13,330 \text{ Вт/м}.$$

П.2.4.4 Коэффициент местных тепловых потерь $\beta_1 = 1$.

П.2.4.5 Нормируемые тепловые потери на участке для каждого трубопровода вычисляют по ТКП 642 (формула (6.14)):

$$Q_{1\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 45,052 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 120,667 \text{ ГДж};$$

$$Q_{2\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 18,484 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 49,508 \text{ ГДж};$$

$$Q_{3\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 24,779 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 66,368 \text{ ГДж};$$

$$Q_{4\text{норм}}^{\text{пер}} = 3,6 \cdot 13,330 \cdot 1,0 \cdot 1000 \cdot 10^{-6} \cdot 744 = 35,703 \text{ ГДж}.$$

7 Расчет нормируемых тепловых потерь с нормативной утечкой теплоносителя и нормативного расхода воды на подпитку

Нормируемое эксплуатационное значение расхода воды на подпитку $G_{\text{подп}}$, м³/ч, устанавливается как сумма нормативной утечки $G_{\text{н.ут}}$ и непрерывных технологических расходов $G_{\text{тех.рас}}$ (технологических сливов, расхода на сальниковые уплотнения насосов, расхода на пробоотборники).

7.1 Нормирование значения утечки теплоносителя в водяных тепловых сетях

7.1.1 Нормирование значения утечки теплоносителя проводится на основании данных по среднегодовому расчетному объему воды $V_p^{\text{ср.г}}$, м³, в системе теплоснабжения:

$$V_p^{\text{ср.г}} = \frac{\sum_{i=1}^Z V_{pi}^{\text{н}} Z_i^{\text{н}} + \sum_{i=1}^Z V_{pi}^{\text{от}} Z_i^{\text{от}}}{Z^{\text{год}}},$$

где $\sum_{i=1}^Z V_{pi}^{\text{от}} Z_i^{\text{от}}$, $\sum_{i=1}^Z V_{pi}^{\text{н}} Z_i^{\text{н}}$ – суммы месячных расчетных объемов воды для отопительного и межотопительного периодов.

Применяя вышеуказанную формулу среднегодового расчетного объема воды $V_p^{\text{ср.г}}$ и в соответствии с ТКП 642 (формула (7.2)) определить норму утечки сетевой воды в отопительный период $\gamma^{\text{от}}$, %, при известной норме утечки сетевой воды в межотопительный период $\gamma^{\text{н}}$, %, можно по формуле

$$\gamma^{\text{от}} = 0,25 + (0,25 - \gamma^{\text{н}}) \frac{\sum_{i=1}^Z V_{pi}^{\text{н}} Z_i^{\text{н}}}{\sum_{i=1}^Z V_{pi}^{\text{от}} Z_i^{\text{от}}}.$$

При этом норма утечки для межотопительного периода $\gamma^{\text{н}}$ не должна превышать 0,25 %. При $\gamma^{\text{н}} = 0,25$ $\gamma^{\text{от}} = \gamma^{\text{н}}$.

7.1.2 При наличии информации о расчетных объемах воды по всем элементам системы теплоснабжения норма утечки должна определяться в целом для системы теплоснабжения. При этом

при расчете нормируемой утечки в тепловых сетях, находящихся на балансе энергоснабжающей организации, следует применять норму утечки, определенную для всей системы теплоснабжения.

Норма утечки, определенная на предстоящий период (год), является прогнозируемой (ожидаемой) величиной и зависит от планируемых отключений и приемок в эксплуатацию элементов системы теплоснабжения в течение года.

Норма утечки на расчетный и последующие периоды может пересчитываться с учетом фактических расчетных объемов воды в системе теплоснабжения за прошедший период.

7.1.3 Определение расчетного объема воды в системе теплоснабжения для рассматриваемого расчетного периода (месяц)

7.1.3.1 Расчетный объем воды в системе теплоснабжения складывается из расчетных объемов воды в трубопроводах тепловых сетей и системах теплопотребления (за исключением систем ГВС, присоединенных через водоподогреватели).

Расчетный объем воды в системе теплоснабжения за период (месяц) определяется как сумма расчетных объемов воды в элементах систем теплоснабжения, находящихся в эксплуатации на начало периода, и сумма расчетных объемов воды элементов системы теплоснабжения, принимаемых в эксплуатацию и отключаемых на ремонт (выводимых из эксплуатации), с учетом времени работы (отключения) в рассматриваемый период.

В случае работы водяной тепловой сети в рассматриваемом расчетном периоде частично в режиме отопительного, а частично – межотопительного периодов расчетные объемы воды и нормативная часовая утечка определяются отдельно для каждого из режимов.

7.1.3.2 Расчетные объемы воды в системе теплоснабжения за период (месяц) на основании ТКП 642 (формулы (7.7)–(7.9)) можно вычислять по формулам:

– в отопительный период:

$$\begin{aligned} V_{\text{р}}^{\text{от}} &= V_{\text{р.тр}}^{\text{пер.от}} + V_{\text{р.потр}}^{\text{ов.пер.от}} + V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос.пер.от}}; \\ V_{\text{р.тр}}^{\text{пер.от}} &= V_{\text{р.тр}}^{\text{от}} + \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{от б}} \cdot Z_{\text{б}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{от(л)отк}} \cdot Z_{\text{отк}}}{Z_{\text{пер}}}; \\ V_{\text{р.потр}}^{\text{ов.пер.от}} &= V_{\text{р.потр}}^{\text{ов}} + \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{ов б}} \cdot Z_{\text{б}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{ов отк}} \cdot Z_{\text{отк}}}{Z_{\text{пер}}}; \\ V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос.пер.от}} &= V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос}} + \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос б}} \cdot Z_{\text{б}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос отк}} \cdot Z_{\text{отк}}}{Z_{\text{пер}}}; \end{aligned}$$

– в межотопительный период:

$$\begin{aligned} V_{\text{р}}^{\text{л}} &= V_{\text{р.тр}}^{\text{пер.л}} + V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос.пер.л}} + V_{\text{р.тр}}^{\text{от пер.л изб}} + V_{\text{р.потр}}^{\text{ов.пер.л изб}}; \\ V_{\text{р.тр}}^{\text{пер.л}} &= V_{\text{р.тр}}^{\text{л}} + \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{л б}} \cdot Z_{\text{б}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{л рем}} \cdot Z_{\text{рем}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{от(л)отк}} \cdot Z_{\text{отк}}}{Z_{\text{пер}}}; \\ V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос.пер.л}} &= V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос}} + \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос б}} \cdot Z_{\text{б}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос рем}} \cdot Z_{\text{рем}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{гв.ос отк}} \cdot Z_{\text{отк}}}{Z_{\text{пер}}}; \\ V_{\text{р.тр}}^{\text{от пер.л изб}} &= V_{\text{р.тр}}^{\text{от изб}} + \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{от изб б}} \cdot Z_{\text{б}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{от изб рем}} \cdot Z_{\text{рем}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{от изб б рем}} \cdot Z_{\text{отк}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{от изб отк}} \cdot Z_{\text{отк}}}{Z_{\text{пер}}}; \\ V_{\text{р.потр}}^{\text{ов.пер.л изб}} &= V_{\text{р.потр}}^{\text{ов изб}} + \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{ов изб б}} \cdot Z_{\text{б}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{ов изб рем}} \cdot Z_{\text{рем}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{ов изб б рем}} \cdot Z_{\text{отк}}}{Z_{\text{пер}}} - \frac{V_{\text{р.потр}}^{\text{от изб отк}} \cdot Z_{\text{отк}}}{Z_{\text{пер}}}; \end{aligned}$$

где $Z_{\text{б}}$ – время работы элемента системы теплоснабжения за период после принятия на баланс;
 $Z_{\text{рем}}$, $Z_{\text{отк}}$ – время отключения при выводе в ремонт, выводе из эксплуатации элемента системы теплоснабжения за период.

7.2 Определение расчетного объема воды в трубопроводах тепловой сети и системах теплоснабжения

При определении фактического объема воды в ГСИ-трубопроводах средний внутренний диаметр трубопровода $d_{\text{ср.вн}}$, м, с учетом наличия гофр вычисляют по формуле

$$d_{\text{ср.вн}} = ((d_{\text{н}} - 2 \cdot \delta) + d_{\text{вн}}) / 2,$$

где $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр напорной трубы, м;

δ – нормативная толщина стенки трубопровода, м;

$d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр напорной трубы, м.

Пример 1 к 7.2

Системы теплоснабжения и трубопроводы, работающие только в отопительный период, в межотопительный период находятся под избыточным давлением

П.1.1 Исходные данные

П.1.1.1 Система теплоснабжения – закрытая.

П.1.1.2 Расчетный объем воды в трубопроводах водяных тепловых сетей, находящихся в эксплуатации (на балансе), на 1 января текущего года $V_{\text{р.тр}}^{\text{от}} = 10000 \text{ м}^3$.

П.1.1.3 Тепловые сети, работающие только в отопительный период, в межотопительный период находятся под избыточным давлением с расчетным объемом воды $V_{\text{р.тр}}^{\text{от пер.л.изб}} = 2000 \text{ м}^3$.

П.1.1.4 Расчетный объем воды в системах теплоснабжения, имеющих отопительно-вентиляционную нагрузку, находящихся в эксплуатации (на балансе), на 1 января текущего года $V_{\text{р.потр}}^{\text{ов}} = 2000 \text{ м}^3$.

Системы теплоснабжения в межотопительный период находятся под избыточным давлением.

П.1.1.5 В мае и августе планируется отключение на ремонт всех тепловых сетей и систем теплоснабжения на 7 дней.

П.1.1.6 С 1 июня планируется приемка в эксплуатацию тепловых сетей с расчетным объемом воды $V_{\text{р.тр}}^{\text{от б}} = 500 \text{ м}^3$, в т.ч. $V_{\text{р.тр}}^{\text{от пер.}} = 100 \text{ м}^3$ предполагается эксплуатировать только в отопительный период.

До начала отопительного периода объем $V_{\text{р.тр}}^{\text{от пер.}}$ не заполняется сетевой водой.

П.1.1.7 Время работы в отопительный и межотопительный периоды по ТКП 642 (таблица А.1) для г. Гомеля: в апреле – $Z_{\text{от}} = 15$ сут, $Z_{\text{л}} = 15$ сут; в октябре – $Z_{\text{л}} = 9$ сут, $Z_{\text{от}} = 22$ сут.

П.1.2 Расчет объемов воды в системе теплоснабжения

П.1.2.1 Расчетный объем воды в трубопроводах, находящихся в эксплуатации, выводимых в ремонт:

– в мае:

$$V_{\text{р.тр}}^{\text{рем.}} = \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{рем.}} \cdot Z_{\text{рем.}}}{Z_{\text{пер}}} = \frac{8000 \cdot 7}{31} = 1806 \text{ м}^3;$$

– в августе:

$$V_{\text{р.тр}}^{\text{рем.}} = \frac{V_{\text{р.тр}}^{\text{рем.}} \cdot Z_{\text{рем.}}}{Z_{\text{пер}}} = \frac{8400 \cdot 7}{31} = 1897 \text{ м}^3.$$

П.1.2.2 Расчетный объем воды в трубопроводах и системах теплоснабжения, находящихся под избыточным давлением, выводимых в ремонт в мае и августе:

$$V_{\text{р}}^{\text{от пер.изб.рем}} = \frac{V_{\text{р.}}^{\text{отизб.рем}} \cdot Z_{\text{рем.}}}{Z_{\text{пер}}} = \frac{4000 \cdot 7}{31} = 903 \text{ м}^3.$$

Заполнение таблицы К.22 ТКП 642

Месяц	Время периода, Z _{пер} , сутки	Расчетный объем воды, м³								в системах теплоснаб- жения
		в трубопрово- дах водяных тепловых сетей, на- ходящихся в эксплуатации (на балансе), на 1 января текущего года V _{р.тр}	в трубопрово- дах водяных тепловых сетей, вводи- мых в эксплуа- тацию (при- нимаемых на баланс), V _{р.тр}	в трубопрово- дах водяных тепловых сетей, выводимых в ремонт V _{р.тр} ^{г.рем}	в системах теплого- снабжения, и трубопроводах, находящихся под избыточ- ным давлением V _{р.тр.погр} ^{от пер.л. из}	в системах те- плоснабжения, находящихся под давлением, выво- димых в ремонт V _р ^{от пер.л. из}	в трубопрово- дах водяных тепловых сетей, на- ходящихся в эксплуатации за расчетный период V _{р.тр} ^{от}	в системах тепло- снабжения, имею- щих отопи- тельно-вентиля- ционную нагрузку, находящихся в эксплуатации за расчетный пери- од V _{р.погр} ^{от}	в системах те- плоснабжения и трубопроводах, находящихся под давлением за рас- четный период V _{р.погр} ^{от пер.л. из}	
Январь	31	10000					10000	2000		12000
Февраль	28	10000					10000	2000		12000
Март	31	10000					10000	2000		12000
Апрель (от)	15	10000					10000	2000		12000
Апрель (межот)	15	8000			4000		8000		4000	12000
Май	31	8000		1806	4000	903	6194		3097	9291
Июнь	30	8000	400		4000		8400		4000	12400
Июль	31	8000	400		4000		8400		4000	12400
Август	31	8000	400	1897	4000	903	6503		3097	9600
Сентябрь	30	8000	400		4000		8400		4000	12400
Октябрь (межот)	9	8000	400		4000		8400	4000		12400
Октябрь (от)	22	10000	500				10500	2000		12500
Ноябрь	30	10000	500				10500	2000		12500
Декабрь	31	10000	500				10500	2000		12500

П.1.3 Расчет прогнозируемых сезонных норм утечки**П.1.3.1 Расчет на предстоящий год**

$$\sum_{i=1}^z V_{pi}^{от} Z_i^{от} = 12000 \cdot (31 + 28 + 31 + 15) + 12500 \cdot (22 + 30 + 31) = 2297500 \text{ м}^3;$$

$$\sum_{i=1}^z V_{pi}^n Z_i^n = 12000 \cdot 15 + 9291 \cdot 31 + 12400 \cdot (30 + 31) + 9600 \cdot 31 + 12400 \cdot (30 + 9) = 2005621 \text{ м}^3.$$

$$\text{При } \gamma^n = 0,18 \quad \gamma^{от} = 0,25 + (0,25 - 0,18) \cdot \frac{2005621}{2297500} = 0,311.$$

П.1.3.2 Расчет при отмене отключения системы теплоснабжения на ремонт в мае

$$\text{При } \gamma^n = 0,18 \quad \gamma^{от} = 0,25 + (0,25 - 0,18) \cdot \frac{2089600}{2297500} = 0,314.$$

П.1.4 Расчет нормативной утечки теплоносителя**П.1.4.1 Расчет на предстоящий год**

Часовой расход воды с нормативной утечкой для расчетного периода вычисляют по ТКП 642 (формулы (7.10)–(7.14)).

П.1.4.2 Расчет при отмене отключения системы теплоснабжения на ремонт в мае

Часовой расход воды с нормативной утечкой для всей системы теплоснабжения в отопительный период составляет:

– на период с января по апрель:

$$G_{н.ут.}^{пер.от} = 0,314 \cdot 12000 \cdot 10^{-2} = 37,7 \text{ м}^3/\text{ч};$$

– на период с октября по декабрь:

$$G_{н.ут.}^{пер.от} = 0,314 \cdot 12500 \cdot 10^{-2} = 39,3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

П.1.5 Нормируемые тепловые потери с утечкой теплоносителя в системе теплоснабжения за расчетный период**П.1.5.1 Период – октябрь.****П.1.5.2 Межотопительный период**

П.1.5.2.1 Температура теплоносителя: $t_1^{ср.пер} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2^{ср.пер} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{изб}^{ср.пер} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$.

П.1.5.2.2 Температура холодного источника $t_{х.и}^{ср.пер} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

П.1.5.2.3 Плотность теплоносителя:

– утечки из трубопроводов, находящихся в эксплуатации с температурой $0,75t_1^{ср.пер} + 0,25t_2^{ср.пер} = 0,75 \cdot 65 + 0,25 \cdot 40 = 58,8 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\rho_{t_{тр}}^{ср} = 983,8 \text{ кг/м}^3;$$

– утечки из трубопроводов и систем теплоснабжения, находящихся под избыточным давлением:

$$\rho_{t_{изб}}^{ср} = 992,2 \text{ кг/м}^3.$$

П.1.5.2.4 Нормируемые тепловые потери с утечкой по ТКП 642 (формула (7.16)):

$$Q_{ут}^{пер.л} = 4,187 \cdot 216 \cdot (15,1 \cdot 983,8 \cdot (58,8 - 10) + 7,2 \cdot 992,2 \cdot (40 - 10)) \cdot 10^{-6} = 849,5 \text{ ГДж}.$$

П.1.5.3 Отопительный период

П.1.5.3.1 Температура теплоносителя: $t_1^{\text{ср.пер}} = 68\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_2^{\text{ср.пер}} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

П.1.5.3.2 Температура холодного источника $t_{\text{х.и}}^{\text{ср.пер}} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

П.1.5.3.3 Плотность теплоносителя:

– утечки из трубопроводов, находящихся в эксплуатации, с температурой $0,75t_1^{\text{ср.пер}} + 0,25t_2^{\text{ср.пер}} = 0,75 \cdot 68 + 0,25 \cdot 45 = 62,3\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\rho_{t_{\text{тр}}} = 982,2\text{ кг/м}^3;$$

– утечки из систем теплоснабжения с температурой $0,5(t_1^{\text{ср.пер}} + t_2^{\text{ср.пер}}) = 56,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\rho_{t_{\text{потр}}} = 985,5\text{ кг/м}^3.$$

П.1.5.3.4 Нормируемые тепловые потери с утечкой по ТКП 642 (формула (7.15)):

$$Q_{\text{ут}}^{\text{пер.от}} = 4,187 \cdot 528 \cdot (32,7 \cdot 982,2 \cdot (62,3 - 10) + 6,2 \cdot 985,5 \cdot (56,5 - 10)) \cdot 10^{-6} = 4341,6\text{ ГДж}.$$

Заполнение таблицы К.24 ТКП 642

Месяц	Время периода $Z_{\text{пер}}, \text{ч}$	Расчетный объем воды за расчетный период, м^3				Норма часовой утечки, %	Расход теплоносителя с учетом, $\text{м}^3/\text{ч}$			
		в трубопроводах тепловых сетей, находящихся в эксплуатации за расчетный период, $V_{\text{от пер, тр}}$	в системах теплоснабжения, имеющих отопительную вентиляционную нагрузку, находящихся в эксплуатации за расчетный период, $V_{\text{от пер, л}^{\text{нб}}}$	в системах теплоснабжения и трубопроводах, находящихся под избыточным давлением за расчетный период, $V_{\text{от пер, л}^{\text{нб}}}$	в системе теплоснабжения		в системе теплоснабжения $G_{\text{пер, н, ут}}$	в трубопроводах тепловых сетей, находящихся в эксплуатации, $G_{\text{пер, н, ут, тр}}$	в системах теплоснабжения, имеющих отопительную вентиляционную нагрузку, находящихся в эксплуатации, $G_{\text{пер, н, ут, лопр}}$	в системах теплоснабжения и трубопроводах, находящихся под избыточным давлением, $G_{\text{пер, л}^{\text{нб}}}$
Январь	744	10000	2000		12000	0,311	37,3	31,1	6,2	
Февраль	672	10000	2000		12000	0,311	37,3	31,1	6,2	
Март	744	10000	2000		12000	0,311	37,3	31,1	6,2	
Апрель (от)	360	10000	2000		12000	0,311	37,3	31,1	6,2	
Апрель (межот)	360	8000		4000	12000	0,180	21,6	14,4		7,2
Май	744	6194		3097	9291	0,180	16,7	11,1		5,6
Июнь	720	8400		4000	12400	0,180	22,3	15,1		7,2
Июль	744	8400		4000	12400	0,180	22,3	15,1		7,2
Август	744	6503		3097	9600	0,180	17,3	11,7		5,6
Сентябрь	720	8400		4000	12400	0,180	22,3	15,1		7,2
Октябрь (межот)	216	8400		4000	12400	0,18	22,3	15,1		7,2
Октябрь (от)	528	10500	2000		12500	0,311	38,9	32,7	6,2	
Ноябрь	720	10500	2000		12500	0,311	38,9	32,7	6,2	
Декабрь	744	10500	2000		12500	0,311	38,9	32,7	6,2	

Продолжение таблицы К.24

Месяц	Время периода $Z_{\text{пер}}, \text{ч}$	Расход теплоносителя с утечкой, $\text{м}^3/\text{ч}$			Температура теплоносителя, $^{\circ}\text{C}$			Температура холодного источника $t_{\text{х,и}}^{\text{сп.пер}}, ^{\circ}\text{C}$	Плотность теплоносителя, $\text{кг}/\text{м}^3$			Нормируемые тепловые потери с нормативной утечкой теплоносителя в системе теплоснабжения $Q_{\text{ут}}^{\text{пер}}, \text{ГДж}$
		$G_{\text{пер. н.ут. тр.}}$	$G_{\text{пер. н.ут. потр}}$	$G_{\text{пер. л. изб. н.ут.}}$	$t_{\text{1}}^{\text{сп.пер}}$	$t_{\text{2}}^{\text{сп.пер}}$	$t_{\text{изб}}^{\text{сп.пер}}$		$\rho_{t_{\text{тр}}}^{\text{сп}}$	$\rho_{t_{\text{потр}}}^{\text{сп}}$	$\rho_{t_{\text{изб}}}^{\text{сп}}$	
Октябрь (межот)	216	15,1	–	7,2	65	40	40	10	983,8	–	992,2	849,5
Октябрь (от)	528	32,7	6,2	–	68	45	–	10	982,2	985,5	–	4341,6

7.3 Расчет нормируемых тепловых потерь с нормативной утечкой теплоносителя в сетях горячего водоснабжения в закрытой системе теплоснабжения

Под величиной нормативной утечки теплоносителя в сетях ГВС подразумеваются потери горячей воды через неплотности в квартальных сетях ГВС и во внутридомовых системах потребителей.

Утечки горячей воды в сетях ГВС в закрытых системах теплоснабжения не влияют на величину подпитки в таких системах.

Тепловые потери с утечкой горячей воды во внутридомовых системах потребителей рассчитываются при отсутствии приборов учета ГВС у потребителей тепла.

Тепловые потери с утечкой горячей воды в сетях ГВС рассчитываются при отсутствии приборов учета на всю систему ГВС, а при их наличии – для анализа фактических тепловых потерь с утечкой, определенных по разнице показаний прибора учета на всю систему ГВС и суммы показаний приборов учета потребителей тепла.

8 Расчет суммарных нормируемых тепловых потерь трубопроводами тепловых сетей и подключенными к ним системами теплопотребления

Нормируемые тепловые потери в системе теплоснабжения $Q_{\text{норм}}^{\text{пер}}, \text{ГДж}/\text{период}$, складываются из нормируемых тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов $Q_{\text{из}}^{\text{пер}}$ и с нормативной утечкой теплоносителя $Q_{\text{ут}}^{\text{пер}}$.

9 Расчет нормируемых тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции паропроводов и конденсатопроводов

9.1 Определение температурных условий при проектировании тепловой изоляции паропроводов и конденсатопроводов

В соответствии с ТКП 642 (п. 9.1.1) для паропроводов за расчетную температуру теплоносителя следует принимать максимальную температуру пара $t_{\text{н,п}}^{\text{сп.г}}, ^{\circ}\text{C}$, среднюю по длине участка паропровода, определяемую расчетом при максимальном проектном потреблении пара.

Расчетная температура пара, на которую проектировалась тепловая изоляция, должна быть указана в проектной документации. При отсутствии проектных данных средняя температура пара на участке должна определяться расчетом при проектной температуре пара на выходе с теплоисточника и максимальном проектном расходе пара.

9.2 Определение нормируемых термических сопротивлений основного теплоизоляционного слоя паропровода

При определении термических сопротивлений трубопроводов полученные значения не должны быть менее приведенных в таблице Д.1 Пособия.

Расчет температуры пара и нормативных термических сопротивлений проводится по методике, приведенной в ТКП 642 (раздел 10), методом последовательных приближений:

- а) определяются термические сопротивления трубопроводов в первом приближении:
- 1) определяются нормы плотности теплового потока линейной интерполяцией по принятым температурам пара и конденсата (при совместной прокладке в непроходных каналах):
- $q_{\text{нп}}^{\text{подз}}$ для паропровода при проектной температуре пара на выходе с теплоисточника,
 - $q_{\text{нк}}^{\text{подз}}$ для конденсатопровода при 100 °С;
- 2) определяется температура в канале по ТКП 642 (формула (9.1));
- 3) определяется термическое сопротивление трубопроводов по ТКП 642 (формулы (9.2), (9.3));
- б) в соответствии с ТКП 642 (раздел 10) определяется температура пара в конце участка и средняя температура пара на участке;
- в) определяется расчетная плотность теплового потока по ТКП 642 (формулы (9.8), (9.9));
- г) сравниваются расчетные плотности теплового потока по ТКП 642 (формулы (9.8), (9.9)) и нормы плотности теплового потока, определенные в 9.2, перечисление 1). При разнице более 0,1 % расчет повторяется.
- Во втором приближении термические сопротивления трубопроводов определяются по средней температуре пара на участке.

9.3 Расчет нормируемой плотности теплового потока в расчетный период

9.3.1 При соответствующих термических сопротивлениях трубопроводов может получиться отрицательная величина нормируемой плотности теплового потока для конденсатопровода (температура воздуха в канале выше температуры конденсата). Это свидетельствует об отсутствии тепловых потерь конденсатопровода (тепловой поток от воздуха в канале идет на нагрев конденсата). В дальнейших расчетах тепловые потери конденсатопровода принимаются равными нулю. Расход тепла на нагрев конденсата учитывается при определении температурного режима паропровода.

Тепловые потери в окружающую среду определяются суммированием нормируемых тепловых потерь паропровода и конденсатопровода, определенных по ТКП 642 (формула (9.12)).

9.3.2 При отключенном конденсатопроводе (отсутствие конденсата в трубопроводе) температуру воздуха в канале $\tau_{\text{кан}}^{\text{пер}}$, °С вычисляют по формуле

$$\tau_{\text{кан}}^{\text{пер}} = \frac{t_{\text{п}}^{\text{ср.пер}} K_{\text{п}} / R_{\text{норм.п}} + \tau_{\text{гр}}^{\text{ср.пер}} / R_{\text{кан}}}{K_{\text{п}} / R_{\text{норм.п}} + 1 / R_{\text{кан}}}.$$

Пример 1 к 9.3

Канальная прокладка

П.1.1 Характеристика участка паропровода и конденсатопровода

Заполнение таблицы Н.1 ТКП 642

Год выполнения проекта на тепловую изоляцию		Способ прокладки		Наружный диаметр трубопровода d, мм		Толщина стенки трубопровода δ, мм		Длина участка L, м	Сумма коэффициентов местных сопротивлений для паропровода Σζ (или коэффициент местных гидравлических потерь α)
паропровод	конденсатопровод	паропровод	конденсатопровод	паропровод	конденсатопровод	паропровод	конденсатопровод		
До 1990		Непр. канал.		426	133	9	4	970	10

П.1.2 Характеристика канала подземной прокладки

Расчетные характеристики канала определяются по ТКП 642 (формулы (6.1)–(6.5)).

Заполнение таблицы Н.2 ТКП 642

Глубина заложения верха перекрытия H_k , м	Высота канала h , м	Ширина канала b , м	Толщина перекрытия $\delta_{пер}$, м	Расчетное заглубление канала H , м	Приведенное заглубление канала $H_{прив}$, м	Термическое сопротивление канала $R_{кан}$, $м \cdot ^\circ C / Вт$
1,0	0,9	2,4	0,125	1,575	не рассчит., т.к. $H_k > 0,7$ м	0,146191

П.1.3 Расчет нормируемых термических сопротивлений паропровода и конденсатопровода при проектных условиях

П.1.3.1 Информация по проектной температуре пара, на которую проектировалась тепловая изоляция, отсутствует.

Проектная температура пара определяется расчетом при проектной температуре пара на выходе с теплоисточника и максимальном проектном расходе пара.

Исходные данные для расчета:

- проектная температура пара на выходе с теплоисточника – 240 °С;
- проектная температура конденсата – 100 °С;
- максимальный проектный расход пара – 60 т/ч (16,7 кг/с);
- проектное абсолютное давление пара на выходе с теплоисточника – 0,6 МПа;
- среднегодовая температура грунта – 9,3 °С;
- коэффициент местных тепловых потерь – 1,2;
- коэффициент испытаний – $K = 1$ (не проводились).

П.1.3.2 Заполнение таблицы Н.3 ТКП 642

Расход пара на участке, т/ч	Температура пара, °С		Давление пара, МПа		Температура окружающей трубопровод среды, °С	Норма плотности теплового потока qн, Вт/м	Нормативное термическое сопротивление изоляционного слоя Rнорм.п, м·°С/Вт	Коэффициент испытаний Kп = Rнорм.п / Rфакт.п
	начало участка	конец участка	начало участка	конец участка				
60	240	230,1	0,6	0,415	61,6 (канал)	287,8	0,602527	1,0
–	100		–			69,8	0,550511	1,0

П.1.3.3 Режим паропровода при отключенном конденсатопроводе при нормативном сопротивлении паропровода и проектных параметрах пара на теплоисточнике:

- температура пара в конце участка – 229,7 °С.
- расчетная плотность теплового потока паропровода – 301,2 Вт/м.

П.1.4 Расчет нормируемых тепловых потерь паропровода и конденсатопровода за расчетный период

П.1.4.1 Расход пара на участке – 5 т/ч (1,39 кг/с).

П.1.4.2 Давление пара в начале участка – 0,6 МПа, в конце участка – 0,6 МПа. Температура насыщения пара при 0,6 МПа – 158,8 °С.

П.1.4.3 Температура грунта – 9,3 °С.

П.1.4.4 Температура пара в начале участка – 240 °С, температура конденсата – 70 °С.

П.1.4.5 Число часов работы – 744.

Заполнение таблицы Н.4 ТКП 642

Расход пара на участке, т/ч	Температура пара, °С		Давление пара, МПа		Температура окружающей трубопровод среды, °С	Нормируемая плотность теплового потока q _n , Вт/м	Коэффициент местных тепловых потерь β	Число часов работы Z _{пер}	Нормируемые тепловые потери, ГДж
	начало участка	конец участка	начало участка	конец участка					
5	240	158,8	0,6	0,599	50,5 (канал)	246,8	1,2	744	682,2
	Перегретый пар – 830 м					35,3	1,2		97,6
–	70								
5	158,8	158,8	0,599	0,598	44,0 (канал)	190,5	1,2		85,7
	Влажный пар – 140 м					47,2	1,2		21,2
–	70								
Итого	паропровод								767,9
	конденсатопровод								118,8

Приложение А
(справочное)

**Метеостанции для определения температуры наружного воздуха и грунта
для теплоисточников ГПО «Белэнерго»**

**Таблица А.1 – Соответствие населенных пунктов теплоисточников и метеостанций
для определения температуры наружного воздуха и грунта**

Населенный пункт теплоисточника	Метеостанции для определения температуры грунта	Метеостанции для определения температуры наружного воздуха
Барановичи	Новогрудок	Барановичи
Белоозерск	Пинск	Ивацевичи
Бобруйск	Марьина Горка	Бобруйск
Борисов	Минск	Борисов
Брест	Брест	Брест
Витебск	Горки	Витебск
Гомель	Гомель	Гомель
Гродно	Новогрудок	Гродно
Жлобин	Гомель	Жлобин
Жодино	Минск	Борисов
Костюковичи	Горки	Костюковичи
Лида	Новогрудок	Лида
Минск	Минск	Минск
Могилев	Горки	Могилев
Мозырь	Гомель	Мозырь
Молодечно	Минск	Вилейка
Новолукомль	Березинский заповедник	Лепель
Новополоцк	Верхнедвинск	Полоцк
Ореховск	Горки	Орша
Орша	Горки	Орша
Пинск	Пинск	Пинск
Полоцк	Верхнедвинск	Полоцк
Речица	Гомель	Василевичи
Рогачев	Гомель	Жлобин
Руденск	Марьина Горка	Марьина Горка
Светлогорск	Гомель	Жлобин

Примечание – Если в проектной документации на тепловые сети указаны данные, отличные от приведенных в таблице, то следует использовать данные из проектной документации.

Приложение Б (справочное)

Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность при подземной прокладке

Таблица Б.1 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов горячего водоснабжения и циркуляционных при бесканальной прокладке и прокладке в непроходных каналах, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года

Наружный диаметр трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С	
	50	60
18	12,8	15,9
21	13,7	16,9
25	15,0	18,3
27	15,7	19,0
32	17,2	21,3
34	17,8	21,3
38	19,2	22,7
42	20,2	23,9
45	20,9	24,8
48	21,9	25,7
57	24,4	28,3
76	29,1	33,8
89	32,6	37,2
108	36,1	41,5
114	37,2	42,6
133	40,7	46,1
159	44,2	49,6
194	48,8	55,8
219	53,5	59,7
273	61,6	69,4
325	69,8	79,9
377	82,6	91,9
426	95,4	106,2
478	103,5	115,2
529	110,5	122,1
630	121,0	134,1
720	133,7	147,7
820	157,0	172,5

Таблица Б.2 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке и прокладке в непроходных каналах, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года

Наружный диаметр трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки
60	71,8		71,8/50	76,4		76,4/50		80,9		80,9/50
18	21,8	25,9	43,8	27,4		45,3		28,9		46,8
21	23,0	27,1	46,2	28,6		47,7		30,1		49,2
25	24,5	28,6	49,2	30,1		50,7		31,6		52,2
27	25,3	29,4	50,8	30,9		52,3		32,4		53,8
32	27,2	31,3	54,6	32,8		56,1		34,3		57,6
34	28,0	32,1	56,2	33,6		57,7		35,1		59,2
38	29,5	33,6	59,2	35,1		60,7		36,6		62,2
42	30,4	34,6	61,1	36,2		62,7		37,8		64,3
45	31,1	35,4	62,6	37,1		64,3		38,7		65,9
48	31,8	36,2	64,1	37,9		65,8		39,6		67,5
57	33,8	38,9	68,0	40,8		69,9		42,7		71,8
76	38,4	43,9	77,6	46,0		79,7		48,1		81,8
89	41,5	47,7	83,8	50,0		86,1		52,3		88,4
108	45,7	52,6	92,1	55,2		94,7		57,7		97,2
114	47,0	54,1	94,7	56,7		97,3		59,3		99,9
133	51,2	58,8	103,0	61,6		105,8		64,3		108,5
159	56,6	64,6	113,4	67,4		116,2		70,1		118,9
219	67,8	77,5	136,8	81,1		140,4		84,7		144,0
273	79,1	89,4	159,2	93,3		163,1		97,1		166,9
325	89,2	100,2	179,3	104,3		183,4		108,3		187,4
377	99,3	110,1	198,5	113,7		202,1		117,2		205,6
426	108,2	121,7	217,1	126,5		221,9		131,2		226,6
478	118,6	132,8	238,6	138,0		243,9		143,1		249,0
529	129,4	143,4	260,9	148,9		266,4		154,3		271,8
630	147,9	164,8	297,4	171,1		303,7		177,2		309,8
720	164,3	183,8	329,2	190,5		335,9		197,1		342,5
820	183,9	204,4	368,4	211,5		375,5		218,5		382,5
920	202,8	224,7	405,0	232,0		412,3		239,1		419,4
1020	222,0	246,3	444,0	254,6		452,3		262,7		460,4

Таблица Б.3 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года

Наружный диаметр трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки
	60	71,8	71,8/50	76,4	76,4/50	80,9	80,9/50	85,5	85,5/50	
15	9,0	11,5	18,0	12,4	18,8	13,3	19,6	14,2	20,3	
20	9,5	12,0	19,0	12,9	19,8	13,8	20,6	14,7	21,3	
25	10,0	12,5	20,0	13,4	20,8	14,3	21,6	15,2	22,3	
32	10,7	13,2	21,4	14,1	22,2	15,0	23,0	15,9	23,7	
40	11,4	14,1	23,0	15,2	23,9	16,2	24,8	17,2	25,7	
50	12,6	15,5	25,1	16,6	26,0	17,6	26,9	18,6	27,8	
65	14,5	18,2	29,2	19,6	30,5	21,0	31,8	22,4	33,0	
80	15,6	19,6	31,3	21,0	32,6	22,4	33,9	23,8	35,1	
100	17,5	22,1	35,0	23,7	36,4	25,4	37,8	27,1	39,2	
125	19,4	23,8	37,9	25,2	39,0	26,6	40,0	28,0	41,0	
150	20,1	24,7	39,5	26,2	40,7	27,7	41,8	29,3	43,0	
200	24,5	30,2	48,1	32,1	49,4	34,0	50,7	35,9	51,9	
250	28,0	35,1	55,2	37,6	57,0	40,0	58,7	42,4	60,5	
300	31,0	38,8	61,0	41,4	62,9	43,9	64,8	46,5	66,7	
350	34,3	42,3	66,9	44,9	68,5	47,4	70,2	50,0	71,9	
400	35,9	45,2	70,8	48,3	73,3	51,3	75,7	54,4	78,1	
450	41,3	51,9	80,6	55,2	83,1	58,5	85,5	61,8	87,9	
500	42,0	53,3	83,0	57,2	86,1	61,0	89,1	64,8	92,2	
600	48,5	61,0	94,3	64,9	97,0	68,7	99,6	72,5	102,4	
700	54,4	69,3	105,6	74,1	108,8	78,8	111,9	83,5	115,2	
800	60,7	77,6	116,8	82,8	120,0	87,8	123,1	93,0	126,4	
900	64,9	82,8	126,7	88,6	130,9	94,2	135,1	100,0	139,3	
1000	71,2	89,7	136,7	95,0	140,2	100,2	143,6	105,4	147,1	
1200	85,6	108,6	161,1	113,9	164,4	119,1	167,7	124,3	171,0	
1400	90,1	117,4	172,2	124,9	177,8	132,2	183,4	139,7	189,1	
Примечание – Нормы плотности теплового потока для тепловых сетей, сооруженных по проектам, выполненным с 1990 года до 1 июля 1995 года, определяются делением норм, приведенных в таблице Б.3 Пособия, на коэффициент 0,7.										

Таблица Б.4 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки
60	71,8		71,8/50	76,4		76,4/50	80,9		80,9/50	85,5/50
15	10,2	13,1	20,3	14,2		21,2	15,2		22,1	23,0
20	10,7	13,6	21,3	14,7		22,2	15,7		23,1	24,0
25	11,2	14,1	22,3	15,2		23,2	16,2		24,1	25,0
32	11,9	14,8	23,7	15,9		24,6	16,9		25,5	26,4
40	13,1	16,2	25,8	17,3		26,7	18,3		27,6	28,5
50	13,8	17,5	27,8	18,9		29,1	20,3		30,4	31,6
65	17,0	21,0	33,7	22,4		34,8	23,8		35,8	36,8
80	18,2	22,6	36,0	24,1		37,2	25,6		38,3	39,5
100	20,5	25,6	40,4	27,2		41,7	28,9		43,0	44,2
125	21,2	26,7	42,2	28,6		43,7	30,5		45,2	46,8
150	23,8	29,6	47,1	31,7		48,6	33,7		50,1	51,7
200	29,6	37,0	57,8	39,3		59,4	41,6		61,1	62,8
250	33,4	42,0	65,3	44,8		67,4	47,6		69,4	71,5
300	38,3	48,2	74,6	51,4		76,8	54,5		79,0	81,2
350	42,0	52,4	81,3	55,6		83,2	58,7		85,1	87,0
400	46,4	59,5	90,5	63,7		93,4	67,9		96,3	99,3
450	47,4	60,6	93,0	65,1		96,2	69,5		99,3	102,6
500	53,7	68,8	104,5	73,7		108,0	78,5		111,4	114,9
600	59,3	76,6	114,7	82,0		118,5	87,3		122,1	125,8
700	64,6	85,6	126,6	92,8		131,8	99,8		136,8	142,0
800	77,5	100,7	146,5	107,3		150,0	113,7		153,4	156,9
900	81,9	106,5	155,6	113,2		160,0	119,8		164,2	168,6
1000	89,1	115,3	166,3	121,4		169,9	127,3		173,5	177,1
1200	106,4	143,2	199,6	152,5		206,3	161,6		212,9	219,5
1400	116,2	158,0	217,0	168,3		224,6	178,4		232,1	239,7
Примечание – Нормы плотности теплового потока для тепловых сетей, сооруженных по проектам, выполненным с 1990 года до 1 июля 1995 года, определяются делением норм, приведенных в таблице Б.4 Пособия, на коэффициент 0,7.										

Таблица Б.5 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки
	60	71,8	71,8/50	76,4	76,4/50	80,9	80,9/50	85,5	85,5/50	
15	7,3	8,5	14,5	8,9	14,9	9,3	15,3	9,6	15,6	
20	8,3	9,8	16,8	10,4	17,4	10,9	17,9	11,5	18,5	
25	10,0	12,4	20,1	13,3	20,8	14,2	21,5	15,1	22,3	
32	10,7	13,1	21,1	13,8	21,8	14,5	22,5	15,3	23,3	
40	11,0	13,6	22,4	14,7	23,3	15,8	24,2	16,9	25,1	
50	12,7	15,4	25,1	16,3	25,8	17,2	26,5	18,1	27,3	
65	14,3	17,9	28,6	19,2	29,7	20,5	30,8	21,7	31,9	
80	15,3	18,9	30,6	20,2	31,7	21,5	32,8	22,7	33,9	
100	17,0	21,4	34,2	23,1	35,6	24,7	37,1	26,4	38,6	
125	18,7	22,9	36,4	24,2	37,3	25,5	38,2	26,7	39,1	
150	19,7	24,2	38,6	25,6	39,7	27,1	40,8	28,6	41,9	
200	23,3	28,7	45,9	30,6	47,2	32,4	48,5	34,2	49,7	
250	26,7	33,5	52,7	35,9	54,6	38,3	56,4	40,7	58,2	
300	29,3	36,8	58,0	39,4	60,0	41,9	62,0	44,5	64,0	
350	33,0	40,5	64,2	42,9	65,6	45,3	67,1	47,7	68,6	
400	34,7	43,4	68,3	46,3	70,5	49,2	72,6	52,1	74,8	
450	39,7	49,6	77,3	52,8	79,5	55,8	81,6	58,9	83,8	
500	40,7	51,2	80,1	54,7	82,8	58,1	85,5	61,6	88,3	
600	46,3	58,4	90,1	62,1	92,8	65,7	95,5	69,4	98,3	
700	51,7	65,8	100,6	70,4	103,8	74,9	106,8	79,5	109,9	
800	58,0	74,1	111,4	78,9	114,3	83,5	117,2	88,3	120,1	
900	62,0	78,6	120,4	83,8	124,1	88,8	127,7	94,0	131,4	
1000	68,0	85,1	130,4	89,9	133,3	94,5	136,2	99,3	139,1	
1200	81,0	102,3	152,6	107,3	155,8	112,2	158,8	117,1	161,9	
1400	85,7	111,6	164,2	118,8	169,7	125,8	175,1	133,0	180,6	

Таблица Б.6 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки
60	71,8	76,4	71,8/50	76,4	76,4/50	80,9	80,9/50	85,5	85,5/50	85,5/50
15	7,0	9,1	14,1	9,8	14,8	10,5	15,5	11,3	16,3	
20	8,0	10,4	16,4	11,3	17,3	12,2	18,2	13,1	19,1	
25	10,7	13,6	21,6	14,7	22,7	15,8	23,8	16,9	24,9	
32	11,7	14,4	23,1	15,3	23,8	16,2	24,5	17,1	25,3	
40	12,7	15,6	25,4	16,7	26,3	17,8	27,2	18,9	28,1	
50	13,3	16,9	26,9	18,2	28,2	19,5	29,5	20,7	30,7	
65	16,3	19,9	32,4	21,2	33,3	22,5	34,2	23,7	35,1	
80	18,0	21,9	35,4	23,2	36,3	24,5	37,2	25,7	38,1	
100	19,7	24,4	38,9	26,1	40,2	27,7	41,5	29,4	42,7	
125	20,7	25,7	41,2	27,6	42,6	29,4	44,1	31,2	45,6	
150	22,7	28,0	45,2	30,0	46,6	32,0	48,1	34,0	49,6	
200	28,3	35,3	55,4	37,5	57,1	39,6	58,7	41,8	60,4	
250	31,7	39,8	62,0	42,4	64,0	44,9	66,0	47,5	68,0	
300	36,3	45,6	71,0	48,8	73,0	51,8	75,0	54,9	77,0	
350	39,7	49,4	76,7	52,3	78,6	55,2	80,4	58,1	82,2	
400	43,7	56,0	85,4	60,0	88,3	64,0	91,2	68,0	94,1	
450	45,0	57,3	88,4	61,5	91,3	65,6	94,2	69,9	97,1	
500	50,7	64,8	98,9	69,4	102,2	73,9	105,4	78,5	108,8	
600	56,3	72,3	108,9	77,3	112,2	82,2	115,4	87,1	118,8	
700	61,3	80,8	119,8	87,4	124,4	93,9	128,9	100,5	133,5	
800	73,3	95,0	138,6	101,0	141,8	107,0	144,8	113,1	147,9	
900	77,3	100,2	147,0	106,5	151,0	112,6	155,0	118,9	159,0	
1000	84,0	108,4	156,9	114,1	160,2	119,7	163,4	125,4	166,8	
1200	100,3	134,8	188,2	143,4	194,5	151,9	200,6	160,5	206,9	
1400	109,3	148,4	204,6	158,2	211,8	167,7	218,8	177,5	226,0	

Таблица Б.7 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки
	60	71,8	71,8/50	76,4	76,4/50	76,4/50	80,9	80,9/50	85,5	85,5/50
15	22,2	26,3	44,2	27,8	45,6	29,2	46,9	30,6	48,3	
20	23,2	27,6	46,4	29,1	47,8	30,6	49,2	32,1	50,6	
25	24,3	28,8	48,6	30,4	50,0	32,0	51,5	33,6	53,0	
32	25,8	30,6	51,6	32,3	53,2	34,0	54,7	35,7	56,3	
40	27,5	32,6	55,0	34,5	56,7	36,3	58,3	38,2	60,0	
50	29,6	35,0	59,4	37,1	61,2	39,1	62,9	41,2	64,7	
65	33,1	39,3	66,2	41,5	68,3	43,6	70,3	45,8	72,4	
80	33,9	40,1	67,8	42,3	69,9	44,4	71,9	46,6	74,0	
100	36,3	42,7	72,4	45,0	74,3	47,3	76,2	49,7	78,1	
125	39,2	46,5	78,9	49,3	81,4	52,1	83,8	54,9	86,4	
150	44,3	52,4	88,5	55,3	91,0	58,2	93,4	61,1	96,0	
200	48,5	57,8	97,4	61,2	100,5	64,5	103,5	67,9	106,6	
250	53,1	62,8	106,0	66,4	108,9	69,8	111,8	73,3	114,7	
300	57,9	68,9	115,4	72,7	118,8	76,4	122,1	80,3	125,5	
350	63,2	74,7	125,6	78,6	128,8	82,5	132,0	86,5	135,2	
400	66,7	79,3	132,6	83,7	136,3	88,1	139,9	92,5	143,6	
450	70,9	84,6	141,1	89,3	145,0	93,9	148,9	98,6	152,9	
500	76,8	91,2	152,3	96,0	156,2	100,8	160,1	105,6	164,1	
600	85,6	102,1	170,2	107,8	174,9	113,4	179,5	119,2	184,2	
700	92,0	110,4	183,3	116,9	188,7	123,2	194,0	129,7	199,5	
800	101,9	122,0	201,7	128,8	207,1	135,4	212,4	142,2	217,9	
Примечания										
1 Нормы плотности теплового потока для тепловых сетей, сооруженных по проектам, выполненным с 1990 года до 1 июля 1995 года, определяются делением норм, приведенных в таблице Б.7 Пособия, на коэффициент 0,8.										
2 При применении в качестве теплоизоляционного слоя пенополиуретана, фенольного поропласта ФЛ, полимербетона значения норм плотности теплового потока следует определять с учетом коэффициента $K_{г1}$ в соответствии с таблицей Б.8 ТКП 642.										

Таблица Б.8 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки
60	71,8		71,8/50	76,4		76,4/50	80,9		80,9/50	85,5/50
15	23,9	28,5	47,7	30,0		49,2	31,5		50,6	52,0
20	25,2	29,9	50,3	31,6		51,8	33,2		53,3	54,8
25	26,4	31,4	52,8	33,2		54,4	34,9		56,0	57,6
32	28,1	33,5	56,4	35,4		58,1	37,3		59,8	61,5
40	30,1	35,8	60,4	37,9		62,3	40,0		64,1	66,0
50	32,5	38,7	65,4	41,0		67,5	43,3		69,5	71,6
65	36,8	43,7	73,7	46,2		75,9	48,6		78,0	80,2
80	37,6	44,7	75,5	47,4		77,8	50,0		80,1	82,5
100	40,5	48,1	81,3	50,9		83,8	53,7		86,2	88,8
125	44,8	53,2	89,5	56,1		92,2	59,0		94,8	97,4
150	50,7	60,0	100,9	63,2		103,7	66,4		106,5	109,3
200	56,8	66,8	112,9	70,4		115,7	73,8		118,5	121,3
250	61,1	72,5	122,0	76,6		125,6	80,6		129,0	132,5
300	66,9	79,5	133,7	84,1		137,5	88,6		141,2	145,1
350	73,9	87,8	146,5	92,5		150,3	97,1		154,0	157,9
400	78,9	93,4	155,8	98,1		159,5	102,7		163,1	166,8
450	84,8	100,4	167,5	105,6		171,4	110,6		175,3	179,3
500	89,9	107,1	178,2	113,0		182,9	118,8		187,5	192,2
600	102,1	122,0	202,5	128,8		207,9	135,4		213,2	218,7
700	113,1	135,0	222,0	141,9		227,2	148,7		232,2	237,4
800	122,7	147,6	242,4	156,0		248,9	164,2		255,2	261,7

Примечания

- 1 Нормы плотности теплового потока для тепловых сетей, сооруженных по проектам, выполненным с 1990 года до 1 июля 1995 года, определяются делением норм, приведенных в таблице Б.7 Пособия, на коэффициент 0,8.
- 2 При применении в качестве теплоизоляционного слоя пенополиуретана, фенольного поропласта ФЛ, полимербетона значения норм плотности теплового потока следует определять с учетом коэффициента $K_{г1}$ в соответствии с таблицей Б.10 ТКП 642.

Таблица Б.9 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года до 16 марта 2018 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки
	60	71,8	71,8/50	76,4	76,4/50	80,9	80,9/50	85,5	85,5/50	85,5/50
15	20,0	24,4	41,0	26,1	43,0	27,7	45,0	29,4	47,0	47,0
20	22,0	26,4	43,7	28,1	45,6	29,7	47,4	31,4	49,2	49,2
25	23,0	27,4	46,4	29,1	48,1	30,7	49,7	32,4	51,4	51,4
32	25,0	29,4	50,2	31,1	51,6	32,7	53,1	34,4	54,6	54,6
40	26,0	30,7	52,4	32,6	54,1	34,4	55,7	36,2	57,4	57,4
50	28,7	33,7	57,2	35,6	58,6	37,4	60,1	39,2	61,6	61,6
65	31,3	37,3	63,0	39,5	65,0	41,6	67,0	43,8	69,0	69,0
80	32,3	38,0	64,7	40,0	66,6	42,0	68,4	44,0	70,2	70,2
100	34,3	40,3	68,7	42,5	70,6	44,6	72,4	46,8	74,2	74,2
125	37,0	44,1	74,8	46,8	77,4	49,5	79,9	52,3	82,5	82,5
150	42,3	50,1	84,5	52,8	86,9	55,5	89,3	58,3	91,7	91,7
200	46,0	54,6	92,4	57,8	95,3	60,8	98,2	63,9	101,1	101,1
250	50,7	59,9	101,1	63,2	103,8	66,4	106,5	69,8	109,3	109,3
300	55,0	65,2	109,6	68,7	112,8	72,1	115,8	75,6	118,9	118,9
350	59,7	70,4	118,6	74,1	121,8	77,7	124,8	81,4	127,9	127,9
400	63,3	75,3	126,2	79,5	129,7	83,6	133,1	87,9	136,6	136,6
450	67,0	79,8	133,7	84,4	137,6	88,9	141,4	93,5	145,2	145,2
500	73,0	86,5	144,4	90,9	148,1	95,3	151,7	99,7	155,4	155,4
600	81,3	96,9	161,5	102,2	165,9	107,4	170,3	112,8	174,7	174,7
700	87,7	105,0	174,3	111,0	179,3	117,0	184,2	123,1	189,1	189,1
800	96,3	115,5	190,9	122,0	196,2	128,3	201,4	134,7	206,8	206,8
900	104,3	124,5	205,3	131,0	210,3	137,3	215,2	143,7	220,1	220,1
1000	111,7	133,9	220,4	141,2	226,1	148,4	231,7	155,8	237,4	237,4
1200	126,7	152,2	249,5	160,5	256,0	168,6	262,3	176,9	268,7	268,7
1400	142,3	171,9	279,9	181,3	287,2	190,4	294,4	199,8	301,8	301,8

Таблица Б.10 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года до 16 марта 2018 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки
60	71,8	76,4	71,8/50	76,4	76,4/50	80,9	80,9/50	85,5	85,5/50	
15	23,7	28,4	47,4	30,1	49,1	31,7	50,7	33,4	52,4	
20	24,7	29,4	49,4	31,1	51,1	32,7	52,7	34,4	54,4	
25	25,7	30,4	51,2	32,1	52,6	33,7	54,1	35,4	55,6	
32	26,7	31,7	53,4	33,6	55,1	35,4	56,7	37,2	58,4	
40	28,0	33,3	57,0	35,5	59,0	37,6	61,0	39,8	63,0	
50	31,3	37,3	62,7	39,5	64,6	41,6	66,4	43,8	68,2	
65	35,0	41,5	70,3	43,9	72,5	46,3	74,6	48,7	76,8	
80	36,0	42,5	72,0	44,9	74,0	47,3	76,0	49,7	78,0	
100	38,7	45,8	77,5	48,4	79,9	50,9	82,3	53,5	84,7	
125	42,3	50,1	84,5	52,8	86,9	55,5	89,3	58,3	91,7	
150	48,0	56,6	95,8	59,8	98,4	62,8	100,9	65,9	103,5	
200	53,7	62,9	106,8	66,2	109,4	69,4	111,9	72,8	114,5	
250	58,0	68,7	115,9	72,6	119,2	76,4	122,4	80,2	125,8	
300	63,3	75,3	126,2	79,5	129,7	83,6	133,1	87,9	136,6	
350	69,7	82,5	138,2	86,9	141,7	91,3	145,1	95,7	148,6	
400	75,0	88,5	147,9	92,9	151,2	97,3	154,4	101,7	157,8	
450	80,3	95,1	158,4	99,9	162,1	104,5	165,7	109,3	169,4	
500	85,0	101,2	168,5	106,7	172,9	112,1	177,3	117,6	181,7	
600	96,7	115,2	191,3	121,5	196,3	127,6	201,2	133,9	206,1	
700	107,0	127,5	209,8	134,0	214,4	140,3	218,9	146,7	223,5	
800	115,3	138,7	228,0	146,6	234,0	154,3	240,0	162,3	246,1	
900	125,0	150,2	246,0	158,5	252,0	166,6	258,0	174,9	264,1	
1000	135,0	162,9	266,3	172,3	273,3	181,4	280,2	190,8	287,2	
1200	154,3	187,0	303,7	197,9	311,6	208,5	319,3	219,4	327,3	
1400	173,7	211,2	341,1	223,6	349,9	235,6	358,5	247,9	367,4	

Таблица Б.11 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 16 марта 2018 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки
	60	71,8	71,8/50	76,4	76,4/50	80,9	80,9/50	85,5	85,5/50	
15	7,7	9,5	14,5	9,9	14,9	10,3	15,3	10,6	15,6	
20	9,7	11,5	18,5	11,9	18,9	12,3	19,3	12,6	19,6	
25	11,7	13,5	23,1	13,9	23,8	14,3	24,5	14,6	25,3	
32	13,0	15,1	26,4	15,8	27,3	16,5	28,2	17,3	29,1	
40	15,3	18,1	30,6	18,8	31,7	19,5	32,8	20,3	33,9	
50	17,3	20,4	34,6	21,3	35,7	22,2	36,8	23,1	37,9	
65	21,0	25,4	42,7	27,1	44,6	28,7	46,4	30,4	48,2	
80	23,0	27,4	46,2	29,1	47,6	30,7	49,1	32,4	50,6	
100	24,7	29,4	49,2	31,1	50,6	32,7	52,1	34,4	53,6	
125	25,7	31,8	52,3	34,4	54,5	36,9	56,6	39,5	58,8	
150	30,0	37,8	59,3	40,4	61,5	42,9	63,6	45,5	65,8	
200	35,0	44,2	70,6	47,7	73,8	51,1	76,8	54,6	79,9	
250	36,0	45,4	72,9	49,1	76,2	52,7	79,4	56,4	82,8	
300	41,3	51,2	82,9	54,7	86,2	58,1	89,4	61,6	92,8	
350	47,7	59,7	94,2	63,6	97,7	67,4	101,1	71,2	104,6	
400	49,3	61,0	98,4	65,0	102,1	69,0	105,7	73,0	109,4	
500	53,0	65,3	107,5	70,3	111,9	75,2	116,3	80,1	120,7	
600	58,3	71,5	115,4	75,9	119,1	80,3	122,7	84,7	126,4	
700	63,3	77,3	126,8	82,3	131,4	87,2	135,9	92,1	140,5	
800	72,0	88,2	143,3	93,7	148,3	99,1	153,2	104,6	158,1	
900	80,0	98,4	158,2	104,1	163,7	109,7	169,1	115,4	174,6	
1000	88,7	108,7	174,4	114,6	180,1	120,4	185,7	126,2	191,4	

Таблица Б.12 – Нормы линейной плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов двухтрубных водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 16 марта 2018 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, для трубопроводов при расчетной температуре теплоносителя, °С									
	подающий	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	подающий	суммарно для двухтрубной прокладки	суммарно для двухтрубной прокладки
	60	71,8	71,8/50	76,4	76,4/50	80,9	80,9/50	85,5	85,5/50	
15	10,3	12,0	19,8	12,0	20,4	12,0	20,9	12,0	21,5	
20	11,7	13,3	22,8	13,5	23,4	13,6	23,9	13,8	24,5	
25	12,7	14,5	25,1	14,9	25,8	15,3	26,5	15,6	27,3	
32	14,0	16,1	28,4	16,8	29,3	17,5	30,2	18,3	31,1	
40	16,3	19,1	32,6	19,8	33,7	20,5	34,8	21,3	35,9	
50	18,3	21,4	36,6	22,3	37,7	23,2	38,8	24,1	39,9	
65	23,7	28,4	47,7	30,1	49,6	31,7	51,4	33,4	53,2	
80	25,7	30,7	51,4	32,6	53,1	34,4	54,7	36,2	56,4	
100	28,3	33,7	56,4	35,6	58,1	37,4	59,7	39,2	61,4	
125	29,3	36,4	59,8	39,3	62,4	42,2	64,9	45,1	67,5	
150	35,3	44,1	69,5	46,8	71,9	49,5	74,3	52,3	76,7	
200	41,3	51,7	82,9	55,6	86,2	59,4	89,4	63,2	92,8	
250	43,0	54,0	86,2	58,0	89,7	62,0	93,1	66,0	96,6	
300	49,3	61,0	98,4	65,0	102,1	69,0	105,7	73,0	109,4	
350	56,7	70,8	112,0	75,4	116,0	79,9	120,0	84,5	124,0	
400	59,3	73,1	118,3	77,9	122,5	82,5	126,6	87,3	130,9	
500	64,0	78,7	129,6	84,6	134,8	90,4	139,8	96,2	145,0	
600	71,0	86,9	140,5	92,2	144,9	97,4	149,3	102,8	153,7	
700	77,0	94,0	154,2	100,0	159,7	106,0	165,1	112,1	170,6	
800	88,3	108,1	176,5	114,9	183,0	121,5	189,3	128,3	195,7	
900	99,3	122,3	196,1	129,3	202,9	136,2	209,5	143,2	216,3	
1000	109,0	133,9	214,6	141,2	221,8	148,4	228,8	155,8	236,0	

Таблица Б.13 – Расчетная линейная плотность теплового потока через изолированную поверхность для одиночного трубопровода водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах ПИ-трубами, выполненных в соответствии с СТБ 2252

Наружный диаметр трубопровода, мм	Высота канала, м	Ширина канала, м	Номинальный наружный диаметр трубы-оболочки из ПЭ, мм	Термическое сопротивление канала, м ² ·°C/Вт	Термическое сопротивление трубопровода, м ² ·°C/Вт	Расчетные нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, 90 °C
32	0,45	0,9	90	0,215503	5,06537	16,1
33,5	0,45	0,9	90	0,215503	4,84444	16,8
38	0,45	0,9	110	0,215503	5,16583	15,8
42,3	0,45	0,9	110	0,215503	4,64881	17,5
45	0,45	0,9	110	0,215503	4,35039	18,6
48	0,45	0,9	110	0,215503	4,03913	20,0
57	0,45	0,9	125	0,215503	3,82284	21,0
60	0,45	0,9	125	0,215503	3,57546	22,4
75,5	0,45	0,9	140	0,215503	3,01050	26,3
76	0,45	0,9	140	0,215503	2,94531	26,9
88,5	0,45	0,9	160	0,215503	2,85572	27,7
89	0,45	0,9	160	0,215503	2,82854	27,9
108	0,45	1,2	200	0,198231	2,95844	26,9
114	0,45	1,2	200	0,198231	2,69768	29,4
133	0,45	1,2	225	0,198231	2,51180	31,4
140	0,45	1,2	225	0,198231	2,26441	34,5
159	0,45	1,5	250	0,186763	2,14669	36,4
165	0,45	1,5	250	0,186763	1,96805	39,4
219	0,6	1,5	315	0,175298	1,69297	45,5
273	0,6	1,8	400	0,166487	1,77476	43,8
325	0,9	1,8	450	0,152512	1,50560	51,3
377	0,9	1,8	500	0,152512	1,29167	58,9
426	0,9	2,1	560	0,145562	1,24190	61,3
530	1,0	2,4	710	0,145267	1,32000	58,0
630	1,1	2,4	800	0,142750	1,05746	70,8
720	1,2	3,0	900	0,130590	0,97695	76,7
820	1,3	3,1	1000	0,127484	0,85514	86,5
920	1,5	3,3	1100	0,121462	0,75512	97,0
1020	1,6	3,5	1200	0,117621	0,67624	107,1

**Таблица Б.14 – Расчетная линейная плотность теплового потока через изолированную поверхность
одиночного трубопровода водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке
ПИ-трубопроводами, выполненных в соответствии с СТБ 2252**

Наружный диаметр трубопровода, мм	Номинальный наружный диаметр трубы-оболочки из ПЭ, мм	Толщина теплоизоляционного слоя, мм	Расчетные нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя 90 °С
32	90	26,30	16,9
33,5	90	25,55	17,7
38	110	33,00	16,4
42,3	110	30,85	18,3
45	110	29,50	19,5
48	110	28,00	21,0
57	125	31,00	22,0
60	125	29,50	23,6
75,5	140	28,75	28,1
76	140	28,50	28,4
88,5	160	32,25	29,1
89	160	32,00	29,3
108	200	42,20	27,9
114	200	39,20	30,5
133	225	41,90	32,6
140	225	38,40	36,0
159	250	41,00	37,8
165	250	38,00	41,1
219	315	42,40	47,2
273	400	57,00	45,1
325	450	55,80	52,6
377	500	54,10	60,8
426	560	58,70	63,1
530	710	79,40	59,7
630	800	73,10	73,5
720	900	76,60	78,9
820	1000	75,20	88,8
920	1100	73,50	99,9
1020	1200	72,20	110,9

Таблица Б.15 – Расчетная линейная плотность теплового потока через изолированную поверхность для одиночного трубопровода водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах ГПИ-трубопроводами, выполненных в соответствии с ТУ производителей

Типоразмер трубопровода	Наружный диаметр напорной трубы, мм	Толщина стенки напорной трубы, мм	Наружный диаметр трубы-оболочки, мм	Толщина стенки трубы-оболочки, мм	Высота канала, м	Ширина канала, м	Термическое сопротивление канала, м·°C/Вт	Термическое сопротивление трубопровода, м·°C/Вт	Расчетные нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя 65 °C
25/63	25	3,5	63	2,0	0,30	0,6	0,265308	4,73445	12,0
25/63	25	2,3	64	2,0	0,30	0,6	0,265308	4,75592	11,9
32/63	32	4,4	63	2,0	0,30	0,6	0,265308	3,54098	15,8
32/63	32	2,9	64	2,0	0,30	0,6	0,265308	3,56393	15,7
32/90	32	2,9	90	2,5	0,30	0,6	0,265308	5,11727	11,1
40/75	40	2,8	75	2,0	0,30	0,6	0,265308	3,21284	17,3
40/75	40	3,7	75	2,0	0,30	0,6	0,265308	3,23535	17,1
40/75	40	4,0	79	2,0	0,45	0,9	0,215503	3,48800	16,2
32/110	40	5,5	110	2,5	0,45	0,9	0,215503	5,05241	11,4
40/110	40	3,7	110	2,5	0,45	0,9	0,215503	5,00340	11,5
50/90	47,7	3,6	90	2,2	0,45	0,9	0,215503	3,20847	17,5
50/90	50	4,6	90	2,2	0,45	0,9	0,215503	2,99799	18,7
50/90	47,7	3,6	94,4	2,2	0,45	0,9	0,215503	3,43525	16,4
40/110	50	6,9	110	2,5	0,45	0,9	0,215503	3,97679	14,3
50/110	50	4,6	110	2,5	0,45	0,9	0,215503	3,92669	14,5
63/100	58,5	4,0	100	2,2	0,45	0,9	0,215503	2,38419	20,5
63/100	63	5,8	100	2,2	0,45	0,9	0,215503	2,71797	23,1
50/125	63	8,6	125	2,5	0,45	0,9	0,215503	3,47277	16,3
63/125	63	5,8	125	2,5	0,45	0,9	0,215503	3,42446	16,5
75/110	69,5	4,6	110	2,4	0,45	0,9	0,215503	2,32136	23,7
75/110	75	6,8	110	2,4	0,45	0,9	0,215503	1,97837	27,3
75/110	69,5	4,6	114,8	2,4	0,45	0,9	0,215503	2,52553	21,9
63/140	75	10,3	140	2,5	0,45	0,9	0,215503	3,17602	17,7
75/140	75	6,8	140	2,5	0,45	0,9	0,215503	3,12532	18,0
90/125	84	6,0	125	2,6	0,45	0,9	0,215503	2,00885	27,0
90/140	90	8,2	140	2,7	0,45	0,9	0,215503	2,23315	24,5

Окончание таблицы Б.15

Типоразмер трубопровода	Наружный диаметр напорной трубы, мм	Толщина стенки напорной трубы, мм	Наружный диаметр трубы- оболочки, мм	Толщина стенки трубы- оболочки, мм	Высота канала, м	Ширина канала, м	Термическое сопротивле- ние канала, м·°С/Вт	Термическое сопротивление трубопровода, м·°С/Вт	Расчетные нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температу- ре теплоносителя 65 °С
90/125	84	6,0	129,7	2,6	0,45	0,9	0,215503	2,18601	25,0
75/160	90	12,3	160	2,5	0,45	0,9	0,215503	2,93632	19,0
90/160	90	8,2	160	2,5	0,45	0,9	0,215503	2,88685	19,3
110/145	101	6,5	145	2,7	0,45	0,9	0,215503	1,81921	29,5
110/160	110	10,0	160	2,7	0,45	0,9	0,215503	1,90725	28,3
110/145	101	6,5	150,4	2,7	0,45	0,9	0,215503	1,99503	27,1
90/180	110	15,1	180	2,5	0,45	0,9	0,215503	2,50765	22,0
110/180	110	10,0	180	2,5	0,45	0,9	0,215503	2,45727	22,4
125/160	116	6,8	160	2,7	0,45	1,2	0,198231	1,61929	33,0
110/200	125	17,1	200	2,5	0,45	1,2	0,198231	2,39905	23,1
125/200	125	11,4	200	2,5	0,45	1,2	0,198231	2,34952	23,6
140/180	127	7,1	180	3,0	0,45	1,2	0,198231	1,70399	31,5
140/180	127	7,1	185	3,0	0,45	1,2	0,198231	1,83695	29,5
125/225	140	19,2	225	2,5	0,45	1,2	0,198231	2,42123	22,9
140/225	140	12,7	225	2,5	0,45	1,2	0,198231	2,37080	23,4
160/200	144	7,5	200	3,1	0,45	1,2	0,198231	1,60104	33,3
160/200	144	7,5	200,5	3,1	0,45	1,2	0,198231	1,61316	33,1
140/250	160	21,9	250	2,5	0,45	1,5	0,186763	2,28528	24,3
160/250	160	14,6	250	2,5	0,45	1,5	0,186763	2,23571	24,8
160/250	180	24,6	250	2,5	0,45	1,5	0,186763	1,71698	31,5
180/250	180	16,4	250	2,5	0,45	1,5	0,186763	1,66751	32,4

Таблица Б.16 – Расчетная линейная плотность теплового потока через изолированную поверхность для одиночного трубопровода водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке ГПИ-трубопроводами, выполненных в соответствии с ТУ производителей

Типоразмер трубопровода	Наружный диаметр напорной трубы, мм	Толщина стенки напорной трубы, мм	Наружный диаметр трубы-оболочки, мм	Толщина стенки трубы-оболочки, мм	Расстояние между осями трубопроводов, м	Расчетные нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя 65 °С
25/63	25	3,5	63	2,0	0,213	13,1
25/63	25	2,3	64	2,0	0,214	13,1
32/63	32	4,4	63	2,0	0,213	17,8
32/63	32	2,9	64	2,0	0,214	17,6
32/90	32	2,9	90	2,5	0,240	11,8
40/75	40	2,8	75	2,0	0,225	19,3
40/75	40	3,7	75	2,0	0,225	19,1
40/75	40	4,0	79	2,0	0,229	17,6
32/110	40	5,5	110	2,5	0,260	11,9
40/110	40	3,7	110	2,5	0,260	12,0
50/90	47,7	3,6	90	2,2	0,240	19,0
50/90	50	4,6	90	2,2	0,240	20,3
50/90	47,7	3,6	94,4	2,2	0,244	17,6
40/110	50	6,9	110	2,5	0,260	15,1
50/110	50	4,6	110	2,5	0,260	15,3
63/100	58,5	4,0	100	2,2	0,250	22,2
63/100	63	5,8	100	2,2	0,250	25,3
50/125	63	8,6	125	2,5	0,275	17,1
63/125	63	5,8	125	2,5	0,275	17,4
75/110	69,5	4,6	110	2,4	0,260	25,8
75/110	75	6,8	110	2,4	0,260	30,2
75/110	69,5	4,6	114,8	2,4	0,265	23,6
63/140	75	10,3	140	2,5	0,290	18,6
75/140	75	6,8	140	2,5	0,290	18,9
90/125	84	6,0	125	2,6	0,275	29,4

Окончание таблицы Б.16

Типоразмер трубопровода	Наружный диаметр напорной трубы, мм	Толщина стенки напорной трубы, мм	Наружный диаметр трубы-оболочки, мм	Толщина стенки трубы-оболочки, мм	Расстояние между осями трубопроводов, м	Расчетные нормы линейной плотности теплого потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя 65 °С
90/140	90	8,2	140	2,7	0,290	26,3
90/125	84	6,0	129,7	2,6	0,280	27,0
75/160	90	12,3	160	2,5	0,310	20,0
90/160	90	8,2	160	2,5	0,310	20,3
110/145	101	6,5	145	2,7	0,295	32,0
110/160	110	10,0	160	2,7	0,310	30,4
110/145	101	6,5	150,4	2,7	0,300	29,2
90/180	110	15,1	180	2,5	0,330	23,2
110/180	110	10,0	180	2,5	0,330	23,7
125/160	116	6,8	160	2,7	0,310	35,6
110/200	125	17,1	200	2,5	0,350	24,1
125/200	125	11,4	200	2,5	0,350	24,6
140/180	127	7,1	180	3,0	0,330	33,7
140/180	127	7,1	185	3,0	0,335	31,3
125/225	140	19,2	225	2,5	0,375	23,8
140/225	140	12,7	225	2,5	0,375	24,3
160/200	144	7,5	200	3,1	0,350	35,5
160/200	144	7,5	200,5	3,1	0,351	35,3
140/250	160	21,9	250	2,5	0,500	25,1
160/250	160	14,6	250	2,5	0,500	25,7
160/250	180	24,6	250	2,5	0,500	33,0
180/250	180	16,4	250	2,5	0,500	33,9

Таблица Б.17 – Расчетная линейная плотность теплового потока через изолированную поверхность для одиночного трубопровода водяных тепловых сетей при прокладке в непроходных каналах ГСИ-трубопроводами, выполненными в соответствии с ТУ производителей

Типоразмер трубопро- вода	Наружный диаметр напорной трубы, мм	Толщина стенки напорной трубы, мм	Наружный диаметр трубы- оболочки, мм	Толщина стенки трубы- оболочки, мм	Высота канала, м	Ширина канала, м	Термическое сопротивле- ние канала, м ² С/Вт	Термическое сопротивление трубопровода, м ² С/Вт	Расчетные нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя 65 °С
29/90	34	0,3	90	2,5	0,45	0,9	0,215503	4,81852	11,9
39/110	44	0,4	110	2,5	0,45	0,9	0,215503	4,49401	12,7
48/110	55	0,5	110	2,5	0,45	0,9	0,215503	3,45247	16,4
55/110	54,3	0,5	114,8	2,4	0,45	0,9	0,215503	3,70660	15,3
60/125	66	0,5	125	2,5	0,45	0,9	0,215503	3,10559	18,1
66/125	66	0,5	129,7	2,6	0,45	0,9	0,215503	3,28215	17,2
76/140	85	0,6	140	2,5	0,45	0,9	0,215503	2,49013	22,2
86/145	85,6	0,6	150,4	2,7	0,45	0,9	0,215503	2,84504	19,6
88/160	98	0,7	160	2,5	0,45	0,9	0,215503	2,45606	22,5
109/160	109,2	0,8	165,3	2,9	0,45	1,2	0,198231	2,07269	26,4
98/180	109	0,8	180	2,5	0,45	1,2	0,198231	2,48014	22,4
109/200	119	0,8	200	2,5	0,45	1,2	0,198231	2,54120	21,9
143/200	142,9	0,9	200,7	3,1	0,45	1,2	0,198231	1,71808	31,3
127/225	143	0,9	225	2,5	0,45	1,2	0,198231	2,29995	24,0
144/250	156	0,9	250	2,5	0,45	1,5	0,186763	2,31657	24,0

Таблица Б.18 – Расчетная линейная плотность теплового потока через изолированную поверхность для одиночного трубопровода водяных тепловых сетей при бесканальной прокладке ГСИ-трубопроводами, выполненных в соответствии с ТУ производителей

Типоразмер трубопровода	Внутренний диаметр напорной трубы, мм	Наружный диаметр напорной трубы, мм	Толщи- на стенки напорной трубы, мм	Наружный диаметр трубы-оболочки, мм	Толщина стенки трубы-оболочки, мм	Расстояние между осями трубопрово- дов, м	Расчетные нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя 65 °С
29/90	29	34	0,3	90	2,5	0,240	12,6
39/110	39	44	0,4	110	2,5	0,260	13,4
48/110	48	55	0,5	110	2,5	0,260	17,4
55/110	48	54,3	0,5	114,8	2,4	0,265	16,2
60/125	60	66	0,5	125	2,5	0,275	19,2
66/125	60	66	0,5	129,7	2,6	0,280	18,1
76/140	76	85	0,6	140	2,5	0,29	23,7
86/145	75	85,6	0,6	150,4	2,7	0,300	20,7
88/160	88	98	0,7	160	2,5	0,310	23,8
109/160	98	109,2	0,8	165,3	2,9	0,315	28,0
98/180	98	109	0,8	180	2,5	0,33	23,5
109/200	109	119	0,8	200	2,5	0,350	22,8
143/200	127	142,9	0,9	200,7	3,1	0,351	33,3
127/225	127	143	0,9	225	2,5	0,375	25,1
144/250	144	156	0,9	250	2,5	0,500	24,8

Приложение В (справочное)

Нормы линейной и поверхностной плотности теплового потока через изолированную поверхность при прокладке на открытом воздухе (надземная прокладка)

Таблица В.1 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов при прокладке на открытом воздухе и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года

Наружный диаметр трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
18	12,1	12,3	12,5	12,6	12,7	12,8	13,0	13,1
21	12,9	13,4	13,6	13,9	14,1	14,3	14,5	14,7
25	13,9	14,7	15,1	15,6	16,0	16,3	16,7	17,0
27	14,4	15,3	15,8	16,4	16,9	17,3	17,7	18,2
32	15,7	17,0	17,7	18,6	19,2	19,8	20,4	21,0
34	16,2	17,7	18,4	19,4	20,1	20,8	21,5	22,1
38	17,2	19,0	19,9	21,1	22,0	22,8	23,6	24,4
42	18,3	20,4	21,4	22,8	23,8	24,7	25,7	26,6
45	19,0	21,3	22,5	24,1	25,2	26,2	27,3	28,4
48	19,8	22,4	23,6	25,4	26,6	27,7	28,9	30,0
57	22,1	25,4	27,0	29,2	30,7	32,2	33,7	35,1
76	24,4	28,1	30,0	32,5	34,2	35,9	37,6	39,3
89	27,9	31,9	33,8	36,5	38,4	40,1	42,0	43,7
108	30,2	34,9	37,2	40,4	42,5	44,6	46,7	48,8
114	31,3	36,0	38,4	41,6	43,8	45,9	48,1	50,2
133	34,9	39,8	42,2	45,5	47,8	50,0	52,2	54,4
159	38,4	44,0	46,8	50,6	53,1	55,6	58,2	60,7
219	46,5	53,5	57,0	61,7	64,9	68,1	71,3	74,4
273	53,5	61,2	65,0	70,2	73,8	77,2	80,8	84,2
325	61,6	69,7	73,8	79,3	83,1	86,8	90,5	94,2
377	68,6	77,7	82,2	88,4	92,6	96,7	100,8	104,9
426	75,6	85,1	89,9	96,4	100,8	105,1	109,5	113,8
478	81,4	91,9	97,1	104,2	109,0	113,7	118,5	123,2
529	88,4	99,6	105,1	112,7	117,9	122,9	128,0	133,0
630	102,3	114,6	120,8	129,2	134,9	140,4	146,1	151,7
720	114,0	127,5	134,2	143,4	149,6	155,7	161,9	167,9
820	126,8	141,4	148,8	158,7	165,4	172,0	178,8	185,4
920	138,4	155,4	163,9	175,4	183,2	190,9	198,7	206,3
1020	150,0	168,1	177,2	189,5	197,9	206,1	214,4	222,6

**Таблица В.2 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность
для трубопроводов при прокладке на открытом воздухе и продолжительности работы
5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года**

Наружный диаметр трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
18	17,7	18,6	19,0	19,6	20,0	20,4	20,8	21,1
21	18,3	19,4	20,0	20,7	21,3	21,8	22,3	22,8
25	19,0	20,5	21,2	22,2	22,9	23,6	24,3	24,9
27	19,4	21,0	21,9	23,0	23,7	24,5	25,2	26,0
32	20,3	22,3	23,4	24,7	25,7	26,6	27,5	28,5
34	20,7	22,9	24,0	25,5	26,5	27,5	28,5	29,5
38	21,5	24,0	25,3	27,0	28,1	29,2	30,4	31,5
42	22,2	25,0	26,4	28,3	29,6	30,9	32,1	33,4
45	22,8	25,8	27,3	29,3	30,7	32,1	33,5	34,8
48	23,3	26,3	27,8	29,9	31,3	32,6	34,0	35,4
57	25,6	29,6	31,5	34,2	36,1	37,8	39,7	41,4
76	27,9	32,6	34,9	38,1	40,2	42,3	44,4	46,5
89	31,4	36,5	39,1	42,6	44,9	47,2	49,6	51,9
108	34,9	40,5	43,3	47,1	49,6	52,1	54,7	57,2
114	36,0	41,7	44,6	48,4	51,0	53,6	56,2	58,8
133	39,5	45,6	48,6	52,7	55,5	58,2	61,0	63,7
159	44,2	51,2	54,7	59,4	62,6	65,8	69,0	72,1
219	53,5	61,9	66,1	71,8	75,6	79,4	83,2	87,0
273	60,5	70,7	75,8	82,8	87,5	92,1	96,8	101,4
325	69,8	80,7	86,2	93,6	98,6	103,5	108,6	113,5
377	77,9	90,0	96,1	104,3	109,8	115,3	120,9	126,3
426	84,9	97,7	104,1	112,8	118,7	124,5	130,3	136,1
478	93,0	107,0	113,9	123,4	129,9	136,1	142,6	148,8
529	101,2	116,1	123,5	133,6	140,5	147,2	154,0	160,7
630	116,3	133,0	141,4	152,8	160,5	168,0	175,7	183,3
720	127,9	146,5	155,8	168,5	177,1	185,4	194,0	202,4
820	141,9	162,4	172,6	186,5	195,9	205,1	214,5	223,7
920	157,0	180,0	191,5	207,2	217,8	228,1	238,7	249,1
1020	171,0	195,6	208,0	224,7	236,0	247,1	258,5	269,6

Таблица В.3 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке на открытом воздухе и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
15	8	9,6	10,4	11,5	12,2	12,9	13,7	14,4
20	8,8	10,6	11,4	12,6	13,4	14,2	15,0	15,8
25	10,4	12,3	13,3	14,6	15,5	16,3	17,2	18,1
32	11,1	13,2	14,2	15,6	16,6	17,5	18,5	19,4
40	12	14,2	15,4	16,9	17,9	18,9	20,0	21,0
50	13,6	15,8	17,0	18,5	19,5	20,5	21,6	22,6
65	15,2	17,9	19,3	21,1	22,4	23,6	24,9	26,1
80	16,8	19,7	21,1	23,1	24,4	25,7	27,0	28,3
100	19,2	22,2	23,8	25,8	27,2	28,6	30,0	31,4
125	21,6	25,1	26,9	29,3	30,9	32,5	34,1	35,7
150	24	27,8	29,8	32,4	34,1	35,9	37,6	39,4
200	29,6	34,1	36,3	39,4	41,4	43,4	45,5	47,5
250	34,4	39,5	42,1	45,6	47,9	50,2	52,6	54,9
300	39,2	44,8	47,6	51,4	54,0	56,5	59,1	61,6
350	44	50,1	53,1	57,3	60,1	62,8	65,6	68,3
400	48,8	55,4	58,6	63,1	66,1	69,1	72,1	75,0
450	52	59,0	62,6	67,3	70,6	73,8	77,0	80,2
500	56,8	64,5	68,3	73,5	77,1	80,5	84,1	87,5
600	65,6	74,2	78,6	84,4	88,4	92,3	96,3	100,2
700	73,6	83,0	87,8	94,2	98,5	102,8	107,1	111,4
800	82,4	92,6	97,8	104,7	109,4	114,0	118,8	123,4
900	90,4	101,8	107,4	115,2	120,4	125,5	130,7	135,8
1000	99,2	111,5	117,7	126,1	131,7	137,3	142,9	148,5
Криволинейные поверхности диаметром более 1020 мм и плоские	Нормы поверхностной плотности теплового потока, Вт/м ²							
	28,0	31,0	32,6	34,6	36,0	37,4	38,8	40,2

Таблица В.4 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке на открытом воздухе и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
15	8,8	10,6	11,4	12,6	13,4	14,2	15,0	15,8
20	10,4	12,3	13,3	14,6	15,5	16,3	17,2	18,1
25	12,0	14,1	15,1	16,5	17,5	18,4	19,4	20,3
32	13,1	15,3	16,5	18,0	19,0	20,0	21,1	22,1
40	14,4	16,8	18,0	19,6	20,7	21,8	22,9	24,0
50	15,2	17,9	19,3	21,1	22,4	23,6	24,9	26,1
65	18,4	21,3	22,7	24,7	26,0	27,3	28,6	29,9
80	20,0	23,2	24,8	27,0	28,4	29,9	31,4	32,8
100	22,4	25,9	27,7	30,1	31,7	33,3	34,9	36,5
125	25,6	29,4	31,4	34,0	35,7	37,5	39,2	41,0
150	28,0	32,5	34,7	37,8	39,8	41,8	43,9	45,9
200	35,2	40,5	43,1	46,7	49,1	51,5	53,9	56,3
250	40,8	46,7	49,7	53,7	56,4	59,1	61,8	64,5
300	47,2	53,9	57,3	61,8	64,9	68,0	71,1	74,1
350	52,8	60,2	63,8	68,8	72,2	75,5	78,9	82,2
400	58,4	66,2	70,2	75,5	79,1	82,6	86,2	89,8
450	64,0	72,3	76,5	82,1	86,0	89,7	93,5	97,3
500	70,4	79,2	83,6	89,6	93,6	97,6	101,6	105,6
600	80,0	90,4	95,6	102,7	107,5	112,1	116,9	121,6
700	91,2	102,4	108,0	115,6	120,8	125,8	131,0	136,0
800	102,4	114,7	120,9	129,3	134,9	140,5	146,1	151,7
900	112,8	126,4	133,2	142,4	148,7	154,8	161,1	167,2
1000	124,0	138,7	146,1	156,1	162,9	169,5	176,3	182,9
Криволинейные поверх- ности диаметром более 1020 мм и плоские	Нормы поверхностной плотности теплового потока, Вт/м ²							
	35,2	39,5	41,7	44,6	46,6	48,5	50,5	52,5

Таблица В.5 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке на открытом воздухе и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
15	9	10,6	11,4	12,5	13,2	13,9	14,7	15,4
20	10	11,8	12,7	13,9	14,8	15,6	16,4	17,2
25	11	12,8	13,7	14,9	15,8	16,6	17,4	18,2
32	11	13,0	14,0	15,4	16,3	17,2	18,1	19,0
40	12	14,2	15,3	16,8	17,8	18,8	19,8	20,8
50	14	16,4	17,6	19,2	20,3	21,4	22,5	23,6
65	16	18,6	19,9	21,7	22,9	24,0	25,2	26,4
80	17	19,8	21,2	23,1	24,4	25,7	26,9	28,2
100	19	22,0	23,5	25,5	26,9	28,3	29,7	31,0
125	21	24,4	26,1	28,4	30,0	31,5	33,1	34,6
150	24	27,6	29,4	31,8	33,5	35,1	36,8	38,4
200	30	34,4	36,6	39,6	41,6	43,6	45,6	47,6
250	35	40,0	42,5	45,9	48,2	50,5	52,8	55,0
300	40	45,6	48,4	52,2	54,8	57,3	59,9	62,4
350	45	51,2	54,3	58,5	61,4	64,2	67,0	69,8
400	49	55,8	59,2	63,8	67,0	70,0	73,1	76,2
450	54	61,2	64,8	69,7	73,0	76,2	79,6	82,8
500	58	65,8	69,7	75,0	78,6	82,1	85,7	89,2
600	67	75,8	80,2	86,2	90,2	94,2	98,2	102,2
700	75	84,8	89,7	96,4	100,9	105,3	109,8	114,2
800	83	93,8	99,2	106,5	111,5	116,4	121,3	126,2
900	91	102,8	108,7	116,7	122,2	127,5	132,9	138,2
1000	100	112,6	118,9	127,5	133,3	138,9	144,7	150,4
1200	117	131,6	138,9	148,8	155,5	162,1	168,8	175,4
1400	133	149,6	157,9	169,2	176,8	184,3	191,9	199,4
Криволинейные поверхности диаметром более 1020 мм и плоские	Нормы поверхностной плотности теплового потока, Вт/м ²							
	27	30,0	31,5	33,5	34,9	36,3	37,7	39,0

Таблица В.6 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке на открытом воздухе и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
15	10	11,6	12,4	13,5	14,2	14,9	15,7	16,4
20	11	13,0	14,0	15,4	16,3	17,2	18,1	19,0
25	12	14,2	15,3	16,8	17,8	18,8	19,8	20,8
32	13	15,2	16,3	17,8	18,8	19,8	20,8	21,8
40	14	16,4	17,6	19,2	20,3	21,4	22,5	23,6
50	16	18,6	19,9	21,7	22,9	24,0	25,2	26,4
65	18	21,0	22,5	24,5	25,9	27,3	28,7	30,0
80	20	23,2	24,8	27,0	28,4	29,9	31,4	32,8
100	22	25,4	27,1	29,4	31,0	32,5	34,1	35,6
125	25	28,8	30,7	33,3	35,0	36,7	38,5	40,2
150	27	31,2	33,3	36,2	38,1	40,0	41,9	43,8
200	34	39,0	41,5	44,9	47,2	49,5	51,8	54,0
250	39	44,4	47,1	50,8	53,3	55,7	58,2	60,6
300	44	50,2	53,3	57,5	60,4	63,2	66,0	68,8
350	53	60,6	64,4	69,6	73,1	76,5	80,0	83,4
400	59	67,0	71,0	76,4	80,1	83,7	87,4	91,0
450	64	72,8	77,2	83,2	87,2	91,2	95,2	99,2
500	70	79,4	84,1	90,5	94,8	99,0	103,4	107,6
600	81	91,6	96,9	104,1	109,0	113,8	118,6	123,4
700	90	101,8	107,7	115,7	121,2	126,5	131,9	137,2
800	102	114,6	120,9	129,5	135,3	140,9	146,7	152,4
900	112	126,2	133,3	143,0	149,5	155,9	162,4	168,8
1000	123	138,2	145,8	156,1	163,1	170,0	177,0	183,8
1200	145	162,6	171,4	183,4	191,5	199,4	207,5	215,4
1400	166	186,0	196,0	209,6	218,8	227,8	237,0	246,0
Криволинейные поверхности диаметром более 1020 мм и плоские	Нормы поверхностной плотности теплового потока, Вт/м ²							
	36	39,8	41,7	44,3	46,0	47,7	49,5	51,2

Приложение Г
(справочное)

Нормы линейной и поверхностной плотности теплового потока через изолированную поверхность при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных подпольях) и тоннелях (проходных каналах)

Таблица Г.1 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года

На- ружный диаметр трубо- прово- да, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С															
	прокладка в помещении (техническом подполье)								прокладка в тоннеле (проходном канале)							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
18	10,9	11,9	12,3	13,0	13,4	13,9	14,3	14,7	7,4	8,1	8,5	9,0	9,3	9,6	10,0	10,3
21	11,7	12,8	13,4	14,1	14,7	15,2	15,7	16,2	8,2	9,1	9,5	10,1	10,5	10,9	11,3	11,7
25	12,7	14,0	14,7	15,6	16,2	16,8	17,5	18,1	9,2	10,3	10,9	11,6	12,1	12,6	13,1	13,6
27	13,2	14,6	15,4	16,3	17,0	17,6	18,3	19,0	9,7	10,9	11,5	12,3	12,9	13,4	14,0	14,5
32	14,5	16,2	17,1	18,2	19,0	19,8	20,5	21,3	11,0	12,5	13,2	14,2	14,9	15,5	16,2	16,8
34	15,0	16,8	17,7	19,0	19,8	20,6	21,5	22,3	11,5	13,1	13,9	14,9	15,7	16,4	17,1	17,8
38	16,0	18,0	19,1	20,4	21,4	22,3	23,2	24,2	12,5	14,3	15,2	16,4	17,3	18,1	18,9	19,7
42	17,1	19,3	20,5	22,0	23,0	24,0	25,1	26,1	13,6	15,6	16,6	18,0	18,9	19,8	20,7	21,6
45	17,8	20,2	21,4	23,0	24,1	25,2	26,3	27,4	14,3	16,5	17,5	19,0	20,0	21,0	22,0	22,9
48	18,6	21,2	22,4	24,2	25,4	26,5	27,7	28,8	15,1	17,4	18,6	20,2	21,2	22,3	23,3	24,4
57	20,9	23,9	25,5	27,5	28,9	30,3	31,7	33,1	17,4	20,2	21,6	23,5	24,8	26,1	27,3	28,6
76	23,3	26,8	28,5	30,9	32,5	34,1	35,7	37,2	18,6	22,1	23,9	26,2	27,8	29,4	31,0	32,6
89	26,7	30,4	32,3	34,9	36,6	38,3	40,0	41,7	20,9	24,6	26,5	29,0	30,7	32,4	34,1	35,8
108	27,9	32,6	34,9	38,1	40,2	42,3	44,4	46,5	23,3	27,5	29,6	32,4	34,3	36,2	38,1	40,0
114	29,0	33,7	36,0	39,2	41,3	43,4	45,5	47,6	24,1	28,3	30,5	33,3	35,3	37,2	39,2	41,1
133	32,6	37,2	39,6	42,7	44,8	46,9	49,1	51,2	26,7	31,1	33,3	36,3	38,4	40,4	42,4	44,4
159	36,1	41,4	44,1	47,7	50,2	52,6	55,1	57,5	30,2	35,1	37,6	40,9	43,1	45,3	47,6	49,8
219	44,2	50,9	54,3	58,9	62,0	65,0	68,1	71,2	36,1	42,4	45,5	49,8	52,7	55,5	58,4	61,2
273	50,0	57,4	61,2	66,2	69,6	73,0	76,4	79,8	41,9	48,6	52,0	56,6	59,7	62,7	65,8	68,9
325	58,2	66,1	70,1	75,4	79,1	82,6	86,2	89,8	47,7	55,1	58,9	63,9	67,3	70,7	74,1	77,5
377	65,1	73,7	78,0	83,9	87,9	91,7	95,7	99,6	53,5	61,6	65,7	71,2	75,0	78,7	82,4	86,1
426	70,9	80,2	84,9	91,2	95,5	99,7	104,0	108,2	58,2	67,0	71,4	77,4	81,5	85,5	89,5	93,5

Окончание таблицы Г.1

На- ружный диаметр трубо- прово- да, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С															
	прокладка в помещении (техническом подполье)								прокладка в тоннеле (проходном канале)							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
478	76,8	86,8	91,8	98,6	103,2	107,7	112,3	116,8	62,8	72,3	77,1	83,6	88,0	92,3	96,7	101,0
529	83,7	94,4	99,8	107,0	111,9	116,8	121,7	126,5	68,6	78,6	83,6	90,4	95,0	99,5	104,1	108,6
630	96,5	108,4	114,3	122,4	127,8	133,1	138,6	143,9	79,1	90,3	95,8	103,4	108,6	113,6	118,7	123,7
720	107,0	120,0	126,5	135,4	141,4	147,2	153,2	159,1	88,4	100,7	106,9	115,3	120,9	126,5	132,1	137,7
820	119,8	133,8	140,7	150,2	156,7	162,9	169,4	175,6	98,9	112,1	118,8	127,8	133,9	139,8	145,9	151,9
920	130,3	146,6	154,7	165,8	173,3	180,6	188,1	195,4	107,0	122,6	130,4	141,0	148,1	155,1	162,3	169,3
1020	140,7	158,4	167,2	179,2	187,4	195,3	203,5	211,4	116,3	132,8	141,1	152,3	159,9	167,3	174,9	182,4

Таблица Г.2 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным до 1990 года

На- ружный диаметр трубо- прово- да, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С															
	прокладка в помещении (техническом подполье)								прокладка в тоннеле (проходном канале)							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
18	16,3	16,7	16,9	17,1	17,3	17,5	17,6	17,8	14,6	15,4	15,7	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6
21	17	17,7	18,0	18,4	18,7	19,0	19,3	19,6	15	16,0	16,4	17,1	17,5	18,0	18,4	18,8
25	17,8	18,8	19,4	20,1	20,5	21,0	21,5	22,0	15,5	16,7	17,3	18,2	18,7	19,3	19,8	20,4
27	18,2	19,4	20,0	20,9	21,4	22,0	22,5	23,1	15,8	17,1	17,8	18,7	19,3	19,9	20,6	21,2
32	19,3	20,9	21,8	22,9	23,6	24,4	25,1	25,9	16,5	18,1	19,0	20,1	20,8	21,6	22,3	23,1
34	19,7	21,5	22,4	23,7	24,5	25,3	26,2	27,0	16,7	18,5	19,4	20,6	21,4	22,2	23,0	23,8
38	20,4	22,6	23,6	25,1	26,1	27,1	28,1	29,0	17,2	19,2	20,2	21,6	22,5	23,4	24,4	25,3
42	21,2	23,7	24,9	26,6	27,7	28,9	30,0	31,1	17,8	20,0	21,1	22,6	23,7	24,7	25,7	26,7
45	21,8	24,5	25,9	27,7	28,9	30,1	31,4	32,6	18,2	20,6	21,8	23,4	24,5	25,6	26,7	27,8
48	22,1	24,9	26,3	28,2	29,5	30,8	32,0	33,3	18,6	21,2	22,4	24,2	25,4	26,5	27,7	28,8
57	24,4	28,1	30,0	32,5	34,2	35,9	37,6	39,3	19,8	23,3	25,0	27,4	29,0	30,6	32,2	33,7

Окончание таблицы Г.2

На- ружный диаметр трубо- прово- да, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С															
	прокладка в помещении (техническом подполье)								прокладка в тоннеле (проходном канале)							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
76	26,7	31,1	33,3	36,3	38,4	40,4	42,4	44,4	22,1	26,1	28,0	30,7	32,6	34,3	36,2	37,9
89	29,1	34,2	36,8	40,3	42,6	44,9	47,3	49,6	24,4	28,8	31,0	34,0	36,1	38,1	40,1	42,1
108	31,4	37,0	39,8	43,6	46,1	48,6	51,2	53,7	26,7	31,8	34,4	37,9	40,2	42,5	44,9	47,2
114	32,8	38,4	41,3	45,1	47,7	50,2	52,8	55,4	27,5	32,7	35,4	38,9	41,3	43,7	46,1	48,5
133	37,2	43,0	45,9	49,9	52,6	55,2	57,9	60,5	30,2	35,8	38,6	42,4	45,0	47,5	50,1	52,6
159	41,9	48,6	52,0	56,6	59,7	62,7	65,8	68,9	33,7	40,0	43,1	47,4	50,3	53,1	56,0	58,8
219	50,0	58,1	62,2	67,7	71,5	75,2	78,9	82,6	41,9	49,3	53,1	58,1	61,5	64,9	68,3	71,7
273	57,	66,8	71,6	78,3	82,8	87,2	91,6	96,0	46,5	55,6	60,1	66,3	70,5	74,6	78,7	82,8
325	66,3	76,8	82,0	89,1	93,9	98,6	103,4	108,1	54,7	64,2	69,0	75,5	79,8	84,1	88,5	92,8
377	73,3	84,9	90,7	98,6	104,0	109,2	114,6	119,8	60,5	71,2	76,6	83,8	88,7	93,6	98,5	103,3
426	80,2	92,5	98,7	107,1	112,8	118,3	124,0	129,6	66,3	77,7	83,4	91,2	96,4	101,5	106,8	111,9
478	87,2	100,7	107,5	116,6	122,8	128,9	135,1	141,2	72,1	84,7	90,9	99,5	105,3	110,9	116,7	122,3
529	95,4	109,6	116,7	126,3	132,8	139,2	145,7	152,1	79,1	92,4	99,0	108,0	114,1	120,1	126,2	132,1
630	109,3	125,4	133,4	144,3	151,7	158,9	166,3	173,5	90,7	105,6	113,0	123,1	130,0	136,7	143,5	150,2
720	119,8	137,9	147,0	159,3	167,7	175,9	184,2	192,4	100	116,5	124,8	136,0	143,6	151,0	158,6	166,1
820	133,7	153,2	163,0	176,3	185,3	194,1	203,1	211,9	110,5	128,6	137,7	150,0	158,4	166,6	174,9	183,1
920	147,7	169,8	180,9	195,9	206,0	216,0	226,2	236,1	122,1	142,6	152,8	166,7	176,2	185,4	194,8	204,0
1020	160,5	184,2	196,1	212,2	223,1	233,8	244,7	255,4	132,6	154,7	165,8	180,8	190,9	200,9	211,1	221,0

Таблица Г.3 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С															
	прокладка в помещениях (техническом подполье)								прокладка в тоннеле (проходном канале)							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
15	6,4	8,0	8,8	9,9	10,6	11,3	12,1	12,8	5,4	6,8	7,4	8,4	9,0	9,6	10,2	10,8
20	7,2	9,0	9,8	11,0	11,8	12,6	13,4	14,2	6,1	7,6	8,4	9,4	10,1	10,7	11,4	12,1
25	8	9,9	10,9	12,2	13,1	13,9	14,8	15,7	6,8	8,4	9,3	10,4	11,1	11,9	12,6	13,4
32	8,7	10,8	11,8	13,2	14,2	15,1	16,1	17,0	7,4	9,2	10,0	11,2	12,0	12,8	13,6	14,4
40	9,6	11,8	13,0	14,5	15,5	16,5	17,6	18,6	8,2	10,1	11,1	12,3	13,2	14,1	14,9	15,8
50	10,4	12,8	14,0	15,6	16,7	17,8	18,9	20,0	8,8	10,8	11,9	13,2	14,2	15,1	16,0	17,0
65	12	14,7	16,1	17,9	19,2	20,4	21,7	22,9	10,2	12,5	13,7	15,3	16,3	17,4	18,4	19,5
80	12,8	15,8	17,4	19,4	20,8	22,2	23,6	25,0	10,9	13,5	14,8	16,5	17,7	18,9	20,1	21,2
100	14,4	17,8	19,4	21,7	23,3	24,8	26,3	27,8	12,2	15,1	16,5	18,4	19,8	21,0	22,4	23,6
125	16,8	20,5	22,3	24,8	26,5	28,2	29,9	31,5	14,3	17,4	19,0	21,1	22,5	23,9	25,4	26,8
150	19,2	23,2	25,2	27,9	29,8	31,6	33,4	35,2	16,3	19,7	21,4	23,7	25,3	26,8	28,4	29,9
200	23,2	28,0	30,4	33,7	35,9	38,0	40,2	42,4	19,7	23,8	25,8	28,6	30,5	32,3	34,2	36,0
250	27,2	32,6	35,4	39,1	41,6	44,0	46,5	49,0	23,1	27,7	30,0	33,2	35,3	37,4	39,5	41,6
300	31,2	37,3	40,3	44,5	47,3	50,0	52,8	55,5	26,5	31,7	34,3	37,8	40,2	42,5	44,9	47,2
350	35,2	41,8	45,0	49,5	52,5	55,5	58,5	61,4	29,9	35,5	38,3	42,1	44,6	47,1	49,7	52,2
400	38,4	45,6	49,2	54,1	57,4	60,6	64,0	67,2	32,6	38,7	41,8	45,9	48,8	51,5	54,3	57,1
450	41,6	49,4	53,4	58,7	62,3	65,8	69,4	73,0	35,4	42,1	45,4	49,9	53,0	56,0	59,0	62,0
500	45,6	53,9	58,1	63,7	67,6	71,3	75,1	78,9	38,8	45,9	49,4	54,2	57,4	60,6	63,9	67,0
600	53,6	62,9	67,5	73,8	78,1	82,3	86,5	90,7	45,6	53,5	57,4	62,8	66,4	69,9	73,6	77,1
700	59,2	69,6	74,8	81,9	86,7	91,3	96,1	100,8	50,3	59,1	63,6	69,6	73,6	77,6	81,7	85,7
800	67,2	78,6	84,2	92,0	97,2	102,3	107,5	112,6	57,1	66,8	71,6	78,2	82,6	86,9	91,4	95,7
900	74,4	86,7	92,9	101,3	106,9	112,5	118,1	123,7	63,2	73,7	78,9	86,0	90,9	95,6	100,4	105,1
1000	81,6	95,0	101,8	110,9	117,1	123,1	129,3	135,4	69,4	80,8	86,5	94,3	99,5	104,7	109,9	115,1
Нормы поверхностной плотности теплового потока, Вт/м²																
Криволинейные поверхности диаметром более 1020 мм и плоские																
	23,2	26,6	28,2	30,5	32,1	33,6	35,1	36,6	19,7	22,6	24,0	25,9	27,3	28,5	29,9	31,1

Таблица Г.4 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 1 июля 1995 года до 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С															
	прокладка в помещении (техническом подполье)								прокладка в тоннеле (проходном канале)							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
15	7,2	9,0	9,8	11,0	11,8	12,6	13,4	14,2	6,1	7,6	8,4	9,4	10,1	10,7	11,4	12,1
20	8,0	9,9	10,9	12,2	13,1	13,9	14,8	15,7	6,8	8,4	9,3	10,4	11,1	11,9	12,6	13,4
25	8,8	11,0	12,2	13,7	14,7	15,7	16,8	17,8	7,5	9,4	10,4	11,6	12,5	13,4	14,2	15,1
32	9,5	11,9	13,1	14,7	15,8	16,9	18,0	19,1	8,1	10,1	11,2	12,5	13,5	14,4	15,3	16,3
40	10,4	13,0	14,2	16,0	17,2	18,3	19,5	20,6	8,8	11,0	12,1	13,6	14,6	15,5	16,5	17,5
50	12,0	14,7	16,1	17,9	19,2	20,4	21,7	22,9	10,2	12,5	13,7	15,3	16,3	17,4	18,4	19,5
65	13,6	16,8	18,4	20,6	22,0	23,5	25,0	26,4	11,6	14,3	15,7	17,5	18,8	20,0	21,3	22,5
80	16,0	19,4	21,0	23,3	24,9	26,4	27,9	29,4	13,6	16,5	17,9	19,8	21,2	22,4	23,8	25,0
100	17,6	21,3	23,1	25,6	27,3	29,0	30,7	32,3	15,0	18,1	19,7	21,8	23,2	24,6	26,1	27,5
125	20,0	24,2	26,2	29,1	31,0	32,9	34,8	36,6	17,0	20,5	22,3	24,7	26,3	27,9	29,6	31,2
150	22,4	26,9	29,1	32,2	34,2	36,2	38,3	40,3	19,0	22,8	24,7	27,3	29,1	30,8	32,6	34,3
200	28,8	34,2	37,0	40,7	43,2	45,6	48,1	50,6	24,5	29,1	31,4	34,6	36,7	38,8	40,9	43,0
250	33,6	39,8	43,0	47,2	50,1	52,9	55,8	58,6	28,6	33,9	36,6	40,2	42,6	45,0	47,4	49,8
300	38,4	45,4	49,0	53,7	57,0	60,2	63,4	66,6	32,6	38,6	41,6	45,7	48,4	51,1	53,9	56,6
350	42,4	50,4	54,4	59,8	63,5	67,1	70,8	74,4	36,0	42,8	46,2	50,8	54,0	57,0	60,1	63,2
400	48,0	56,5	60,7	66,5	70,4	74,2	78,1	81,9	40,8	48,0	51,6	56,5	59,8	63,0	66,4	69,6
450	51,2	60,5	65,1	71,4	75,7	79,9	84,1	88,3	43,5	51,4	55,4	60,7	64,4	67,9	71,5	75,1
500	56,8	66,6	71,4	78,1	82,6	87,0	91,4	95,8	48,3	56,6	60,8	66,4	70,2	73,9	77,8	81,5
600	64,8	76,2	81,8	89,6	94,8	99,9	105,1	110,2	55,1	64,8	69,6	76,2	80,6	84,9	89,4	93,7
700	72,8	85,4	91,8	100,4	106,2	111,9	117,7	123,4	61,9	72,6	78,0	85,3	90,3	95,1	100,0	104,9
800	81,6	95,7	102,7	112,3	118,8	125,1	131,6	137,9	69,4	81,4	87,3	95,5	101,0	106,4	111,9	117,2
900	91,2	106,4	114,0	124,3	131,3	138,2	145,2	152,0	77,5	90,4	96,9	105,7	111,6	117,4	123,4	129,2
1000	100,0	116,6	125,0	136,3	143,9	151,4	159,1	166,6	85,0	99,1	106,2	115,8	122,3	128,7	135,2	141,6
Криволинейные поверхности диаметром более 1020 мм и плоские	Нормы поверхностной плотности теплового потока, Вт/м²															
	28,8	33,1	35,3	38,2	40,2	42,1	44,1	46,1	24,5	28,2	30,0	32,5	34,2	35,8	37,5	39,1

Таблица Г.5 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы более 5000 ч в год, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
15	6	7,6	8,4	9,5	10,2	10,9	11,7	12,4
20	7	8,8	9,7	10,9	11,8	12,6	13,4	14,2
25	8	10,0	11,0	12,4	13,3	14,2	15,1	16,0
32	8	10,2	11,3	12,8	13,8	14,8	15,8	16,8
40	9	11,4	12,6	14,2	15,3	16,4	17,5	18,6
50	10	12,6	13,9	15,7	16,9	18,0	19,2	20,4
65	12	14,8	16,2	18,1	19,4	20,7	21,9	23,2
80	13	16,0	17,5	19,5	20,9	22,3	23,7	25,0
100	14	17,4	19,1	21,4	23,0	24,5	26,1	27,6
125	16	19,8	21,7	24,3	26,0	27,7	29,5	31,2
150	18	22,0	24,0	26,7	28,6	30,4	32,2	34,0
200	22	26,8	29,2	32,5	34,7	36,8	39,0	41,2
250	26	31,4	34,1	37,8	40,3	42,7	45,2	47,6
300	29	35,2	38,3	42,5	45,4	48,2	51,0	53,8
350	33	39,6	42,9	47,4	50,4	53,4	56,4	59,4
400	36	43,2	46,8	51,7	55,0	58,2	61,6	64,8
450	39	46,8	50,7	56,0	59,6	63,1	66,7	70,2
500	43	51,0	55,0	60,4	64,1	67,7	71,4	75,0
600	49	58,2	62,8	69,1	73,3	77,4	81,7	85,8
700	55	65,2	70,3	77,2	81,9	86,5	91,2	95,8
800	61	72,2	77,8	85,4	90,6	95,6	100,8	105,8
900	67	79,4	85,6	94,0	99,7	105,3	111,0	116,6
1000	74	87,2	93,8	102,8	108,8	114,8	120,9	126,8
1200	87	102,2	109,8	120,1	127,1	134,0	141,0	147,8
1400	100	117,0	125,5	137,1	144,9	152,5	160,4	168,0
Криволинейные поверхности диаметром более 1020 мм и плоские	Нормы поверхностной плотности теплового потока, Вт/м ²							
	20,0	23,6	25,4	27,8	29,5	31,1	32,8	34,4

Таблица Г.6 – Нормы плотности теплового потока через изолированную поверхность для трубопроводов и оборудования при прокладке в помещениях (технических подпольях) и тоннелях (проходных каналах) и продолжительности работы 5000 ч в год и менее, сооруженных по проектам, выполненным с 2010 года

Условный проход трубопровода, мм	Нормы линейной плотности теплового потока, Вт/м, при расчетной температуре теплоносителя, °С							
	50	60	65	71,8	76,4	80,9	85,5	90
15	6	8,0	9,0	10,4	11,3	12,2	13,1	14,0
20	7	9,2	10,3	11,8	12,8	13,8	14,8	15,8
25	8	10,4	11,6	13,2	14,3	15,4	16,5	17,6
32	9	11,4	12,6	14,2	15,3	16,4	17,5	18,6
40	10	12,6	13,9	15,7	16,9	18,0	19,2	20,4
50	11	13,8	15,2	17,1	18,4	19,7	20,9	22,2
65	13	16,2	17,8	20,0	21,4	22,9	24,4	25,8
80	14	17,6	19,4	21,8	23,5	25,1	26,8	28,4
100	16	19,8	21,7	24,3	26,0	27,7	29,5	31,2
125	18	22,2	24,3	27,2	29,1	31,0	32,9	34,8
150	21	25,6	27,9	31,0	33,1	35,2	37,3	39,4
200	26	31,4	34,1	37,8	40,3	42,7	45,2	47,6
250	30	36,4	39,6	44,0	46,9	49,8	52,7	55,6
300	34	41,0	44,5	49,3	52,5	55,6	58,9	62,0
350	38	45,6	49,4	54,6	58,1	61,5	65,0	68,4
400	42	50,4	54,6	60,3	64,2	68,0	71,8	75,6
450	46	55,0	59,5	65,6	69,8	73,8	78,0	82,0
500	51	60,6	65,4	71,9	76,3	80,7	85,1	89,4
600	58	69,0	74,5	82,0	87,0	92,0	97,1	102,0
700	64	76,4	82,6	91,0	96,7	102,3	108,0	113,6
800	72	85,4	92,1	101,2	107,4	113,4	119,6	125,6
900	80	94,8	102,2	112,3	119,1	125,7	132,5	139,2
1000	88	104,0	112,0	122,9	130,2	137,4	144,8	152,0
1200	104	122,6	131,9	144,5	153,1	161,5	170,0	178,4
1400	120	141,0	151,5	165,8	175,4	184,9	194,6	204,0
Криволинейные поверхности диаметром более 1020 мм и плоские	Нормы поверхностной плотности теплового потока, Вт/м ²							
	26	30,0	32,0	34,7	36,6	38,4	40,2	42,0

Приложение Д
(справочное)

Расчет требуемых габаритных размеров непроходного канала

Таблица Д.1 – Технические характеристики стальных труб (таблица 2.11 [4])

Условный диаметр трубопровода, мм	Толщина изоляции подающей трубы $\delta_{из}$, мм	Термическое сопротивление трубы (без изоляции), м ² ·°С/Вт	Условный диаметр трубопровода, мм	Толщина изоляции подающей трубы $\delta_{из}$, мм	Термическое сопротивление трубы (без изоляции), м ² ·°С/Вт
15	40	1,768	250	60	0,117
20	40	1,273	300	60	0,098
25	40	0,995	350	70	0,084
32	40	0,838	400	70	0,075
40	40	0,707	450	70	0,066
50	50	0,558	500	70	0,060
70	50	0,419	600	70	0,051
80	50	0,358	700	80	0,044
100	50	0,295	800	80	0,039
125	60	0,239	900	90	0,035
150	60	0,200	1000	90	0,031
175	60	0,164	1200	100	0,026
200	60	0,145	1400	110	0,022

Таблица Д.2 – Расстояние в свету от поверхности теплоизоляционной конструкции трубопроводов (таблица 10.4 СН 4.02.01-2019)

В миллиметрах

Условный диаметр трубопроводов	Расстояние в свету от поверхности теплоизоляционной конструкции трубопроводов, не менее			
	до стенки канала $\Delta_{ст}$	до поверхности теплоизоляционной конструкции смежного трубопровода $\Delta_{тр}$	до перекрытия канала $\Delta_{пер}$	до дна канала $\Delta_{дно}$
25–80	150	100	50	100
100–250	250	140	50	150
300–350	250	160	70	150
400	250	200	70	180
500–700	250	200	100	180
800	350	250	100	200
900–1400	350	250	100	300

Примечание – При реконструкции тепловых сетей с использованием существующих каналов допускается отступление от размеров, указанных в настоящей таблице.
Расстояние между ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубами в зависимости от диаметра труб-оболочек принимают, мм:
150 – для ПИ-труб с диаметром оболочки до 225 включ.;
250 – для ПИ-труб с диаметром оболочки св. 225 до 800 включ.;
350 – для ПИ-труб с диаметром оболочки св. 800.

Минимально необходимая высота канала h , м, определяется по формуле

$$h = (\Delta_{пер} + \Delta_{дно} + d_n^{макс} + 2\delta_{из}^{макс}) \cdot 10^{-3},$$

где $d_n^{макс}$ – максимальный наружный диаметр трубопровода, мм,
 $\delta_{из}^{макс}$ – толщина изоляции трубопровода с максимальным наружным диаметром, мм.

Для ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводов значения $d_n^{\text{макс}} + 2\delta_{\text{из}}^{\text{макс}}$ приведены в таблицах Б.13–Б.18 Пособия.

Минимально необходимая ширина канала (секции двухъячейкового канала) b , м, для количества трубопроводов n в канале (секции двухъячейкового канала) определяется по формуле

$$b = \left(2\delta_{\text{ст}} + (d_{n1} + 2\delta_{\text{из}1} + \Delta_{\text{тр}1}) + \dots + (d_{n(n-1)} + 2\delta_{\text{из}(n-1)} + \Delta_{\text{тр}(n-1)}) + \dots + (d_{nn} + 2\delta_{\text{из}n} + \Delta_{\text{тр}n}) \right) \cdot 10^{-3}.$$

Приложение Е (справочное)

Методика расчета тепловых потерь тепловой сети двухтрубной подземной прокладки при нештатных режимах работы (в работе один трубопровод)

Е.1 Расчетные формулы для канальной прокладки (кроме ПИ-, ГПИ- и ГСИ-трубопроводов)

Е.1.1 Подающий и обратный трубопроводы с расчетной температурой теплоносителя 50 °С (в т.ч. с различными диаметрами)

а) Определяются нормы теплового потока $q_{1н}$ и $q_{2н}$ по $t_{1р}$ и $t_{2р}$, равными 50 °С.

б) Для таблиц Б.3–Б.6 ТКП 642 и таблиц Б.3–Б.6 Пособия определяется нормативная температура в канале $\tau_{н(кан)}^{ср.г}$ из условия, что термические сопротивления подающего и обратного трубопроводов одинаковы, по формуле

$$\tau_{н(кан)}^{ср.г} = \frac{t_{1р} / Kq_{1н} - 50 / Kq_{2н}}{1/Kq_{1н} - 1/Kq_{2н}}.$$

Для таблиц Б.1, Б.2 ТКП 642 и таблиц Б.1, Б.2 Пособия принимается $\tau_{гр.р}^{ср.г} = 30$ °С, т.к. при расчете по формулам, приведенным в Е.1.1, перечисления б) и в), получаются отрицательные значения $R_{кан}$. При температуре в канале 30 °С гарантированно обеспечиваются термические сопротивления трубопроводов не менее минимально возможных, определенных при минимально возможной толщине теплоизоляционного слоя.

в) Определяется общее термическое сопротивление канала $R_{кан}$, м°С/Вт:

$$R_{кан} = \frac{\tau_{н(кан)}^{ср.г} - \tau_{гр.р}^{ср.г}}{K(q_{1н} + q_{2н})}.$$

При заглублении канала $H \leq 0,7$ м $\tau_{гр.р}^{ср.г}$ принимают равной соответствующей температуре наружного воздуха:

- при продолжительности работы в год более 5000 ч – среднегодовой;
- при продолжительности работы в год менее 5000 ч – средней для отопительного периода.

г) Определяется термическое сопротивление подающего и обратного трубопроводов, м°С/Вт:

$$R_{1норм} = \frac{t_{1р} - \tau_{н(кан)}^{ср.г}}{Kq_{1н}}, \quad R_{2норм} = \frac{50 - \tau_{н(кан)}^{ср.г}}{Kq_{2н}}.$$

Для таблиц Б.3–Б.6 ТКП 642 и таблиц Б.3–Б.6 Пособия $R_{1норм} = R_{2норм}$.

д) Определяется температура в канале при работе одного трубопровода в расчетном периоде:

– при работе только подающего трубопровода:

$$\tau_{н(кан)}^{пер} = \left(\frac{t_1^{пер}}{R_{1норм}} + \frac{\tau_{гр}^{пер}}{R_{кан}} \right) / \left(\frac{1}{R_{1норм}} + \frac{1}{R_{кан}} \right);$$

– при работе только обратного трубопровода:

$$\tau_{н(кан)}^{пер} = \left(\frac{t_2^{пер}}{R_{2норм}} + \frac{\tau_{гр}^{пер}}{R_{кан}} \right) / \left(\frac{1}{R_{2норм}} + \frac{1}{R_{кан}} \right).$$

е) Определяется плотность теплового потока при работе одного трубопровода, Вт/м:

– при работе только подающего трубопровода:

$$q_{1н}^{пер} = \frac{t_1^{пер} - \tau_{н(кан)}^{пер}}{R_{1норм}};$$

– при работе только обратного трубопровода:

$$q_{2н}^{пер} = \frac{t_2^{пер} - \tau_{н(кан)}^{пер}}{R_{2норм}}.$$

ж) Нормируемые тепловые потери за расчетный период, ГДж:

$$Q_{норм}^{пер(подз)} = 3,6q_{н}^{пер}\beta LZ^{пер}10^{-6}.$$

В формуле отсутствует коэффициент К, т.к. он учитывался при определении $R_{1норм}$, $R_{2норм}$ и $R_{кан}$.

Е.1.2 Два трубопровода запроектированы на работу с одинаковой расчетной температурой (два подающих или два обратных трубопровода, в т.ч. с различными диаметрами)

а) Определяются нормы теплового потока $q_{1н}$ (или $q_{2н}$) по $t_{1р}$ (или $t_{2р}$), равной 50 °С.

б) Определяется общее термическое сопротивление канала $R_{кан}$ и термическое сопротивление трубопроводов $R_{1норм}$ (или $R_{2норм}$), м·°С/Вт:

$$R_{кан} = \frac{30 - \tau_{гр.г}^{ср.г}}{K2q_{н}}; \quad R_{1(2)норм} = \frac{t_{1(2)р} - 30}{Kq_{1(2)н}}.$$

в) Расчетная температура в канале при заданных температурах теплоносителя и грунта за расчетный период определяется по формуле

$$\tau_{н(кан)}^{пер} = \left(\frac{t_{1(2)}^{пер}}{R_{1(2)норм}} + \frac{\tau_{гр}^{пер}}{R_{кан}} \right) / \left(\frac{1}{R_{1(2)норм}} + \frac{1}{R_{кан}} \right).$$

г) Определяется плотность теплового потока при работе одного трубопровода:

$$q_{1(2)н}^{пер} = \frac{t_{1(2)}^{пер} - \tau_{н(кан)}^{пер}}{R_{1(2)норм}}.$$

Е.2 Расчетные формулы для бесканальной прокладки (кроме ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводов)

Е.2.1 Подающий и обратный трубопроводы с расчетной температурой теплоносителя 50 °С (в т.ч. с различными диаметрами)

а) Определяются нормы теплового потока $q_{1н}$ и $q_{2н}$ по $t_{1р}$ и $t_{2р}$, равным 50 °С.

б) Определяются нормативные термические сопротивления подающего и обратного трубопроводов из условия, что они одинаковы:

$$R_{1н} = R_{2н} = \frac{(t_{1р} + 50 - 2\tau_{гр.г}^{ср.г})A}{q_{1н} + q_{2н}} / (1 + A);$$

$$A = \frac{q_{2н}(50 - \tau_{гр.г}^{ср.г}) - q_{1н}(t_{1р} - \tau_{гр.г}^{ср.г})}{q_{2н}(t_{1р} - \tau_{гр.г}^{ср.г}) - q_{1н}(50 - \tau_{гр.г}^{ср.г})};$$

$$R_0 = \frac{(t_{1р} + 50 - 2\tau_{гр.г}^{ср.г})}{q_{1н} + q_{2н}} - R_{1н}.$$

Для трубопроводов с $R_0 \leq 0$ и трубопроводов с годом выполнения проекта до 1990 года по таблицам Б.1, Б.2 ТКП 642 и таблицам Б.1, Б.2 Пособия линейная плотность теплового потока при работе одиночного трубопровода определяется без учета взаимного влияния трубопроводов по формулам:

$$R_{1н} = \frac{(t_{1р} - \tau_{гр.р}^{сп.г})}{q_{1н}}; \quad R_{2н} = \frac{(50 - \tau_{гр.р}^{сп.г})}{q_{2н}}.$$

в) Определяется плотность теплового потока при работе одного трубопровода:

$$q_{1(2)н}^{пер} = \frac{(t_{1(2)}^{пер} - \tau_{гр}^{пер})}{R_{1(2)н}}.$$

Е.2.2 Два трубопровода запроектированы на работу с одинаковой расчетной температурой (два подающих или два обратных трубопровода, в т.ч. с различными диаметрами)

а) Определяются нормы теплового потока $q_{1н}$ (или $q_{2н}$) по $t_{1р}$ (или $t_{2р}$), равным 50 °С.

б) Термическое сопротивление трубопроводов определяется без учета взаимного влияния трубопроводов по формулам:

$$R_{1н} = \frac{(t_{1р} - \tau_{гр.р}^{сп.г})}{q_{1н}}; \quad R_{2н} = \frac{(50 - \tau_{гр.р}^{сп.г})}{q_{2н}}.$$

в) Определяется плотность теплового потока при работе одного трубопровода:

$$q_{1(2)н}^{пер} = \frac{(t_{1(2)}^{пер} - \tau_{гр}^{пер})}{R_{1(2)н}}.$$

Е.3 Расчетные формулы для канальной и бесканальной прокладки ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводов

Расчетные значения плотности теплового потока при расчетной температуре в подающем трубопроводе приведены:

- для канальной прокладки – в таблицах Б.13, Б.15, Б.17 Пособия;
- для бесканальной прокладки – в таблицах Б.14, Б.16, Б.18 Пособия.

Плотность теплового потока в расчетный период при заданных температурах теплоносителя и грунта определяется по формулам:

– для ПИ-трубопроводов:

$$q_{1(2)н}^{пер} = \frac{q_{1(2)н} (t_{1(2)}^{пер} - \tau_{гр}^{пер})}{90 - 5};$$

– для ГПИ-, ГСИ-трубопроводов:

$$q_{1(2)н}^{пер} = \frac{q_{1(2)н} (t_{1(2)}^{пер} - \tau_{гр}^{пер})}{65 - 5}.$$

Приложение Ж (справочное)

Расчет тепловых потерь на участке с общей тепловой изоляцией паропровода и конденсатопровода

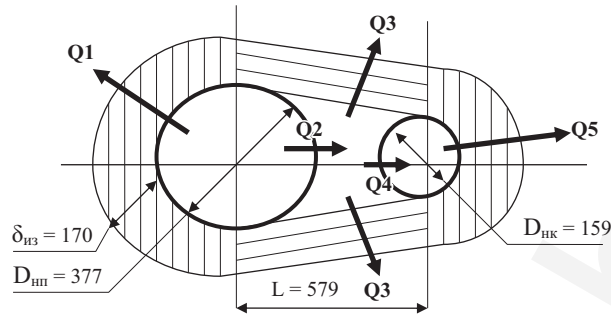


Рисунок Ж.1 – Конструкция общей тепловой изоляции паропровода и конденсатопровода

Ж.1 Расчетные формулы для определения тепловых потерь через тепловую изоляцию и на нагрев конденсата

$$R_1 = \frac{\ln((D_{\text{нп}} + 2\delta_{\text{из}})/D_{\text{нп}})}{2\pi\lambda_{\text{из}}} + \frac{1}{\pi(D_{\text{нп}} + 2\delta_{\text{из}})\alpha_{\text{в}}};$$

$$R_2 = 2\left(\frac{\ln(D_{\text{нп}}/D_{\text{внп}})}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} + \frac{1}{\pi D_{\text{нп}}\alpha_{\text{тр}}}\right);$$

$$R_3 = \frac{1/\alpha_{\text{вн}} + \delta_{\text{из}}/\lambda_{\text{из}} + 1/\alpha_{\text{в}}}{F}, \text{ где } F = 2\left(L^2 - \left(\frac{D_{\text{нп}} - D_{\text{нк}}}{2}\right)^2\right)^{0.5};$$

$$R_4 = 2\left(\frac{\ln(D_{\text{нк}}/D_{\text{внк}})}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} + \frac{1}{\pi D_{\text{нк}}\alpha_{\text{внк}}}\right);$$

$$R_5 = \frac{\ln((D_{\text{нк}} + 2\delta_{\text{из}})/D_{\text{нк}})}{2\pi\lambda_{\text{из}}} + \frac{1}{\pi(D_{\text{нк}} + 2\delta_{\text{из}})\alpha_{\text{в}}};$$

$$\tau_{\text{вн}} = \frac{t_{\text{п}}/R_2 + t_{\text{к}}/R_4 + \tau_{\text{нв}}/R_3}{1/R_2 + 1/R_4 + 1/R_3},$$

где $\lambda_{\text{из}}$ — коэффициент теплопроводности теплоизоляции, Вт/м·°С;

$\alpha_{\text{в}}$ — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к воздуху, принимается равным 23 Вт/м²·°С;

$\lambda_{\text{тр}}$ — коэффициент теплопроводности стали, принимается равным 58 Вт/м·°С;

$\alpha_{\text{тр}}$ — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности паропровода к внутреннему воздуху $t_{\text{вн}}$, принимается равным 15 Вт/м²·°С;

$\alpha_{\text{вн}}$ — коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха $t_{\text{вн}}$ к поверхности изоляции, принимается равным 8 Вт/м²;

$\alpha_{\text{внк}}$ — коэффициент теплоотдачи от внутреннего воздуха $t_{\text{вн}}$ к конденсатопроводу, принимается равным 9 Вт/м²·°С;

$t_{\text{п}}$, $t_{\text{к}}$, $\tau_{\text{нв}}$, $\tau_{\text{вн}}$ — температуры пара, конденсата, наружного воздуха и воздуха внутри теплоизоляционной конструкции, °С.

Удельные тепловые потери определяются по формулам:

$$q_1 = \frac{t_n - \tau_{\text{нв}}}{2R_1}; \quad q_2 = \frac{t_n - \tau_{\text{вн}}}{R_2}; \quad q_3 = \frac{\tau_{\text{вн}} - \tau_{\text{нв}}}{R_3}; \quad q_4 = \frac{\tau_{\text{вн}} - t_k}{R_4}; \quad q_5 = \frac{t_k - \tau_{\text{нв}}}{2R_5}.$$

Ж.2 Расчет удельных тепловых потерь при нормативных параметрах пара, конденсата и окружающей среды

Температура пара $t_n = 276 \text{ }^\circ\text{C}$, температура конденсата $t_k = 90 \text{ }^\circ\text{C}$, температура наружного воздуха $\tau_{\text{нв}} = 5,1 \text{ }^\circ\text{C}$, $\lambda_{\text{из}} = 0,067 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$.

$$q_1 + q_3 = 85,5 + 89,3 = 174,8 \text{ Вт/м}; \quad q_4 = 315,1 \text{ Вт/м}; \quad q_5 = 16,1 \text{ Вт/м}.$$

Тепло, идущее на нагрев конденсата, $q_4 - q_5 = 315,1 - 16,1 = 299,0 \text{ Вт/м}$.

Приложение К (справочное)

Методология определения линейной плотности теплового потока для тепловых сетей при заданных теплотехнических характеристиках теплоизоляционной конструкции

К.1 Подземная прокладка в непроходных каналах

К.1.1 Термическое сопротивление канала $R_{\text{кан}}$, $\text{м}^{\circ}\text{С}/\text{Вт}$, определяют по ТКП 642 (формулы (6.1)–(6.5)).

К.1.2 Термическое сопротивление теплоотдаче поверхности изоляции подающего и обратного трубопроводов $R_{\text{н1(2)}}$, $\text{м}^{\circ}\text{С}/\text{Вт}$, определяют по формулам:

К.1.2.1 для всех, кроме ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводов:

$$R_{\text{н}} = \frac{1}{\pi \alpha_{\text{н}} (d_{\text{н}} + 2\delta_{\text{из}})},$$

где $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр трубопровода, м;

$\delta_{\text{из}}$ – толщина изоляции трубопровода, м;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности теплоизоляционной конструкции в окружающий воздух. Для покрытий с высоким коэффициентом излучения (штукатурка, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные краски) принимается равным $10 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{С}$.

Толщина тепловой изоляции для уплотняющих материалов должна определяться на основании паспортной толщины теплоизоляционного материала с учетом коэффициента уплотнения $K_{\text{в}}$ по формуле

$$\delta_{\text{из}} = \frac{-(K_{\text{в}} d_{\text{н}} - 2\delta_{\text{из}}^{\text{пр}}) + \sqrt{(K_{\text{в}} d_{\text{н}} - 2\delta_{\text{из}}^{\text{пр}})^2 + 4K_{\text{в}} d_{\text{н}} \delta_{\text{из}}^{\text{пр}}}}{2K_{\text{в}}},$$

где $\delta_{\text{из}}^{\text{пр}}$ – паспортная толщина теплоизоляционного материала, м;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент уплотнения теплоизоляционного материала, м. Определяется по таблице 11.1 [3];

К.1.2.2 для ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводов:

$$R_{\text{н}} = \frac{1}{\pi \alpha_{\text{н}} D},$$

где D – наружный диаметр трубы-оболочки подающего (обратного) трубопровода, м.

К.1.3 Термическое сопротивление теплоизоляционной конструкции подающего и обратного трубопроводов $R_{\text{из1(2)}}$, определяется по формулам:

К.1.3.1 для всех, кроме ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводов:

$$R_{\text{из}} = \frac{1}{2\pi \lambda_{\text{из}}} \ln \frac{d_{\text{н}} + 2\delta_{\text{из}}}{d_{\text{н}}},$$

где $\lambda_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности изоляции. Принимается по СН 4.02.02;

К.1.3.2 для ПИ-трубопроводов:

$$R_{\text{из}}^{\text{I}} = \frac{1}{2\pi \lambda_{\text{из}}} \ln \frac{D - 2\delta_{\text{об}}}{d_{\text{н}}} + \frac{1}{2\pi \lambda_{\text{об}}} \ln \frac{D}{D - 2\delta_{\text{об}}},$$

где $\lambda_{\text{об}}$ – коэффициент теплопроводности трубы-оболочки, принимается равным $0,43 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^{\circ}\text{С}$;

$\lambda_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности ППУ-изоляции, принимается равным $0,033 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^{\circ}\text{С}$ в соответствии с СН 4.02.02;

$d_{\text{н}}$ – наружный диаметр напорной трубы, м;

D – наружный диаметр трубы-оболочки, м;

$\delta_{об}$ – толщина стенки трубы-оболочки, м;

К.1.3.3 для ГПИ-, ГСИ-трубопроводов:

$$R_{из} = \frac{1}{2\pi\lambda_{тр}} \ln \frac{d_n}{d_n - 2\delta_{тр}} + \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \ln \frac{D - 2\delta_{об} - h_r}{d_n} + \frac{1}{2\pi\lambda_{об}} \ln \frac{D - h_r}{D - 2\delta_{об} - h_r},$$

где $\lambda_{тр}$ – коэффициент теплопроводности напорной трубы, Вт/м·°С. Для ГПИ-труб равен 0,38; для ГСИ-труб – 35;

$\lambda_{об}$ – коэффициент теплопроводности трубы-оболочки, принимается равным 0,43 Вт/м·°С;

$\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности ППУ-изоляции, в соответствии с СН 4.02.02-2019 принимается равным 0,033 Вт/м·°С;

$\delta_{тр}$ – толщина стенки напорного трубопровода, м;

h_r – высота впадины гофра трубы-оболочки, м.

К.1.4 Суммарное термическое сопротивление трубопровода при прокладке в непроходных каналах определяется по формуле

$$R_{тр} = R_n + R_{из}.$$

Термические сопротивления ПИ-, ГПИ-, ГСИ-трубопроводов приведены в ТКП 642 (таблицы Б.15, Б.17, Б.19).

К.1.5 Температуру воздуха в канале определяют по ТКП 642 (формула (6.11)). Указанная формула справедлива для количества трубопроводов n .

К.1.6 Плотность теплового потока для каждого трубопровода определяется по ТКП 642 (формула (6.13)).

К.2 Подземная бесканальная прокладка

К.2.1 Плотность теплового потока с трубопроводов при бесканальной прокладке, расположенных в грунте на одинаковом расстоянии от поверхности грунта до оси трубопроводов H , м, определяют по следующим формулам:

– для подающего трубопровода:

$$q_1^I = \frac{(t_1 - \tau_{гр}) \cdot (R_{из2}^I + R_{гр2}) - (t_2 - \tau_{гр}) \cdot R_0}{(R_{из1}^I + R_{гр1}) \cdot (R_{из2}^I + R_{гр2}) - R_0^2};$$

– для обратного трубопровода:

$$q_2^I = \frac{(t_2 - \tau_{гр}) \cdot (R_{из1}^I + R_{гр1}) - (t_1 - \tau_{гр}) \cdot R_0}{(R_{из1}^I + R_{гр1}) \cdot (R_{из2}^I + R_{гр2}) - R_0^2},$$

где t_1, t_2 – температура воды в подающем и обратном трубопроводе, °С;

$\tau_{гр}$ – температура грунта на глубине оси заложения трубопроводов, °С

R_0 – термическое сопротивление, обусловленное тепловым взаимодействием двух трубопроводов, м·°С/Вт;

$R_{гр}$ – термическое сопротивление грунта, м·°С/Вт.

К.2.2 Термическое сопротивление грунта $R_{гр}$, м·°С/Вт, определяют по формуле

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}} \ln \left[\frac{2H}{d_{н(2)}} + \sqrt{\left(\frac{2H}{d_{н(2)}} \right)^2 - 1} \right],$$

где H – расстояние от поверхности грунта до оси трубопроводов, м;

$\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/м·°С.

К.2.3 Термическое сопротивление R_0 , $\text{м}^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$, определяют по формуле

$$R_0 = \frac{\ln \sqrt{1 + (2H/K_{1,2})^2}}{2\pi\lambda_{\text{гр}}},$$

где $K_{1,2}$ – расстояние между осями трубопроводов по горизонтали, м.

К.3 Прокладка на открытом воздухе, в помещении, тоннеле

К.3.1 Плотность теплового потока при прокладке на открытом воздухе, в помещении, тоннеле определяется по формуле

$$q = \frac{t - \tau}{R_{\text{тр}}},$$

где τ – температура окружающей трубопровод среды, $^{\circ}\text{C}$.

$R_{\text{тр}}$ определяется по формулам, приведенным в К.1.2–К.1.4, при этом α_n принимается равным:

– $10 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ – для прокладки в помещении и тоннеле для покрытий с высоким коэффициентом излучения (штукатурка, асбестоцементные покрытия, стеклопластики, различные краски);

– $26 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C}$ – для прокладки на открытом воздухе при отсутствии сведений о скорости ветра.

Температура окружающей трубопровод среды τ , $^{\circ}\text{C}$, принимается в соответствии с ТКП 642 (п. 5.3.1).

Библиография

- [1] СТП 33240.20.501-23 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Третье издание
- [2] СТП 33240.38.302-21 Методические указания по испытаниям водяных и паровых сетей на тепловые потери через изоляцию трубопроводов
- [3] Пособие к техническому кодексу установившейся практики П1-2018 к ТКП 45-4.02-323-2018 Проектирование, расчет и устройство тепловой изоляции оборудования и трубопроводов
- [4] Манюк, И.В. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник. М. 1988