



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный  
технический университет**

---

**Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»**

**В. М. Копко  
Д. Б. Муслина**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ  
С ГИБКИМИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО  
ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТРУБАМИ**

**Учебно-методическое пособие  
по выполнению дипломного проекта**

**Минск  
БНТУ  
2016**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

В. М. Копко  
Д. Б. Муслина

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ С ГИБКИМИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТРУБАМИ

Учебно-методическое пособие по выполнению  
дипломного проекта (теплоснабжение) для студентов  
специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция  
и охрана воздушного бассейна»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением  
по образованию в области строительства и архитектуры*

Минск  
БНТУ  
2016

УДК 697.34(075.8)

ББК 31.38я7

К65

**Рецензенты:**

*П.И. Дячек, В.Д. Акельев*

**Копко, В. М.**

К65 Проектирование тепловых сетей с гибкими предварительно изолированными трубами: учебно-методическое пособие по выполнению дипломного проекта для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»/ В.М. Копко, Д. Б. Муслина. – Минск: БНТУ, 2016 – 21 с.  
ISBN 978-985-550-533-5.

Изложены материалы для проектирования и расчета тепловых сетей из гибких предварительно изолированных теплопроводов.

**УДК 697.34(075.8)**

**ББК 31.38я7**

**ISBN 978-985-550-533-5**

© Копко В.М., Муслина Д. Б., 2016  
© Белорусский национальный  
технический университет, 2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| 1. Гибкие предварительно<br>изолированные теплопроводы.....                | 4  |
| 2. Расчет на устойчивость ПИ-теплопроводов<br>бесканальной прокладки ..... | 9  |
| 3. Растяжка сильфонных компенсаторов. ....                                 | 14 |
| Список использованных источников.....                                      | 17 |
| Приложения. ....   | 18 |

## 1. ГИБКИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫЕ ТЕПЛОПРОВОДЫ

Одной из наиболее современных технологий является производство и применение гибких гофрированных предварительно изолированных (ГПИ) труб типа ИЗОПРОФЛЕКС и КАСАФЛЕКС.

Основные преимущества ГПИ-труб перед стальными ПИ-трубами традиционной конструкции:

- экономическая целесообразность: затраты на строительство и эксплуатацию примерно в два раза ниже, потери тепла при транспортировке теплоносителя снижаются до 3–5 %;

- долговечность: срок эксплуатации трубопроводов по заявлению производителей составляет 50 лет и более;

- коррозионная стойкость;

- самокомпенсация участков теплопроводов, т. е. отсутствие необходимости использования естественной компенсации за счет углов поворотов и применения специальных компенсирующих устройств;

- скорость монтажа в 10 и более раз выше;

- гибкость трубы дает возможность плавно обходить препятствия;

- система позволяет производить замену элементов трубопроводов с отключением потребителя всего лишь на 2–3 ч, что, по сути, дает возможность производить эту работу в зимний период;

- возможность замены изношенных металлических трубопроводов в существующих железобетонных каналах без выполнения земляных работ и разборки каналов.

Главным фактором применения гибких ПИ-труб является то, что завод-изготовитель поставляет эти трубы на объекты длинномерными отрезками в бухтах длиной более 100 м. При их монтаже исключаются грузоподъемные, бетонные, гидроизоляционные работы, что значительно сокращает срок прокладки теплопроводов. Процесс прокладки ГПИ-труб сводится к простому опусканию трубы в подготовленную траншею и приварке концевых участков трубы к существующим отсекающим устройствам.

Отсутствие необходимости установки компенсаторов также является достоинством этих труб, поскольку все деформации трубопроводов, связанные с температурными расширениями, труба способна компенсировать за счет гофров и своей пластичности.

Не допускается бесканальная прокладка трубопроводов, в том числе из ГПИ-труб, по территории лечебно-профилактических, детских дошкольных и школьных учреждений, а также при пересечении улиц, трамвайных путей и железных дорог. Прокладку ГПИ-трубопроводов в этих случаях следует осуществлять в непроходных каналах или футлярах.

Глубина заложения трубопроводов из ГПИ-труб (до верха полиэтиленовой оболочки) должна составлять не менее 0,6 и не более 2,0 м. При глубине 2,0 м и более прокладку следует осуществлять в футлярах или непроходных каналах.

Запорную арматуру на трубопроводах ГПИ-труб сетей горячего водоснабжения следует предусматривать только в здании. Запорную арматуру на ответвлениях трубопроводов из ГПИ-труб сетей отопления устанавливают при отключении более трех отдельно стоящих зданий, на теплопроводах под коврами или в колодцах.

Установка компенсаторов и компенсирующих устройств для температурных удлинений, а также неподвижных опор на трубопроводах из ГПИ-труб не требуется.

Для обозначения теплотрассы под землей на расстоянии 40 см над поверхностью ГПИ-труб укладывается сигнальная лента с надписью «Внимание! Теплосеть».

Трубы ИЗОПРОФЛЕКС, ИЗОПРОФЛЕКС А предназначены для подземной бесканальной прокладки сетей отопления и горячего водоснабжения и изготавливаются из напорной трубы из сшитого полиэтилена «Джи-Пекс», «Джи-Пекс А (армированный) с тепловой изоляцией из пенополиуретана и защитной гофрированной полиэтиленовой гидроизолирующей оболочки.

Сшитый полиэтилен ПЭ-Х не содержит токсических компонентов и поэтому может использоваться для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Физические свойства труб из ПЭ-Х позволяют производить их укладку без учета теплового расширения. Кроме этого они обладают «памятью» и при каких-либо деформациях способны к восстановлению своего первоначального состояния. Сшитый полиэтилен не склонен к накоплению налета на внутренней поверхности труб, что исключает процесс «зарастания» трубы.

ГПИ-трубы ИЗОПРОФЛЕКС применяют для сетей горячего водоснабжения и отопления с максимальной температурой теплоноси-

теля 95 °С и максимальным давлением 0,6 МПа, а трубы ИЗОПРОФЛЕКС А – на рабочее давление 1,0 МПа.

В зависимости от толщины тепловой изоляции ГПИ-трубы ИЗОПРОФЛЕКС выпускают двух видов: ИЗОПРОФЛЕКС стандартный и ИЗОПРОФЛЕКС-ПЛЮС усиленный (для районов с отрицательной среднегодовой температурой наружного воздуха).

В комплект к трубопроводам ИЗОПРОФЛЕКС входят стальные пресс-фитинги с подвижными гильзами для соединения со стальной трубой, пресс-муфты равнопроходные (стальные) для соединения отдельных труб между собой, стальные пресс-муфты с подвижными гильзами для перехода труб разных диаметров, стальные отводы с углом изгиба 90 °С, пресс-тройники равнопроходные стальные и с ответвлениями меньшего диаметра. Все эти комплектующие выполнены из нержавеющей стали. Все оборудование, размеры, комплектация, технические характеристики и эскизы приведены в [1].

Как разновидность применяются трубопроводы ИЗОПРОФЛЕКС-МВТ, предназначенные для прокладки трубопроводов внутри зданий и сооружений для сетей:

- холодного водоснабжения, транспортирующих воду максимальным рабочим давлением 0,6 или 1,0 МПа;

- горячего водоснабжения при температуре воздуха до 75 °С и максимальном рабочем давлении 0,6 или 1,0 МПа;

- отопления, работающих по графику центрального качественного регулирования отпуска тепла потребителям с температурой до 95 °С и максимальном рабочем давлении 0,6 или 1,0 МПа.

В качестве теплоизоляционного слоя в трубопроводах ИЗОПРОФЛЕКС-МВТ применяется прессованная минеральная вата (цилиндры) марки 100 с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,048 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$  при температуре 25 °С и  $\lambda = 0,067 \text{ Вт/м} \cdot \text{°С}$  – при температуре 125 °С.

В комплект трубопроводов ИЗОПРОФЛЕКС-МВТ кроме труб входят стальные пресс-фитинги с подвижными гильзами для соединения со стальной трубой, пресс-муфты равнопроходные (стальные) для соединения отдельных труб между собой, стальные пресс-муфты с подвижными гильзами для перехода диаметров, стальные отводы с углом изгиба 90°, пресс-тройники равнопроходные стальные и с отверстиями меньшего диаметра. Все эти комплектующие выпол-

нены из нержавеющей стали. Все оборудование, размеры, комплектация, технические характеристики и эскизы приведены в [1].

Варианты трассировки трубопроводов ИЗОПРОФЛЕКС приведены в прил. 1.

Гибкие ПИ-трубы КАСАФЛЕКС предназначены для подземной бесканальной прокладки тепловых сетей с температурой теплоносителя до 130 °С и рабочим давлением 1,6 МПа, применяются для прокладки внутриквартирных теплопроводов отопления и горячего водоснабжения.

В комплект КАСАФЛЕКС входит спиралевидная гофрированная напорная труба из нержавеющей стали. Теплоизоляция изготовлена из вспененного полиуретана. Гидроизолирующая оболочка выполнена из полиэтилена.

Плотность тепловой изоляции из пенополиуретана  $\rho = 55\text{--}75 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводность при средней температуре 50 °С  $\lambda \leq 0,032 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$ .

Трубы КАСАФЛЕКС самокомпенсируемые. При их прокладке не требуются компенсаторы, отводы, промежуточные неподвижные опоры. Трубы не подвержены внешней и внутренней коррозии, их пропускная способность сохраняется в течение всего срока эксплуатации.

Гибкость труб КАСАФЛЕКС позволяет плавно обходить препятствия, строения, коммуникации, отдельно стоящие деревья. Эти трубы целесообразно использовать в плотной городской застройке. Для соединения труб между собой, осуществления переходов на другие диаметры, ответвлений, соединения со стальными трубами имеются соответствующие фитинги и ответвления, выполненные из нержавеющей стали. Выпускаются трубы  $D_v$  50, 60, 80, 100 и 140 мм.

Варианты трассировки трубопроводов КАСАФЛЕКС представлены в прил. 2.

Устройство неподвижных опор следует предусматривать в местах присоединения гибких трубопроводов КАСАФЛЕКС к стальным трубопроводам на вводах в здания со стороны стальных трубопроводов, чтобы стальные трубы и арматура не создавали дополнительных нагрузок на гибкие трубопроводы.

Гидравлический расчет трубопроводов из ГПИ производят согласно ТКП 45-4.02-182. Линейные потери давления в трубах ИЗОПРОФЛЕКС и КАСАФЛЕКС определяются по номограммам (прил. 3 и 4), а также по рекомендациям, приведенным в [2].



Потери давления в местных сопротивлениях труб ГПИ принимаются равными 0,1 от потерь давления по длине.

При проектировании тепловых сетей из вышеприведенных труб ИЗОПРОФЛЕКС и КАСАФЛЕКС следует также руководствоваться нормативными материалами, приведенными в [4, 5 и 6].

## 2. РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПИ-ТЕПЛОПРОВОДОВ БЕСКАНАЛЬНОЙ ПРОКЛАДКИ

Трубопроводы бесканальной прокладки работают в условиях знакопеременных нагрузок, обусловленных изменениями температуры теплоносителя.

Компенсация температурных деформаций стальных ПИ-труб осуществляется следующими способами:

- компенсационным методом (П-образные компенсаторы, углы поворота трассы в виде Г-образных, Z-образных компонентов);
- методом предварительного нагрева трубопровода как с использованием стартовых компенсаторов, так и без них;
- сильфонными компенсаторами (СК) или сильфонными компенсирующими устройствами (СКУ).

Примеры расчетов компенсации на температурные деформации ПИ-труб приведены в [6].

Помимо расчетов на компенсацию температурных деформаций ПИ-трубы рекомендуется проверять на устойчивость (продольный изгиб). Обязательная проверка на устойчивость проводится в следующих случаях:

- при малой глубине заложения ПИ-труб (менее 1 м от оси труб до поверхности земли);
- вероятности затопления ПИ-труб грунтовыми, паводковыми или другими водами;
- вероятности ведения рядом с теплотрассой земляных работ.

Обязательная проверка на устойчивость проводится также в случае прокладки участка трубопровода в канале или надземным способом.

Стабилизирующее влияние на устойчивость трубопровода оказывает вертикальная нагрузка  $R_v$ , которая должна быть больше критического усилия  $R_{кр}$  от наиболее невыгодного сочетания воздействий и нагрузок на трубопровод, при котором теплопровод теряет устойчивость, т. е.  $R_v > R_{кр}$ .

Вертикальная нагрузка на трубопровод определяется по выражению

$$R_v = q_{гр} + q_{тр} = 2S_{сд}, \text{ Н/м,}$$

где  $q_{гр}$  – вес грунта над теплопроводом, Н/м;

$q_{тр}$  – вес 1 м теплопровода с водой, Н/м;

$S_{сд}$  – сдвигающая сила, возникающая в результате действия давления грунта в состоянии покоя, Н/м.

Для случаев, когда уровень стояния грунтовых вод ниже глубины заложения трубопровода:

$$S_{сд} = 0,5\gamma h^2 k_o tg \varphi_{гр};$$

$$q_{гр} = \gamma \left( hd_{об} - \frac{d_{об}^2 \pi}{8} \right),$$

где  $\gamma$  – удельный вес грунта, Н/м<sup>3</sup>;

$h$  – глубина заложения оси трубопровода, м;

$k_o$  – коэффициент давления грунта в состоянии покоя:  $k_o = 0,5$ ;

$\varphi_{гр}$  – угол внутреннего трения грунта;

$d_{об}$  – наружный диаметр оболочки трубопровода, м.

Критическое усилие на теплопровод определяется по выражению [2]

$$R_{кр} = \frac{1,1N^2}{EJ} \cdot 100i, \text{ Н/м,}$$

где  $N$  – осевое сжимающее усилие в трубе, Н;

$E$  – модуль упругости материала трубы, Н/мм<sup>2</sup>;

$J$  – момент инерции трубы, см<sup>4</sup>;

$i$  – начальный изгиб трубы, м.

$$i = \frac{l_{изг}}{200},$$

где  $l_{изг}$  – длина местного изгиба теплопровода:

$$l_{изг} = 0,1\pi \sqrt{\frac{EJ}{|N|}}, \text{ м,}$$

где  $|N|$  – абсолютное значение величины осевого сжимающего усилия в трубе, Н.

Осевое сжимающее усилие  $N$  в защищаемом участке прямой трубы с равномерно распределяемой вертикальной нагрузкой определяется по выражению [2]

$$N = - \left[ F_{\text{ст}} \left( E\alpha\Delta t 10^{-3} - 0,3\sigma_{\text{раст}} \right) + PF_{\text{пл}} \right], \text{ Н,}$$

где  $F_{\text{ст}}$  – площадь поперечного кольцевого сечения стенки трубы,  $\text{мм}^2$ ;  
 $\alpha$  – коэффициент расширения стали,  $\text{мм}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$$\Delta t = \tau_1 - t_{\text{монт}}, ^\circ\text{C},$$

здесь  $\tau_1$  – расчетная температура сетевой воды в трубопроводе,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{монт}}$  – температура трубы при монтаже,  $^\circ\text{C}$ ;

$\sigma_{\text{раст}}$  – растягивающее окружное напряжение от внутреннего давления,  $\text{Н}/\text{мм}^2$ ;

$P$  – внутреннее давление, МПа;

$F_{\text{пл}}$  – площадь действия внутреннего давления ( $0,785 d_b^2$ ),  $\text{мм}^2$ .

### Пример

Произвести проверку на устойчивость трубопровода диаметром  $325 \times 8$  мм, проложенного бесканально, если уровень стояния грунтовых вод ниже глубины прокладки трубопровода.

Исходные данные:

глубина заложения грунта по отношению к оси трубопровода  $h = 1,0$  м;

удельный вес грунта  $\gamma = 18000$   $\text{Н}/\text{м}^3$ ;

диаметр оболочки ПИ-трубы  $d_{\text{об}} = 0,45$  м;

коэффициент давления грунта в состоянии покоя  $k_0 = 0,5$ ;

модуль упругости стальной трубы  $E = 2 \cdot 10^5$   $\text{Н}/\text{мм}^2$ ;

момент инерции трубы  $J = 10014$   $\text{см}^4$ ;

площадь поперечного сечения стенки трубы  $F_{\text{ст}} = 7940$   $\text{мм}^2$ ;

коэффициент расширения стали  $\alpha = 0,012$   $\text{мм}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ;

площадь действия внутреннего давления  $F_{пл} = 74952 \text{ мм}^2$ .

### Р е ш е н и е

Условие устойчивости сохраняется, когда стабилизирующая вертикальная нагрузка на трубопровод  $R_v$  будет больше критического усилия от неблагоприятного сочетания нагрузок и воздействий  $R_{кр}$ .

Вес грунта над трубопроводом.

$$q_{гр} = 18000 \left( 1 \cdot 0,45 - \frac{0,45^2 \cdot 3,14}{8} \right) = 6669 \text{ Н/м.}$$

Сдвигающая сила  $S_{сд}$ , возникающая в трубопроводе в результате давления грунта в состоянии покоя при  $\varphi_{гр} = 35^\circ$ :

$$S_{сд} = 0,5 \cdot 18000 \cdot 1^2 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = 3150 \text{ Н/м.}$$

Стабилизирующая вертикальная нагрузка на трубопровод при весе 1 м трубопровода с водой  $q_{тр} = 1638 \text{ Н/м}$  составит

$$R_v = 6669 + 1638 + 2 \cdot 3150 = 14607 \text{ Н/м.}$$

Осевое сжимающее усилие в защемленном участке трубы  $N$  находим при

$$\Delta t = \tau_1 - t_{\text{монт}} = 150 - 10 = 140 \text{ }^\circ\text{C}$$

и растягивающем окружном напряжении в трубе

$$\sigma_{\text{раст}} = \frac{r}{\delta} P = \frac{154,5}{8} \cdot 1,6 = 30,9 \text{ Н/мм}^2,$$

где  $r$  – внутренний радиус трубы, мм;

$\delta$  – толщина стенки трубы, мм;

$P$  – давление теплоносителя,  $\text{Н/мм}^2$ .

Тогда

$$N = -\left(7940\left(2 \cdot 10^5 \cdot 0,012 \cdot 140 \cdot 10^3 - 0,3 \cdot 30,9\right) + 1,6 \cdot 74952\right) = \\ = -2714159,4 \text{ Н.}$$

Длина местного изгиба трубопровода

$$l_{\text{изг}} = 0,1 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5 \cdot 10014}{2714159,4}} = 8,5 \text{ м.}$$

Начальный изгиб трубы

$$i = \frac{8,5}{200} = 0,0425.$$

Тогда критическое усилие на трубопровод

$$R_{\text{кр}} = \frac{1,1 \cdot 2714159,4^2}{2 \cdot 10^5 \cdot 10014} \cdot 100 \cdot 0,0425 = 17195,5 \text{ Н/м.}$$

Критическое усилие на трубопровод  $R_{\text{кр}} = 17195,5$  Н/м оказалось больше стабилизирующего значения вертикальной нагрузки на трубопровод  $R_{\text{в}} = 146074$  Н/м, следовательно, трубопровод находится в неустойчивом состоянии. Для выполнения условия  $R_{\text{в}} > R_{\text{кр}}$  примем глубину заложения трубопровода  $h = 1,2$  м. Тогда вес грунта под трубопроводом

$$q_{\text{гр}} = 18000 \cdot \left(1,2 \cdot 0,45 - \frac{0,45^2 \cdot 3,14}{8}\right) = 8298 \text{ Н/м.}$$

Сдвигающая сила, возникающая в результате давления грунта:

$$S_{\text{сд}} = 0,5 \cdot 18000 \cdot 1,2^2 \cdot 0,5 \cdot 0,7 = 4536 \text{ Н/м.}$$

Стабилизирующая вертикальная нагрузка на трубопровод

$$R_{\text{в}} = 8298 + 1638 + 2 \cdot 4536 = 19008 \text{ Н/м.}$$

Условие  $R_{\text{в}} > R_{\text{кр}}$  выполняется, т. е.  $19008 > 17195$  Н/м.

### 3. РАСТЯЖКА СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

С целью увеличения компенсирующей способности сильфонных компенсаторов возможно осуществление их растяжки при монтаже тепловых сетей. Это обстоятельство позволяет увеличить расстояние между сильфонными компенсаторами, особенно на длинных участках магистральных теплопроводов.

Как правило, величину растяжки принимают на половину удлинения участка:

$$\Delta_{\text{раст}} = \alpha \left( \tau_{\text{max}}^{\text{экс}} - t_{\text{монт}} \right) \frac{L}{2},$$

где  $\tau_{\text{max}}^{\text{экс}}$  – максимальная температура теплоносителя во время эксплуатации теплосети, для большинства городов Беларуси можно принять  $\tau_{\text{max}}^{\text{экс}} = 100$  °С;

$t_{\text{монт}}$  – температура трубопровода при монтаже, °С, для компенсатора следует принимать температуру трубы при растяжке компенсатора.

Максимальная величина амплитуды сильфонного компенсатора при расчетной максимальной температуре  $\tau_{\text{max}}^{\text{расч}} = 150$  °С определяется по выражению

$$\lambda_{\text{max}} = \alpha \left( \tau_{\text{max}}^{\text{расч}} - t_{\text{монт}} \right) L - \frac{f_{\text{тр}} L^2}{2EF_{\text{ст}}} - \Delta_{\text{раст}},$$

где  $F_{\text{ст}}$  – площадь поперечного сечения стенки трубы, мм<sup>2</sup>;

$f_{\text{тр}}$  – удельная сила трения оболочки труб о грунт:

$$f_{\text{тр}} = \mu(1 - 0,5 \sin \varphi_{\text{гр}}) \gamma h \pi d_{\text{об}} + q_{\text{тр}}, \text{ Н/м},$$

где  $\mu$  – коэффициент трения полиэтиленовой оболочки о грунт;  
 $\mu = 0,4$ ;

$\varphi_{\text{гр}}$  – угол внутреннего трения грунта;

$\gamma$  – удельный вес грунта, Н/м<sup>3</sup>;  
 $h$  – глубина заложения трубопровода, м;  
 $d_{об}$  – наружный диаметр полиэтиленовой оболочки трубы, м;  
 $q_{тр}$  – вес 1 м трубопровода с водой, изоляцией и оболочкой, Н/м.

Если максимальная величина амплитуды  $\lambda_{max}$  окажется больше 0,9  $\lambda_{табл}$  табличного (паспортного) значения амплитуды компенсатора, то необходимо несколько увеличить величину растяжки  $\Delta_{раст}$ .

### Пример

Определить величину растяжки сильфонного компенсатора СКУ при бесканальной прокладке.

Исходные данные:

диаметр трубопровода  $325 \times 8$  мм;

наружный диаметр полиэтиленовой оболочки  $d_{об} = 0,45$  м;

удельный вес грунта  $\gamma = 18000$  Н/м<sup>3</sup>;

глубина засыпки грунта по отношению к оси трубы  $h = 1,0$  м;

коэффициент трения полиэтиленовой оболочки по грунту  $\mu = 0,4$ ;

угол внутреннего трения грунта (для песка  $\varphi_{тр} = 30^\circ$ );

вес 1 м теплопровода с водой  $q_{тр} = 1638$  Н/м;

модуль упругости стальной трубы  $E = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>;

коэффициент линейного расширения стали  $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-5}$  м/(м · °С);

площадь поперечного сечения стенки трубы  $F_{ст} = 7940$  мм<sup>2</sup>.

Посередине участка длиной  $L = 200$  м с установлен компенсатор амплитудой осевого хода  $\lambda = 180$  мм.

### Решение

Находим величину растяжки компенсатора

$$\Delta_{раст} = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot (100 - 0) \frac{200}{2} = 0,125 \text{ м.}$$

Удельная сила трения оболочки трубы о грунт



$$f_{\text{тр}} = 0,4 \left( (1 - 0,5 \cdot 0,5) 18000 \cdot 1,0 \cdot 3,14 \cdot 0,45 + 1638 \right) = 8285 \text{ Н/м.}$$

Тогда максимальная величина амплитуды СКУ:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{max}} &= 1,25 \cdot 10^{-5} (150 - 0) \cdot 200 - \frac{8285 \cdot 200^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 7940} - 0,125 = \\ &= 0,146 \text{ м} = 146 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Поскольку максимальная величина амплитуды СКУ  $\lambda_{\text{max}}$  составляет 81 % от табличного давления амплитуды осевого хода  $\lambda_{\text{табл}} = 180$  мм, расчет растяжки компенсатора оставляем тот же. При  $\lambda_{\text{max}}$  больше 90 %  $\lambda_{\text{табл}}$  необходимо увеличить величину растяжки компенсатора  $\lambda_{\text{раст}}$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Альбом рекомендаций и технических решений по проектированию и монтажу труб «ИЗОПРОФЛЕКС». – Минск: БелЕвротрубПласт, 2007.
2. Практические рекомендации по проектированию тепловых сетей из труб ИЗОПРОФЛЕКС. – Минск: БелЕвротрубПласт, 2012.
3. Трубы «ИЗОПРОФЛЕКС» и «ИЗОПРОФЛЕКС-А» из сшитого полиэтилена с теплоизоляцией из пенополиуретана в гофрированной оболочке из полиэтилена: ТУ ВУ 190638721.002.–2012. – Минск, 2012.
4. Тепловые сети бесканальной прокладки стальных труб, предварительно термоизолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой оболочке. Правила проектирования и монтажа: ТКП 45-4.02-89–2007 (02250). – Минск: М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008.
5. Тепловые сети бесканальной прокладки из полимерных труб, предварительно термоизолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой оболочке. Правила проектирования и монтажа: ТКП 45-02-184–2009. – Минск: М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010.
6. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под ред. проф. Б.М. Хрусталева. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 784 с.

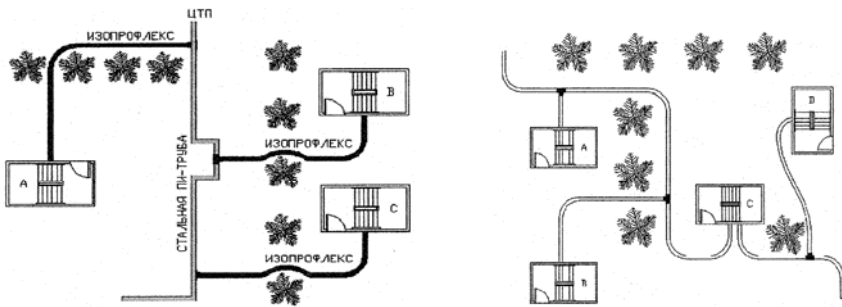
## ПРИЛОЖЕНИЯ

### ПРИЛОЖЕНИЕ 1

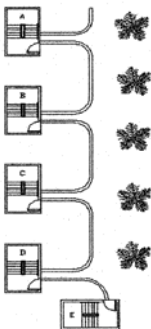
#### Выбор трассировки трассы

Исходя из особенностей гибких трубопроводов ИЗОПРОФЛЕКС, при проектировании сетей ГВС и отопления специальных мер по компенсации температурных расширений предусматривать не требуется.

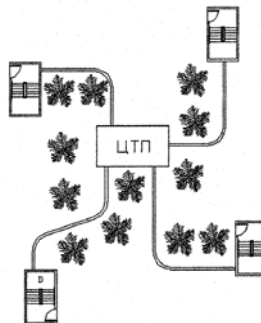
Соединение «труба ИЗОПРОФЛЕКС – стальная предварительно изолированная труба».



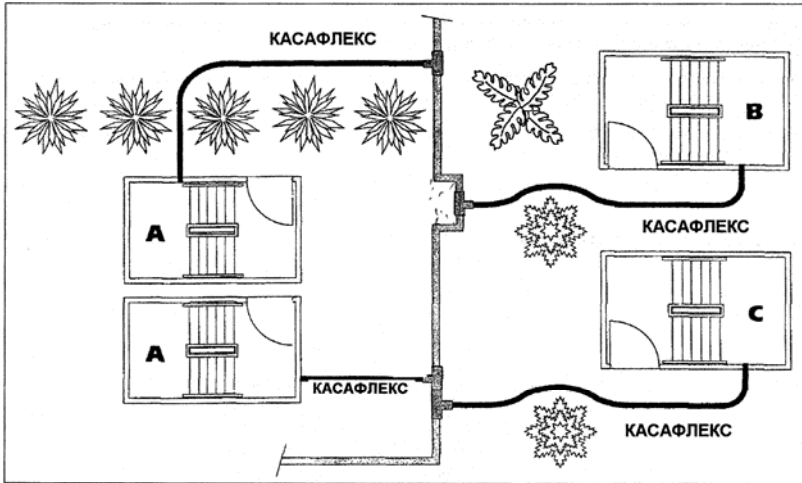
Последовательная схема укладки трубопроводов



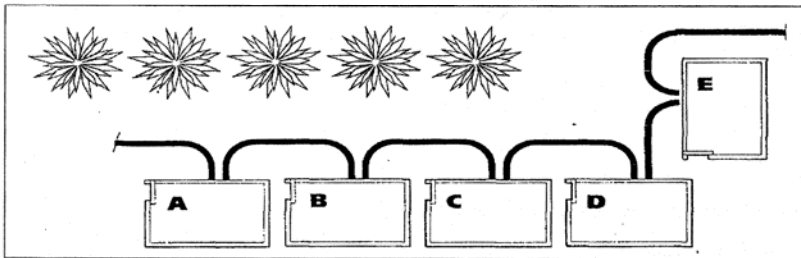
Веерная схема укладки трубопроводов



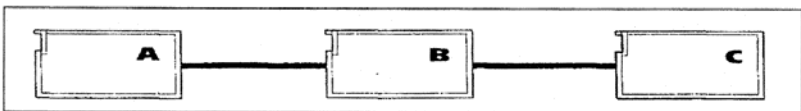
**Схемы трасс**



**Последовательная схема**

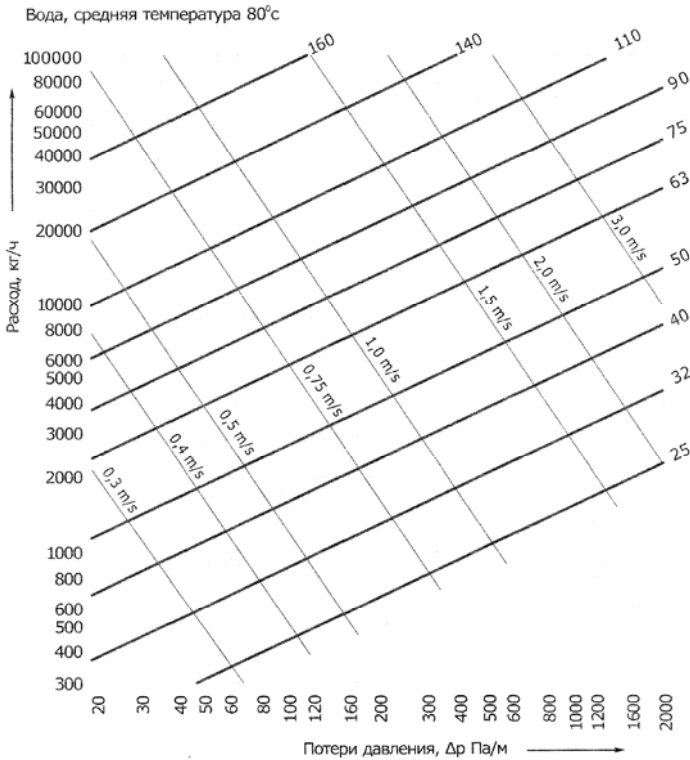


**Схема укладки от здания к зданию**

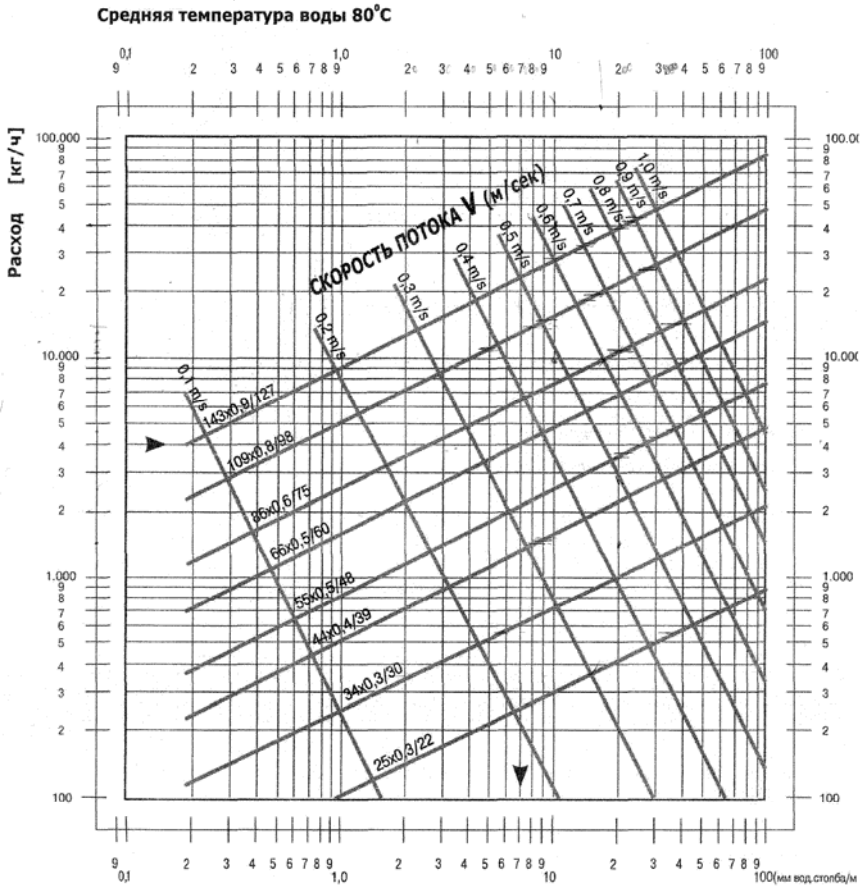


### Номограмма для гидравлического расчета трубопроводов ИЗОПРОФЛЕКС

При проектировании трубопроводов ИЗОПРОФЛЕКС можно воспользоваться приближенным гидравлическим расчетом. При проведении гидравлических расчетов гидравлические сопротивления стыковых соединений допускается не учитывать.



## Номограмма для гидравлического расчета трубопроводов КАСАФЛЕКС



Потери давления,  $\Delta p$  (Па/м)  
1 мм водяного столба = 9.81 Па

Учебное издание

**КОПКО** Виктор Михайлович  
**МУСЛИНА** Дарья Борисовна

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ  
С ГИБКИМИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО  
ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТРУБАМИ**

Учебно-методическое пособие по выполнению  
дипломного проекта (теплоснабжение) для студентов  
специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция  
и охрана воздушного бассейна»

Редактор *Т. Н. Микулик*  
Компьютерная верстка *К. Д. Николаевич*

Подписано в печать 08.04.2016. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,00. Тираж 300. Заказ 582.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.