

УДК 69.05

Мухаметрахимов Рустем Ханифович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Панченко Анастасия Александровна

инженер ПТО

ООО «Инжстрой»

Адрес организации: 420034, Россия, г. Казань, ул. Ленская, д. 10

Особенности технологии изготовления, монтажа и контроля качества трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции

Аннотация

Постановка задачи. Трубопровод – это главная и основная часть инженерно-коммуникационной инфраструктуры жилых и производственных зданий. От качества самих труб, их изоляции, качества монтажа зависит эксплуатационный срок службы инженерных систем. Цель исследований – изучить особенности технологии изготовления, монтажа и контроля качества трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции.

Результаты. В статье поэтапно рассмотрены процессы изготовления труб в ППУ ПЭ изоляции, технология их монтажа. Выявлены основные дефекты, несоответствия и причины их возникновения на данных этапах.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в уточнении особенностей системы контроля качества при изготовлении и монтаже труб ППУ ПЭ. Установлено, что причиной многочисленных дефектов является некачественный входной контроль, а также операционный контроль при изготовлении и монтаже труб в ППУ ПЭ изоляции. Предложен состав операций и средства контроля качества при устройстве трубопроводов.

Ключевые слова: трубы ППУ ПЭ, технология и организация строительства, монтаж, дефекты, повреждения, контроль качества.

Введение

В рамках реализации Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» в практику строительства активно внедряются новые материалы и технологии, позволяющие существенно сохранять энергетические и материальные ресурсы при эксплуатации объектов капитального и линейного строительства, а так же увеличить срок их службы. Анализ реализации энергетической стратегии России на период до 2020 года [1] показывает, что использование некачественных теплоизоляционных материалов в процессе строительства теплотрасс является причиной одной из основных проблем энергосбережения в России. К сожалению, на сегодняшний день нельзя признать удовлетворительной внедрение энергетической стратегии на период до 2020 года: не произошло уменьшение тепловых потерь системы централизованного теплоснабжения на 60 %, а так же увеличения производства тепловой энергии на 34 % [2]. Это подтверждает существующая статистика [2]: износ основных фондов централизованного теплоснабжения увеличился с 65 % до 70 % с 2010 года; срочный капитальный ремонт или полная замена требуются 82 % тепловых сетей, при этом теплопотери тепловых сетей составляют 30 %. На 100 км трубопроводов централизованного теплоснабжения приходится более 70 повреждений. Вышесказанное показывает, что основным направлением экономической и энергетической политики страны является повышение эффективности в сфере теплоснабжения. Значительный износ тепловых сетей требует значительных финансовых затрат. Применение труб в ППУ ПЭ изоляции с системой операционного дистанционного контроля (СОДК) позволит сократить потери теплоносителя, повысить его энергетический потенциал, увеличить

срок службы, что должно привести к снижению тарифов на тепловую энергию и достижения поставленных целей до 2030 года.

Трубопровод – это главная и основная часть инженерно-коммуникационной инфраструктуры жилых и производственных зданий. От качества самих труб и их изоляции целиком зависит эксплуатационный срок службы инженерных систем. Трубопровод с течением времени быстро изнашивается по разным причинам – коррозия и перепады температур, нарушения правил изготовления, монтажа и эксплуатации. Для снижения тепловых потерь разработана технология по ГОСТ 30732-2006, по которой трубы предварительно изолируют пенополиуретаном (ППУ), а для их гидроизоляции используют полиэтиленовую либо оцинкованную оболочку.

Анализ работ, выполненных за последнее время, свидетельствует об активном исследовании вопросов совершенствования производства, повышения качества монтажа и эксплуатации трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции, исследования взаимосвязи между дефектами качества и тепловыми характеристиками зданий, соблюдения сроков строительства [3-6].

Значительное количество исследовательских работ, направленных на повышение энергоэффективности теплоснабжения, выполнили Слепченко В.С., Петраков Г.П., Половников В.Ю. [7, 8]. Рекомендации по надежной и бесперебойной работе тепловых сетей и требования к качеству, выпускаемых труб в ППУ ПЭ изоляции, изложены в РМД 41-11-2012.

В работе [8] приводятся результаты исследований по влиянию инженерных сооружений на тепловые потери бесканальных теплопроводов. Определена разница между нормативными и расчетными значениями потерь тепловой энергии через теплоизоляционный слой. Авторами установлено завышение нормативных значений потерь тепловой энергии бесканальной тепловой трассы из труб в ППУ ПЭ изоляции. Ковалевским В.Б. [9-11] исследованы вопросы эффективности тепловых сетей бесканальной прокладки, нормативных тепловых потерь при бесканальной прокладке трубопроводов, технико-экономические показатели теплоизолированных труб для тепловых сетей бесканальной прокладки. Показано расхождение нормативных и расчетных потерь тепловой энергии при различных типах изоляции. Вопросы изучения системы контроля качества при строительстве наружных сетей водоснабжения и канализации рассмотрены в работе [12].

Технология изготовления труб в ППУ ПЭ изоляции

Трубы ППУ ПЭ изготавливаются в заводских условиях и имеют многослойную конструкцию «труба в трубе» (рис. 1). Процесс производства трубопроводов с ППУ ПЭ изоляцией имеет этапы, в ходе которых изготавливаются трубы и фасонные изделия, запорная арматура и шаровые краны в ППУ ПЭ изоляции с СОДК протечек трубопроводов. Впервые такое производство было организовано в Германии в 1976 году [13]. Стальные трубы круглого сечения могут быть горячедеформированными бесшовными общего назначения по ГОСТ 8732-78, электросварными прямошовными по ГОСТ 10705-80, стальными сварными прямошовными по ГОСТ 20295-85. Согласно ГОСТ 30732-2006, стальные трубы в изоляции могут быть оцинкованными, но данный стандарт регламентирует производство труб с ППУ ПЭ изоляцией, производство труб ППУ в оцинкованной оболочке не затрагивает. Марка стали трубы принимается в зависимости от условий эксплуатации. Есть два вида труб с ППУ изоляцией: стандартный тип изоляции – для районов с умеренным климатом, усиленный тип изоляции – для районов с холодным климатом.

ППУ изоляция представляет собой слой изолирующего материала, наносимого методом заливки жидкой субстанции в межтрубное пространство стальной и полиэтиленовой труб. Жесткий ППУ представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из полиола и полиизоционата. Для длительной сохранности ППУ изоляции применяются специальные защитные оболочки из полиэтилена низкого давления (ПНД по ГОСТ 18599-2001, ГОСТ 16338-85) или оцинкованной тонколистовой стали.

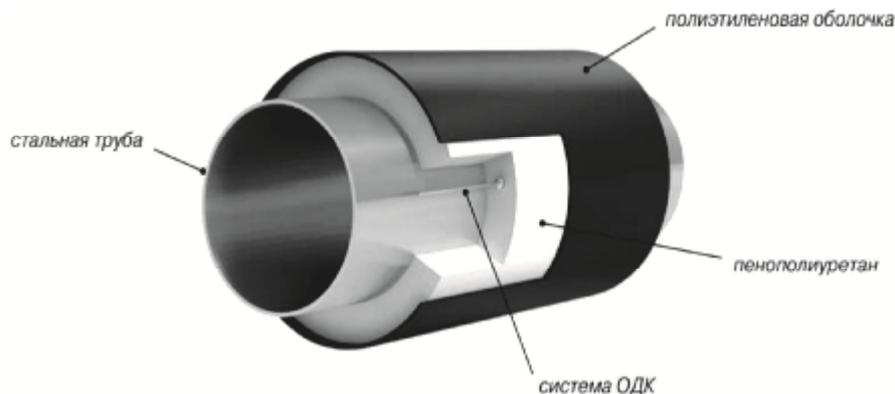


Рис. 1. Элемент трубопровода в ППУ-изоляции

Стальные трубы в ППУ изоляции с защитной оболочкой имеют систему операционного дистанционного контроля, позволяющую дистанционно отслеживать места протечек, а также повреждения основной трубы, повреждения трубы-оболочки, нарушения работы сигнального провода, неправильно смонтированные стыки труб с ППУ ПЭ изоляцией. В качестве проводников-индикаторов используются медные неизолированные провода. СОДК позволяет производить мониторинг состояния трубопровода на конкретном участке или по всей трубопроводной трассе. Данная система не совершенна и имеет перспективы развития, так, например, в работе [14] приводятся недостатки СОДК – неточное определение места разгерметизации покровного слоя ППУ и области распределения данного процесса. Автором предлагается усовершенствованная СОДК, содержащая датчики-полупроводники фиксирующие точное местоположение утечки теплоносителя и область его распространения. В другой работе [15] отмечена необходимость высокого качества монтажа труб с привлечением грамотных специалистов для эффективной работы СОДК.

Процесс производства труб в ППУ ПЭ изоляции включает следующие технологические операции [16]: первичный контроль поступающего сырья и материалов; предварительную обработку стальных труб и фасонных изделий; установку центрирующих колец – центраторов из ПНД и медного провода СОДК; протаскивание стальной трубы с центраторами в ПЭ трубу; установку заливочных заглушек на торцы с созданием при этом герметичной полости межтрубного пространства для его заполнения пенополиуретаном; предварительную термостатическую обработку собранной трубной конструкции для улучшения адгезии слоя изоляции ППУ к стальной трубе; впрыскивания расчетной дозы компонентов ППУ на заливочной машине высокого давления через отверстие заглушки; контроль качества выпускаемой продукции; маркировку готовой продукции с оформлением сопроводительной документации; передачу готовой продукции на склад.

Не смотря на наличие контроля качества при производстве труб в ППУ ПЭ изоляции, встречаются дефекты, анализ и систематизация которых приведены в табл. 1.

Следует отметить положительный опыт эксплуатации трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции в Германии и Дании, где такие трубопроводы составляют 75 % и 95 % соответственно от общей протяженности тепловых сетей [13]. Срок их службы и количество теплопотерь в 2-3 раза ниже, чем тепловых сетях, где в качестве теплоизоляции трубопроводов используется минеральная вата, что на данный момент традиционно для применения в России [17, 18]. Авторами в работах [7, 19] показаны возможности повышения энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей и оптимизации толщины пенополиуретановой изоляции трубопроводов в системах теплоснабжения. Так, тепловые потери трубопроводов через слой изоляции из минеральной ваты в 4 раза выше, чем потери трубопроводов из труб в ППУ ПЭ изоляции.

Таблица 1

**Дефекты и причины их возникновения,
выявляемые в процессе изготовления труб в ППУ ПЭ изоляции**

Наименование дефекта	Возможные причины возникновения
Несоответствие толщины стенки стальных труб в ППУ ПЭ изоляции (108×5 мм – факт 108×4мм)	Нарушение входного контроля качества
Отслоение пенополиуретана от стальной трубы и/или от оболочки	Нарушение технологии: полиэтиленовая оболочка не прошла процесс коронации; механические воздействия в процессе транспортировки
Не работает система оперативного дистанционного контроля	Внутренний обрыв медного провода; Касание медного провода о стенку стальной трубы внутри пенополиуретана; медный провод не соответствует требованиям ГОСТ
Толщина слоя пенополиуретана не соответствует ГОСТ 30732-2006	Нарушение технологии: не правильно принят диаметр ПЭ трубы-оболочки
Нарушение соосности стальной и полиэтиленовой труб	Нарушение технологии: применение центрирующих опор не соответствующего размера
Повышенная пористость, хрупкость пенополиуретана на концах труб	Нарушение технологии, несоответствие качества применяемых материалов
Длина не залитых концов стальных труб превышает допустимые значения	Ошибка при выборе длины полиэтиленовой оболочки

Технология монтажа стальных труб в ППУ ПЭ изоляции

Монтаж труб с тепловой изоляцией из ППУ с защитной оболочкой включает следующие основные этапы: зачистку труб от изоляции на расстояние до 300 мм от каждого края, выполнение сварного соединения, которое проверяется на прочность переносным дефектоскопом, комплектация термоусадочной муфтой, заполнение полости под муфтой вспененным полимером, после чего муфта нагревается и осаживается по месту, обеспечивая герметичность внешней оболочки. Трубы с ППУ ПЭ изоляцией соединяются, согласно ГОСТ 30732-2001, только сваркой с полным проплавлением шва. Полиэтилен и пенополиуретан – материалы чувствительные к высоким температурам. При проведении сварочных работ торцы с зачищенной изоляцией необходимо закрывать асбестовой тканью, либо другим негорючим материалом.

На месте монтажа стыковка фасонных частей и труб ППУ ПЭ изоляции происходит поэтапно: на трубу надвигается полимерная термоусадочная муфта, производится сваривание оголенных стальных концов, осуществляется монтаж проводников-индикаторов, прогреваются поверхности краев оболочек (85-90 °С), на разогретую оболочку наклеивается адгезивное полотно, на стык сдвигается муфта, горелкой усаживают края муфты, проверяется герметичность, полости заполняются пенополиуретаном, отверстие заваривается полиэтиленом, в результате стык принимает бочковидную форму.

Не соблюдение технологии монтажа, а именно заделки и изоляции стыков при монтаже труб с ППУ ПЭ изоляцией ведет к нарушению изоляции в самых уязвимых местах любых трубопроводов – местах соединения трубы и фасонного элемента. Результатом этого будет возникновение преждевременной наружной коррозии трубы с последующим выходом трубопровода из строя либо проведением постоянных дорогостоящих ремонтных работ.

В работе [20] показано, что применение трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции снижает сроки строительства в 3-4 раза, повышается экономичность строительства, снижается эксплуатационные издержки и затраты на текущий ремонт по сравнению с канальной прокладкой трубопроводов с применением минеральной ваты.

Удельная повреждаемость трубопроводов, выполненная на основании данных ОАО «МТК» показывает, что повреждаемость трубопроводов с использованием минеральной ваты в 20 раз выше по сравнению с трубопроводами в ППУ ПЭ изоляции [20].

Систематизация дефектов и повреждений труб в ППУ ПЭ изоляции возникающих в процессе их монтажа приведены в табл. 2.

Таблица 2

Дефекты и повреждения, выявляемые в процессе монтажа труб в ППУ ПЭ изоляции	
Наименование дефекта	Причина возникновения
Отсутствие маркировки продукции	Нарушение технологического процесса при производстве труб; умышленное снятие маркировки
Царапины, шероховатость полиэтиленовой оболочки труб в ППУ изоляции	Нарушение правил транспортировки, погрузочно-разгрузочных работ
Образование трещин на поверхности полиэтиленовых труб	Нарушение правил хранения; нарушение правил погрузо-разгрузочных работ; применение полиэтилена не соответствующей марки (ГОСТ 30732-2006)
Толщина теплоизоляции фасонных изделий не соответствует толщине теплоизоляции труб	Ошибка при выборе диаметра полиэтиленовой оболочки труб и фасонных изделий
Замачивание пенополиуретана открытых торцах труб	Нарушение правил хранения
Отсутствие герметичности трубопровода	Дефекты сварных швов стальных труб
Затруднение монтажа термоусаживаемой муфты на трубу	Не соответствие диаметра муфт, нарушение правил хранения
Не работает система оперативного дистанционного контроля	Нарушение правил монтажа: не правильное соединение или обрыв проводов

Причиной вышеуказанных дефектов и повреждений являются нарушения технологии производства и монтажа, а также нарушения контроля качества при производстве строительно-монтажных работ. Соблюдение состава операций и средств контроля качества при монтаже труб ППУ ПЭ, предлагаемые авторами в табл. 3, позволит обеспечить соблюдение технологии производства работ и повысить качество готовой продукции.

Таблица 3

Состав операций и средства контроля при монтаже труб в ППУ ПЭ изоляции

Этапы работ	Контролируемые операции	Контроль (метод, объем)	Документация
Подготовительные работы	Проверить: - наличие документа о качестве на материалы, бирок, этикеток, маркировок на трубах;	Визуальный	Паспорта, сертификаты, общий журнал работ
	- проверка качества поставляемых труб: толщины стенок, проводов СОДК, целостности труб, пенополиуретана и др;	Измерительный, технический осмотр	
Монтаж трубопроводов из труб ППУ	Контролировать: - качество и последовательность монтажа труб ППУ;	Технический осмотр	Общий журнал работ
	- качество сварных соединений стальных труб;	Измерительный	
	- совпадение толщины теплоизоляции фасонных изделий и труб	Визуальный	
	- рабочее состояние СОДК	Измерительный	
Подготовительные работы	Проверить: - наличие документа о качестве на материалы, бирок, этикеток, маркировок на трубах;	Визуальный	Паспорта, сертификаты, общий журнал работ
	- проверка качества поставляемых труб: толщины стенок, проводов СОДК, целостности труб, пенополиуретана и др;	Измерительный, технический осмотр	
Монтаж трубопроводов из труб ППУ	Контролировать: - качество и последовательность монтажа труб ППУ;	Технический осмотр	Общий журнал работ
	- качество сварных соединений стальных труб;	Измерительный	
	- совпадение толщины теплоизоляции фасонных изделий и труб	Визуальный	
	- рабочее состояние СОДК	Измерительный	
Приемка выполненных работ	Проверить: - качество выполненных работ;	Измерительный, технический осмотр	Общий журнал работ, акт приемки выполненных работ, исполнительная схема, акт испытания трубопроводов
	- испытание трубопроводов;	Измерительный, технический осмотр	
Контрольно-измерительный инструмент: нивелир; плотномер, толщиномер, дефектоскоп			
Входной и операционный контроль осуществляют: мастер (прораб).			
Приемочный контроль осуществляют: работники службы качества, мастер (прораб), представители технадзора заказчика.			

Заключение

1. Изучена технология изготовления и монтажа труб в ППУ ПЭ изоляции, приведены основные технологические процессы производства и монтажа труб.

2. Выявлены основные причины низкого качества изготовления и монтажа труб в ППУ ПЭ изоляции. Показано, что причиной многочисленных дефектов и повреждений является нарушение технологических процессов при изготовлении, транспортировке, хранении и монтаже.

3. Предложен состав операций и средства контроля при монтаже труб в ППУ ПЭ изоляции, уточняющие требования входного, операционного и приемочного контроля, способствующие повышению качества готовой продукции.

4. Выполненные исследования могут быть полезными при выполнении исследований направленных на повышение качества трубопроводов в ППУ ПЭ изоляции в рамках реализации стратегии увеличения энергоэффективности и надежности тепловых сетей централизованного теплоснабжения России.

Список библиографических ссылок

1. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года: утверждена распоряжением Правительства РФ от 28 августа 2003 года № 1234-р // Собрание законодательства РФ. 2003.
2. Павлова Д. В. Анализ и проблемы исследований труб централизованного теплоснабжения с предварительной изоляцией из ППУ и ППМ // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 5 URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/05/67651> (дата обращения: 11.01.2018).
3. Jogo Alencastro, Alba Fuertes, Pieter de Wilde. The relationship between quality defects and the thermal performance of buildings. Review article // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 81, Part 1. P. 883–894.
4. Carla Cherchi, Mohammad Badruzzaman, Joan Oppenheimer, Christopher M. Bros, Joseph G. Jacangelo. The relationship between quality defects and the thermal performance of buildings. Energy and water quality management systems for water utility's operations: A review. Review article // Journal of Environmental Management. 2015. Vol. 153. P. 108–120.
5. Irene Karathanasi, Constantinos Papageorgakopoulos. Development of a Leakage Control System at the Water Supply Network of the City of Patras: original research article // Procedia Engineering. 2016. Vol. 162. P. 553–558.
6. Коклюгина Л. А., Коклюгин А. В. Определение продолжительности строительства объектов нефтеперерабатывающей промышленности с учетом интересов участников инвестиционного строительного проекта // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 20. С. 290–292.
7. Слепченко В. С., Петраков Г. П. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4 (22). С. 26–32.
8. Половников В. Ю., Глазырин Е. С. Численный анализ влияния инженерных сооружений на тепловые потери бесканальных теплопроводов // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 2. С. 5–3.
9. Ковалевский В. Б. Энергоэффективность тепловых сетей бесканальной прокладки // Новости теплоснабжения. 2010. № 1. С. 40–43.
10. Ковалевский В. Б. О нормативных тепловых потерях при бесканальной прокладке теплопроводов // Новости теплоснабжения. 2001. № 4. С. 24–27.
11. Ковалевский В. Б., Петухов В.С. Технико-экономические показатели теплоизолированных труб для тепловых сетей бесканальной прокладки // Новости теплоснабжения. 2003. № 6 (34). С. 18–26.
12. Мухаметрахимов Р. Х., Панченко А. А. Изучение особенностей системы контроля качества при строительстве наружных сетей водоснабжения и канализации // Известия КГАСУ. 2017. № 4 (42). С. 360–367.

13. Королев И. А., Петраков Г. П. Создание испытательного центра для проверки качества пенополиуретановой изоляции предизолированных трубопроводов, применяемых в системах теплоснабжения // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 1. С. 23–25.
14. Голубков С. К. Опыт эксплуатации труб в ППУ-изоляции с системой оперативного дистанционного контроля (ОДК) : мат. конференции «Тепловые сети. Современные решения». НП «Российское теплоснабжение». 2005.
15. Александров А. А., Переверзев В. Л. Оперативный дистанционный контроль трубопроводов ППУ – эффективное средство контроля или бесполезное приложение? // Новости теплоснабжения. 2007. № 2. С. 36–41.
16. Технология производства труб ППУ в ДЗТИ // DZTI.RU : Донской завод трубной изоляции. 2016. URL: <http://dzti.ru/about-us/proizvodstvo-trubi-ppu> (дата обращения: 05.04.18).
17. Байбаков С. А., Тимошкин А. С. Основные направления повышения эффективности тепловых сетей // Электрические станции. 2004. № 7. С. 19–25.
18. Щербак А. С. Исследование свойств современных теплоизоляционных материалов. Наука и прогресс транспорта // Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2013. № 2 (44). С. 136–143.
19. Налобин Н. В. Оптимизация толщины пенополиуретановой изоляции теплопроводов в системах теплоснабжения объектов на севере Западной Сибири. Нижний Новгород, 2007. 18 с.
20. Поляков В. А. Применение предизолированных трубопроводов в ППУ изоляции – основной путь создания энергоэффективных и надежных тепловых сетей // PPUTRUBA.RU : Ассоциация производителей и потребителей трубопроводов с индустриальной полимерной изоляцией. 2015. URL: http://www.pputruba.ru/stata_polyakov.pdf (дата обращения 30.02.2018).

Mukhametrakhimov Rustem Hanifovich

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: muhametrahimov@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Panchenko Anastasia Alexandrovna

engineer of production and technical department

LLC «Ingstroy»

The organization address: 4200343, Russia, Kazan, Lenskaya st., 10

Features of technology of installation and quality control of pipelines with polyfoam polyethylene insulation

Abstract

Problem statement. Pipeline is the main part of the engineering and communication infrastructure of all residential and industrial buildings. The service life of engineering systems depends entirely on the quality of the pipes and their insulation. The purpose of the research is to study the technology of manufacturing and installation of pipes in polyurethane foam PE insulation.

Results. The article deals with the processes of manufacturing pipes in polyurethane foam PE insulation, the technology of their installation, revealed the main defects, inconsistencies and causes of their occurrence.

Conclusions. The significance of the results obtained for the construction industry is to clarify the features of the quality control system in the manufacture and installation of PPU PE pipes. It is established that the cause of numerous defects is a poor-quality incoming inspection, as well as operational control in the manufacture and installation of pipes in polyurethane foam PE insulation. The composition of operations and means of quality control for the installation of pipelines are proposed.

Keywords: pipes with pre-insulated polyfoam and polyethylene organization and technology of construction, installation, defects, damage, quality control.

References

1. Energy Strategy of Russia for the period until 2020: approved by the RF Government Decree № 1234-r of August 28, 2003 // Collection of Legislation of the Russian Federation. 2003.
2. Pavlova D. V. Analysis and problems of research of centralized heat supply pipes with pre-insulation from PPU and PPM // *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii*. 2016. № 5. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2016/05/67651> (reference date: 11.01.2018).
3. Joro Alencastro, Alba Fuertes, Pieter de Wilde. The relationship between quality defects and the thermal performance of buildings. Review article // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 81, Part 1. P. 883–894.
4. Carla Cherchi, Mohammad Badruzzaman, Joan Oppenheimer, Christopher M. Bros, Joseph G. Jacangelo. The relationship between quality defects and the thermal performance of buildings. Energy and water quality management systems for water utility's operations: A review. Review article // *Journal of Environmental Management*. 2015. Vol. 153. P. 108–120.
5. Irene Karathanasi, Constantinos Papageorgakopoulos. Development of a Leakage Control System at the Water Supply Network of the City of Patras: original research article // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 162. P. 553–558.
6. Kokljugin L. A., Kokljugin A. V. Determination of duration of construction of objects of oil-refining industry, taking account of the interests of participants of investment construction project // *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2014. V. 17. № 20. P. 290–292.
7. Slepchenok V. S., Petrakov G. P. Increase of energy efficiency of heat insulation of pipelines of heating networks of northern and northeastern regions of Russia // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2011. № 4 (22). P. 26–32.
8. Polovnikov V. U., Glazyrin E. S. Numerical analysis of the influence of engineering structures on the heat losses of non-channel heat pipes // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2014. № 2. P. 5–3.
9. Kovalevsky V. B. Energy efficiency of heat networks of non-channel gasket // *Novosti teplosnabzheniya*. 2010. № 1. P. 40–43.
10. Kovalevsky V. B. About the standard thermal losses in the case of ductless laying of heat pipes // *Novosti teplosnabzheniya*. 2001. № 4. P. 24–27.
11. Kovalevsky V. B., Petukhov B. C. Technical and economic parameters of heat-insulated pipes for heat networks of non-channel gasket // *Novosti teplosnabzheniya*. 2003. № 6 (34). P. 18–26.
12. Mukhametrakhimov R. Kh., Panchenko A. A. Features of the quality control system for the construction of outdoor water supply and sewerage networks // *Izvestiya KGASU*. 2017. № 4 (42). P. 360–367.
13. Korolev I. A., Petrakov G. P. Establishment of a test center for testing the quality of polyurethane foam insulation of pre-insulated pipelines used in heat supply systems // *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2011. № 1. P. 23–25.
14. Golubkov S. K. Experience of operation of pipes in PPU-insulation with the system of operative remote control (UDC) : Materials of the Conference «Thermal networks. Modern solutions». NP «Russian Heat Supply». 2005.
15. Alexandrov A. A., Pereverzev V. L. Operational remote control of polyfoam pipelines – an effective means of control or a useless application? // *Novosti teplosnabzheniya*. 2007. № 2. P. 36–41.
16. Technology of production of PPU pipes in the DZTI // DZTI.RU: Donskoy plant of pipe insulation. 2016. URL: <http://dzti.ru/about-us/proizvodstvo-trubi-ppu> (reference date: 05.04.18).

17. Baibakov S. A., Timoshkin A.S. The main directions of increasing the efficiency of heat networks // *Electrichestkiye stantsii*. 2004. № 7. P. 19–25.
18. Shcherbak A. S. Investigation of the properties of modern heat-insulating materials. Science and progress of transport // *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta*. 2013. № 2 (44). P. 136–143.
19. Nalobin N. V. Optimization of thickness of polyurethane foam insulation of heat pipes in heat supply systems of facilities in the north of Western Siberia: Abstract. Diss. Cand.Tech.Science. Nizhny Novgorod. 2007. 18 p.
20. Polyakov V. A. Application of pre-insulated pipelines in PPU insulation – the main way of creating energy-efficient and reliable heat networks // PPUTRUBA.RU: Association of producers and consumers of pipelines with industrial polymer insulation. 2015. URL: http://www.pputruba.ru/stata_polyakov.pdf (reference date: 30.02.2018).