

УДК 69.05

*Бурганов Р.А.,
доктор экономических наук,
профессор кафедры «Экономика и организация производства»
Казанский государственный энергетический университет
Россия, г. Казань*

*Курач Н.М.,
студент магистратуры,
3 курс, факультет «Стратегический менеджмент»
Казанский государственный энергетический университет
Россия, г. Казань*

**СПЕЦИФИКА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА, УСТАНОВКИ И
ИНСПЕКЦИИ КАЧЕСТВА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ,
ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ИЗОЛИРОВАННЫХ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОМ В
ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ОБОЛОЧКЕ**

Аннотация: Статья посвящена изучению изоляционных материалов трубопроводов отопления, изготовленных из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке, аспектов их изготовления, монтажа и эксплуатации.

Трубопроводные сети являются ключевым элементом инженерных коммуникаций как в жилых, так и в промышленных зданиях. Долговечность и надежность инженерных систем напрямую зависят от характеристик используемых труб, качества их изоляции и профессионализма монтажных работ.

Ключевые слова: трубопровод отопления, изоляционные материалы, потери при транспортировке тепловой энергии, дефектоскопия.

Abstract: *This article examines heating pipeline insulation materials made of polyurethane foam in a polyethylene sheath, including aspects of their manufacture, installation, and operation.*

Pipelines are a key element of utility systems in both residential and industrial buildings. The durability and reliability of utility systems directly depend on the characteristics of the pipes used, the quality of their insulation, and the professionalism of the installation team.

Keywords: *heating pipeline, insulation materials, heat transfer losses, flaw detection.*

Введение

В соответствии с требованиями Федерального закона № 261-ФЗ, направленного на энергосбережение и повышение энергетической эффективности, в строительстве активно применяются инновационные материалы и передовые технологии. Они способствуют существенной экономии энергетических и материальных ресурсов в процессе эксплуатации как капитальных, так и линейных объектов, а также продлевают срок их службы.

Оценка реализации российской энергетической стратегии до 2020 года выявила, что использование некачественной теплоизоляции при строительстве теплотрасс является одной из ключевых проблем энергосбережения в стране. К сожалению, нельзя констатировать успешное внедрение данной стратегии. Целевые показатели, такие как снижение тепловых потерь в системах централизованного теплоснабжения на 60% и увеличение производства тепловой энергии на 34%, не были достигнуты.

Статистические данные свидетельствуют об увеличении износа основных фондов централизованного теплоснабжения с 65% до 70% с 2010 года. Необходимость срочного капитального ремонта или полной замены испытывают 82% тепловых сетей, а потери тепла в этих сетях составляют

30%. На каждые сто километров теплосетей, обеспечивающих централизованное отопление, фиксируется свыше семидесяти инцидентов, требующих немедленного устранения. Это свидетельствует о высокой степени износа и недостаточной надежности систем теплоснабжения.

Статистические данные указывают на то, что в среднем на каждые 100 км трубопроводов, используемых для централизованной подачи тепловой энергией, приходится более 70 случаев возникновения аварийных ситуаций. Это подчеркивает актуальность проблемы изношенности и необходимости модернизации существующих тепловых сетей.

Таким образом, приоритетным направлением экономической и энергетической политики государства является повышение эффективности теплоснабжения [1]. Существенное ухудшение состояния тепловых магистралей приводит к возникновению значительных финансовых издержек. Применение предварительно изолированных пенополиуретаном труб в полиэтиленовой оболочке, имеющих систему СОДК, способствует сокращению утечек теплоносителя, повышает эффективность использования тепловой энергии и продлевает период их службы. Это, в свою очередь, ведет к уменьшению стоимости теплоснабжения и достижению плановых показателей, намеченных до 2030 года.

Трубопроводная система – ключевой элемент инженерной инфраструктуры как жилых, так и промышленных объектов. Долговечность и надежность инженерных сетей напрямую зависят от качества используемых труб и их теплоизоляции. В процессе эксплуатации трубопроводы подвержены ускоренному износу, вызванному коррозией, температурными колебаниями, а также нарушениями технологических процессов при производстве, установке и использовании.

С целью сокращения потерь тепла в трубопроводных системах широко используется метод предварительной термоизоляции труб посредством пенополиуретана (ППУ), который соответствует требованиям

государственного стандарта 30732-2006 [2]. Для гарантии водонепроницаемости применяются предохранительные покрытия, изготовленные из полиэтилена высокой плотности либо оцинкованной стали, обладающей антикоррозийными свойствами.

Анализ современных исследований показывает, что активно изучаются вопросы оптимизации производственных процессов, улучшения качества монтажных работ и эксплуатации трубопроводов с ППУ изоляцией в полиэтиленовой оболочке. Также акцентируется внимание на изучении взаимосвязи между дефектами и теплотехническими параметрами зданий, а также на соблюдении графиков строительства [3-6].

Существенный вклад в область повышения энергоэффективности систем теплоснабжения внесли исследования, проведенные Слепченком В.С., Петраковым Г.П. и Половниковым В.Ю. [7, 8]. В нормативном документе РМД 41-11-2012 сформулированы рекомендации, обеспечивающие надежное функционирование тепловых сетей, а также установлены стандарты качества для труб с ППУ ПЭ изоляцией.

В труде [8] представлены результаты анализа влияния различных инженерных объектов на тепловые потери, возникающие в бесканальных теплопроводах. Выявлено несоответствие между нормативными и вычисленными значениями потерь тепловой энергии через изоляционный слой, с указанием на завышение нормативных показателей для бесканальных теплотрасс, использующих трубы с ППЭ ПУ изоляцией. Вопросам эффективности бесканальной прокладки тепловых сетей, анализу нормативных тепловых потерь и технико-экономическим аспектам применения теплоизолированных труб для таких систем посвящены работы Ковалевского В.Б. [9-11]. В них также демонстрируется различие между нормативными и расчетными значениями теплотерь для различных видов изоляции. В работе [12] рассмотрены вопросы, касающиеся изучения

системы контроля качества при возведении наружных сетей водоотведения и водоснабжения.

Производственный процесс труб с пенополиуретановой (ППУ) изоляцией в полиэтиленовой (ПЭ) оболочке осуществляется в заводских условиях. Эти изделия имеют сложную структуру, представляющую собой конструкцию "труба в трубе" (см. рисунок 1).

Процесс создания трубопроводов с ППУ ПЭ изоляцией включает в себя несколько этапов, на которых производятся как сами трубы, так и различные фасонные элементы, а также запорная арматура и шаровые краны, интегрированные в систему дистанционного контроля (СОДК) для своевременного обнаружения утечек. Впервые подобная технология была внедрена в Германии в 1976 году [13].

Для стальных труб круглого сечения могут использоваться горячедеформированные бесшовные трубы общего назначения, произведенные в соответствии с ГОСТ 8732-78, электросварные прямошовные, соответствующие ГОСТ 10705-80, или стальные сварные прямошовные, изготовленные по ГОСТ 20295-85.

Согласно стандарту ГОСТ 30732-2006, стальные трубы, входящие в состав изолированной конструкции, могут быть оцинкованы. Однако несмотря на то, что этот стандарт определяет производство труб с ППУ ПЭ изоляцией, он не распространяется на изготовление труб с ППУ в оцинкованной оболочке. Выбор марки стали для трубы определяется условиями ее эксплуатации.

Существует два основных типа труб с ППУ изоляцией: стандартный вариант, предназначенный для применения в регионах с умеренным климатом, и усиленный вариант, разработанный для использования в районах с холодным климатом.

Теплоизоляция из пенополиуретана (ППУ) формируется путем заполнения пространства между стальной трубой и внешней полиэтиленовой

оболочкой жидким составом. Затвердевший ППУ, получаемый смешиванием полиола и полиизоционата, обеспечивает эффективную теплоизоляцию. Чтобы предохранить пенополиуретановую изоляцию от негативного влияния окружающей среды, используются защитные покрытия. В качестве таких покрытий применяют оболочки, изготовленные из полиэтилена высокой плотности (ПЭВП), соответствующие требованиям государственных стандартов ГОСТ 18599-2001 и ГОСТ 16338-85. Альтернативным вариантом является использование тонколистовой стали с оцинкованным покрытием.

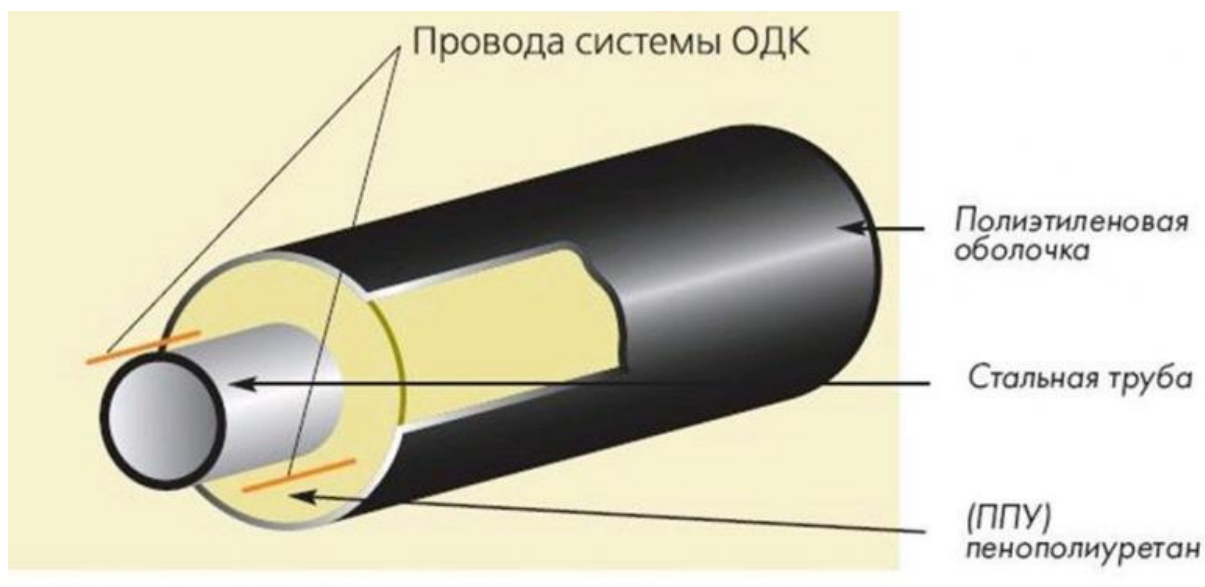


Рисунок 1. ППУ-ПЭ труба с СОДК

Для трубопроводов в ППУ изоляции с защитным покрытием предусмотрена система оперативно-дистанционного контроля (СОДК), предназначенная для удаленного обнаружения участков с утечками, повреждений основной трубы или защитной оболочки, неисправностей сигнального кабеля, а также неправильно выполненных соединений труб с ППУ ПЭ изоляцией. В качестве индикаторов используются медные провода без изоляции. СОДК позволяет контролировать состояние трубопроводной системы на отдельных участках или по всей ее протяженности. Однако эта система имеет ограничения и возможности для улучшения. Так, в

исследовании [14] указываются недостатки СОДК, такие как неточное определение точки повреждения защитного слоя ППУ и зоны распространения влаги. Предлагается модернизированная СОДК с полупроводниковыми датчиками, точно определяющими место утечки теплоносителя и область его распространения. В исследовании [15] акцентируется внимание на ключевой роли профессионального монтажа трубопроводов опытными мастерами для обеспечения надёжной функциональности системы оперативного дистанционного контроля (СОДК).

Процесс изготовления труб с теплоизоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой защитной оболочке (ППУ ПЭ) состоит из нескольких последовательных стадий [161]: первоначальная проверка качества поступающих материалов и сырья; подготовка стальной поверхности труб и комплектующих; установка центрирующих элементов – центраторов из полиэтилена низкого давления (ПНД), а также медного проводника, входящего в состав системы СОДК; помещение стальной трубы с закрепленными центраторами внутрь полиэтиленовой оболочки; установка герметичных заглушек на концах для создания замкнутого пространства между трубами, предназначенного для заполнения пенополиуретаном; предварительная тепловая обработка собранной конструкции для улучшения сцепления ППУ со стальной поверхностью; заливка необходимого количества компонентов ППУ с использованием заливочного оборудования высокого давления через специальное отверстие в заглушке; проверка качества произведённой продукции на соответствие установленным стандартам; нанесение маркировки на готовые изделия и оформление необходимой документации; транспортировка готовых изделий на склад для хранения.

Несмотря на существующие меры контроля качества при изготовлении труб ППУ ПЭ, в процессе эксплуатации выявляются различные дефекты, классификация и анализ которых представлены в таблице 1.

Стоит отметить успешный опыт использования трубопроводов с ППУ ПЭ изоляцией в таких странах, как Германия и Дания, где их доля составляет 75 % и 95 % от общей протяженности тепловых сетей соответственно [13]. Их эксплуатационный срок значительно больше, а потери тепла в 2-3 раза меньше по сравнению с тепловыми сетями, использующими минеральную вату в качестве теплоизоляции, что является традиционным решением для России [7-8]. В трудах, представленных в источниках [9], исследуются методы улучшения теплоизоляционных характеристик трубопроводных сетей и рационализации толщины пенополиуретанового покрытия в системах теплового обеспечения. Экспериментально подтверждено, что потери тепла через изоляцию, выполненную из минеральной ваты, в четыре раза больше, чем потери в трубопроводах, использующих ППУ изоляцию с полиэтиленовой оболочкой.

Поиск эффективных решений для снижения тепловых потерь в трубопроводах является актуальной задачей. Применение современных материалов, таких как пенополиуретан, позволяет значительно снизить потери тепла по сравнению с традиционной минеральной ватой. Оптимизация толщины изоляционного слоя также играет важную роль в обеспечении энергоэффективности систем теплоснабжения.

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 (108x5 мм – факт 108x4 мм)	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: неправильно 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

Процесс соединения стальных труб, предварительно изолированных пенополиуретаном (ППУ) в полиэтиленовой (ПЭ) оболочке, состоит из ряда последовательных операций.

Сначала концы труб освобождаются от изоляционного слоя на участке примерно 30 см от каждого края. Затем выполняется сварка, качество шва которой контролируется с помощью портативного дефектоскопа. После этого на место соединения устанавливается термоусаживаемая муфта. Пространство под муфтой заполняется пеной из полимера, после чего муфта термически усаживается для обеспечения полной герметичности внешней оболочки. Соединение труб с ППУ ПЭ изоляцией осуществляется исключительно методом сварки с полным проваром, в соответствии со стандартом ГОСТ 30732-2001. Важно учитывать, что полиэтилен и пенополиуретан восприимчивы к воздействию высоких температур. Поэтому во время сварочных работ открытые участки изоляции следует защищать негорючими материалами, например, асбестовой тканью.

Сборка фасонных элементов и труб с ППУ ПЭ изоляцией на месте прокладки трубопровода проводится в несколько этапов: полимерная термоусадочная муфта надвигается на трубу, выполняется сварка открытых стальных участков, производится установка сигнальных проводников. Далее производится нагрев краев оболочки (до температуры 85-90 градусов Цельсия). На разогретую поверхность оболочки наносится адгезивный материал, муфта перемещается на место стыка, и края муфты усаживаются с помощью горелки. Проверяется герметичность соединения, полости

заполняются пенополиуретаном, а отверстие заваривается полиэтиленом. В результате место соединения приобретает характерную бочкообразную форму.

Ошибки в технологическом процессе установки, в частности, некачественная герметизация и изоляция соединений при монтаже труб с пенополиуретановой изоляцией в полиэтиленовой оболочке, приводят к повреждению изоляционного слоя в наиболее восприимчивых зонах трубопроводной системы – местах соединения труб и соединительных элементов. Это, в свою очередь, провоцирует раннее развитие внешней коррозии трубы, что может вызвать отказ трубопровода или потребовать регулярного проведения дорогостоящих ремонтных работ.

Исследование, представленное в работе [20], демонстрирует, что использование трубопроводов с ППУ ПЭ изоляцией сокращает время строительства в диапазоне от трех до четырех раз, повышает рентабельность строительных работ, снижает операционные расходы и затраты на текущее обслуживание по сравнению с канальной прокладкой трубопроводов с применением минеральной ваты.

Анализ данных ОАО «МТК» относительно удельной повреждаемости трубопроводов показывает, что частота повреждений трубопроводов, изолированных минеральной ватой, в 20 раз превышает аналогичный показатель для трубопроводов с ППУ ПЭ изоляцией [2]. В таблице 2 приведена систематизация дефектов и повреждений, выявляемых в трубопроводах с пенополиуретановой изоляцией в полиэтиленовой оболочке в ходе выполнения монтажных работ.

Таблица 2.

Дефекты и повреждения, выявляемые в процессе монтажа труб в ППУ

ПЭ изоляции

Дефект	Причина возникновения
Неидентифицируемые товары	Отклонение от установленных норм технологической процедуры при

	изготовлении трубной продукции; намеренное удаление опознавательных знаков.
Повреждения и неровности поверхности защитного полиэтиленового слоя труб с пенополиуретановой изоляцией.	Несоблюдение установленных норм при перевозке, а также в процессе осуществления погрузочно-разгрузочных операций.
Возникновение дефектов в виде трещин на внешней стороне труб, изготовленных из полиэтилена.	Неправильное складирование, ошибки при выполнении погрузки и разгрузки, использование полиэтилена, не отвечающего требованиям стандарта ГОСТ 30732-2006.
Изоляционный слой фасонных изделий элементов имеет иную толщину по сравнению с теплоизоляцией, применяемой для труб.	Некорректный выбор размера полиэтиленового покрытия труб и соединительных элементов.
Насыщение влагой открытых концов пенополиуретановых труб	Несоблюдение установленных норм складирования и хранения материалов
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: неправильное соединение или обрыв проводов

Обнаруженные недостатки и повреждения обусловлены отступлениями от технологических регламентов изготовления и установки, а также недостаточным контролем качества в ходе строительно-монтажных операций. Следование перечню операций и инструментов контроля качества, предложенных авторами в таблице 3, при монтаже труб с полиуретановой изоляцией в полиэтиленовой оболочке (ППУ ПЭ), позволит обеспечить соблюдение производственных норм и повысить качество конечного продукта.

Таблица 3.

Состав операций и средства контроля при монтаже труб в ППУ ПЭ

ИЗОЛЯЦИИ

Порядок производства	Наблюдаемые процедуры	Надзор (способ)	Документация
Предварительная подготовка	Проинспектировать:		Паспорта, сертификаты, общий журнал работ
	-наличие документа о качестве на материалы, бирок,	Визуальный	

	этикеток, маркировок на трубах;		
	-проверка качества поставляемых труб: толщины стенок, проводов СОДК, целостности труб, пенополиуретана и др.	Измерительный, технический осмотр	
Монтаж трубопроводов из труб ППУ	Проинспектировать:		Общий журнал работ
	-качество и последовательность монтажа труб ППУ;	Технический осмотр	
	- качество сварных соединений стальных труб;	Измерительный	
	-совпадение толщины теплоизоляции фасонных изделий и труб;	Визуальный	
	-рабочее состояние СОДК	Измерительный	
Подготовительные работы	Проинспектировать:		Паспорта, сертификаты, общий журнал работ
	-наличие документа о качестве на материалы, бирок, этикеток, маркировок на трубах;	Визуальный	
	-проверка качества поставляемых труб: толщины стенок, проводов СОДК, целостности труб, пенополиуретана и др.	Измерительный, технический осмотр	
Аудит завершенных работ	Проинспектировать:		Общий журнал работ, акт приемки выполненных работ, исполнительная схема, акт испытания трубопроводов
	-качество выполненных работ;	Измерительный, технический осмотр	
	-гидравлическое либо пневматическое испытание участков трубопроводов;	Измерительный, технический осмотр	
Средства измерения и контроля: штангель-циркуль; плотномер; толщиномер; дефектоскоп			
Входной контроль осуществляют: производитель работ			
Приемку выполненных работ выполняют: службы контроля качества, производитель			

Выводы по проведенному исследованию

1. В данной работе проведён анализ технологического процесса изготовления и монтажа труб, предварительно изолированных пенополиуретаном в полиэтиленовой оболочке. Описаны основные технологические этапы, включающие в себя производство и последующую установку рассматриваемых трубных изделий.

2. Представлен детальный обзор стадий создания и внедрения трубопроводных систем с теплоизоляцией из пенополиуретана, заключённой в полиэтиленовую защиту. Изучены ключевые моменты производственного цикла и способы инсталляции подобных труб.

3. Рассматривается технологическая схема изготовления и укладки труб, оснащённых изоляционным слоем из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке, с выделением принципиальных этапов в рамках производственного и монтажного процессов.

4. Определены ключевые факторы, влияющие на снижение качества изготовления и монтажа труб с изоляцией ППУ ПЭ. Установлено, что возникновение многочисленных дефектов и повреждений связано с несоблюдением технологических процессов на этапах изготовления, транспортировки, складирования и установки.

5. Для обеспечения высокого качества готовой продукции, разработан всесторонний набор процедур и мер контроля при установке труб с полиуретановой изоляцией в полиэтиленовой оболочке. Данный комплекс включает в себя подробные инструкции для входного, операционного и приемочного контроля, регламентирующие каждый этап монтажа.

6. Представленные данные могут служить основой для дальнейших разработок и внедрения инновационных материалов и технологий в производство труб ППУ ПЭ. Использование результатов исследований

позволит оптимизировать параметры теплоизоляции и механической прочности трубопроводов, обеспечивая их соответствие современным требованиям и стандартам. Это, в свою очередь, положительно скажется на эффективности и надежности систем отопления, снижая затраты на эксплуатацию и обслуживание.

Список использованной литературы:

1. Распоряжение Правительства России от 12 апреля 2025 года №908-Р «Об утверждении энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 года» [Электронный ресурс] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/411766542/> (дата обращения 23.01.2026)
2. Варфоломеев Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети // Изд. испр.-Москва: ИНФРА-М. 2025 [Электронный ресурс] URL: <https://www.litres.ru/book/oleg-yanovich-kokorin/otoplenie-i-teplovye-seti-72724048/> (дата обращения: 19.01.2026).
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. Е.Е. Дяглиев Изоляция трубопроводов в системе отопления // Вестник магистратуры. 2024. № 12-2 (159). С. 28–30. [Электронный ресурс]

URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/teploizolyatsiya-truboprovodov-v-sisteme-otopleniya/viewer> (дата обращения 19.01.2026)

7. Половников В. Ю., Глазырин Е. С. Численный анализ влияния инженерных сооружений на тепловые потери бесканальных теплопроводов // Инженерностроительный журнал. 2014. № 2. С. 5–3. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/chislennyu-analiz-vliyaniya-inzhenernyh-sooruzheniy-na-teplovye-poteri-beskanalnyh-teploprovodov> (дата обращения 19.01.2026)

8. Ягаев Н.Я., Антипова А.В., Мельников В.М., Выбор оптимальной толщины теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей // Вестник магистратуры. 2017. № 2-1 (65). С. 69–72. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-optimalnoy-tolschiny-teploizolyatsii-truboprovodov-teplovyh-setey/viewer> (дата обращения 20.01.2026)

9. Ковалевский В. Б. О нормативных тепловых потерях при бесканальной прокладке теплопроводов // Новости теплоснабжения. 2001. № 4. С. 24–27. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-tehnologii-izgotovleniya-montazha-i-kontrolya-kachestva-truboprovodov-v-ppu-pe-izolyatsii> (дата обращения 21.01.2026)

10. Ковалевский В. Б., Петухов В.С. Технико-экономические показатели теплоизолированных труб для тепловых сетей бесканальной прокладки // Новости теплоснабжения. 2003. № 6 (34). С. 18–26.

11. 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. [Электронный ресурс] URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-osobennostey-sistemy-kontrolya-kachestva-pri-stroitelstve-naruzhnyh-setey-vodosnabzheniya-i-kanalizatsii> (дата обращения 21.01.2026)

12. 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. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozdanie-ispytatelnogo-tsentra-dlya-proverki-kachestva-penopoliuretanoj-izolyatsii-predizolirovannyh-truboprovodov-primenyaemyh-v> (дата обращения 21.01.2026)

13. 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. [Электронный ресурс] URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/05/67651> (дата обращения 22.01.2026)

14. Александров А. А., Переверзев В. Л. Оперативный дистанционный контроль трубопроводов ППУ – эффективное средство контроля или бесполезное приложение? // Новости теплоснабжения. 2007. № 2. С. 36–41. [Электронный ресурс] URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/05/67651> (дата обращения 22.01.2026)

15. Технология производства труб ППУ в ДЗТИ // DZTI.RU : Донской завод трубной изоляции. 2016. [Электронный ресурс] URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2448 (дата обращения: 23.01.2026).