

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: Учебник: В 2 кн. / В.Г.Айнштейн, М.К.Захаров, Г.А.Носов и др.; Под ред. В.Г.Айнштена. М.Ж Логос; Высшая школа, 2002. 1760 с.
2. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов. Издю 2-е, перераб. М., Энергия, 1972, 320 с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / Под ред. П.Г. Романкова. - 9-е изд., перераб. и доп. -Л.: Химия. 1981. - 720 с.
4. Бакластов А. М. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок. Учеб. пособие для студентов. – М. Энергия, 1970-568 с.

Авторы статьи:

Дворовенко
Игорь Викторович
- канд. техн. наук, доц. каф. про-
цессов, машин и аппаратов хи-
мических производств

Калачев
Александр Сергеевич
- студент гр. МХ-991

УДК 621.644.07:620.193

Е.Ю. Старикова, П.Т. Петрик

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЗАЩИТЫ ТЕПЛОПРОВОДОВ ОТ КОРРОЗИИ

Тепловые сети в России не самые рентабельные в мире: реальные потери тепловой энергии зимой составляют 20÷50%, а летом 30÷70%; утечки теплоносителя превышают нормативы, принятые в развитых странах, в сотни раз; замена трубопроводов из-за коррозии происходит в 4÷5 раз чаще, чем в Европейских странах [1].

Средний срок службы тепlopроводов тепловых сетей, проложенных под землей бесканально или в непроходных каналах с использованием стальных труб, не превышает 12 лет [2]. В процессе строительства тепловых сетей трубы часто длительное время хранятся в неблагоприятных условиях на открытом воздухе, при их монтаже нередко используются нештатные механизмы, сварочные работы ведутся в полевых условиях. При эксплуатации тепlopроводы подвергаются сложным температурно-влажностным воздействиям, циклическим нагрузкам, часто заливаются агрессивными грунтовыми и поверхностными водами [3].

Основная причина выхода

тепlopроводов из строя – коррозионное разрушение стальных труб (80%).

Износ трубопроводов является причиной того, что расход подпиточной воды в тепловых сетях в 20, а то и в 50 раз и более превышает нормативный уровень, в результате до 60% тепловой энергии тратится не на обогрев потребителей, а на нагрев подпиточной воды в сетях [4]. Относительный расход подпиточной воды в теплосетях Мосэнерго в 400...1500 раз выше, чем в системах теплоснабжения Канады. Относительный подпиточный расход в Канаде (0,04-0,18) кг/ГДж, в Мосэнерго 0,07 т/ГДж (1997 г.) [5]. Правилами технической эксплуатации электростанций и сетей РФ установлена нормативная потеря сетевой воды на 1 м³ объема сетей и присоединенных систем теплопотребления: не более 2,5 л/(м³·ч).

В среднем 25% общего количества повреждений тепловых сетей вызывается внутренней коррозией. К основным факторам, влияющим на интенсивность внутренней коррозии, относят pH воды, содержание

сульфатов, хлоридов, кислорода и диоксида углерода [6]. Повышение pH до 9,5 ÷ 10,5 позволяет резко снизить коррозию. Постоянным источником поступления кислорода является подпиточная вода. В подпиточной воде содержание кислорода в 2,5 раза выше, чем в сетевой воде [7]. Весьма распространенной причиной повышенной интенсивности внутренней коррозии закрытых систем является перегрузка подпиточных установок из-за сверхнормативных утечек сетевой воды, приводящая к ухудшению деаэрации подпиточной воды и необходимости аварийной подпитки систем недеаэрированной водой.

На отечественных ТЭЦ для десорбции растворенных газов из подпиточной воды тепловых сетей применяют струйно-барботажные вакуумные деаэраторы горизонтального типа производительностью 400 м³/ч и 800 м³/ч и вертикального производительностью 5÷200 м³/ч. Широкое применение вакуумных деаэраторов для десорбции из воды коррозионно-активных газов объясняется возможностями существенного повыше-

ния тепловой экономичности ТЭЦ в результате использования низкопотенциальных источников тепла для подогрева теплоносителей перед деаэраторами и исключения потерь конденсата греющего пара при деаэрации подпиточной воды теплосети. Из применяемых в настоящее время на теплоэнергетических предприятиях вакуумных деаэраторов лучшие показатели по массообменной и энергетической эффективности имеют серийные струйно-барботажные аппараты горизонтального типа конструкции ЦКТИ-СЗЭМ, требующие, однако, повышения надежности барботажной ступени [8, 9]. Эти деаэраторы должны обеспечивать содержание кислорода не более 50 мкг/л.

По нормам североевропейских стран содержание кислорода в подпиточной воде, не более 10 мкг /кг [5]. Таким образом, совершенствование деаэрационного оборудования – один из способов улучшения качества подпиточной воды тепловых сетей.

Из всех коррозионных разрушений большая часть приходится на внешнюю коррозию. Меры борьбы с внешней коррозией делятся на основные четыре группы:

- подбор материала труб;
- нанесение защитных покрытий;
- борьба с блуждающими токами и электрохимическая защита.
- способы укладки трубопроводов.

Качество используемого металла для изготовления труб тепловых сетей – важный фактор для защиты от внешней и внутренней коррозии. Применяемые в системах централизованного теплоснабжения трубы большого диаметра (530-1420 мм) свариваются из листов. В течение многих лет монтажные организации, сооружающие новые теплопроводы или ремонтирующие старые, испытывают определенные трудности в по-

лучении труб нужного качества. Поэтому теплоэнергетики используют трубы, изготовленные для других отраслей, например, для газовой и нефтяной промышленности, недостатком которых является малая пластичность и ударная вязкость при низких температурах [52]. При использовании, предназначенных для других отраслей необходимо производить проверку их химического состава и определять физико-механические свойства.

Долгие годы для строительства теплосетей в нашей стране приоритетными считались в основном стальные трубы. В настоящее время прошли испытания во многих районах России и трубы из альтернативных материалов – металлических и неметаллических.

В г. Воскресенске Московской области переходят на асбоцементные трубы в системах теплоснабжения [11]. За рубежом их используют в системах теплоснабжения более 20 лет. У нас впервые в 70-80-е годы они были проложены в Балашихинском и Люберецком районах Московской области, Самарской, Рязанской областях, в Белоруссии. Воскресенский комбинат “Красный строитель” освоил производство асбоцементных труб и соединительных муфт диаметром от 100 до 400 мм, специально предназначенных для систем отопления и горячего водоснабжения. Достижения асбоцементных труб:

- не подвержены коррозии и гниению;
- не склонны к обрастанию;
- обладают высокой прочностью и низкой теплопроводностью;
- воздействие холодной и горячей воды придает им дополнительную прочность;
- выдерживают температуру до 130°C и давление до 9 кгс/см²;
- дешевле металлических в 3 раза;
- на 50-60% требуется меньше затрат на строительно-

монтажные работы;

- на 20-30% уменьшаются сроки строительства;
- на 40% уменьшается трудоемкость строительных работ;
- не требуется защиты от блуждающих токов;
- не требуется теплоизоляция.

Трубы комплектуются асбоцементными муфтами. Герметизация муфтовых соединений в теплотрассах обеспечивается уплотнительными кольцами из термостойкой резины, сохраняющими упругие свойства в течение многих лет эксплуатации при температуре до 130°C и работающими по принципу самоуплотнения (кольца типа САМ), то есть, чем выше давление воды, тем плотнее прилегание муфт к поверхности труб. Присоединение запорной арматуры осуществляется с помощью металлических патрубков и фланцев.

Одним из перспективных альтернативных материалов при строительстве трубопроводов для подачи пара и горячей воды с давлением 1,6 МПа и температурой до 150°C является высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ). Уже не одно столетие чугунные трубопроводы успешно эксплуатируются при строительстве канализационных систем и водопроводов. Средний срок их службы 70 лет, в то время как стальные трубы выходят из строя уже через 20-25 лет [12]. Главная причина разрушения стальных трубопроводов – питтинговая коррозия. Чугуны либо вообще не склонны к питтинговой коррозии, либо склонны в незначительной степени. За рубежом начали строить в качестве эксперимента не только водопроводы, но газопроводы и тепловые сети из ВЧШГ, применяя различные виды механических соединений (раструбное с резиновой манжетой, конусное с уплотнением стыка kleями, смолами и т.д.). Системы водоснабжения 80 столиц и 1000 городов мира оснащают трубо-

проводами из высокопрочного чугуна. В частности фирмой "Понт-а-Муссон" было проложено более 450 км тепловых сетей в восьми европейских странах. За 21 год их эксплуатации, по сведениям этой фирмы, повреждений и аварий не отмечалось. По мнению авторов статьи, лучшим способом соединения труб из ВЧШГ при строительстве тепловых сетей было бы применение сварки.

В настоящее время в России разработана технология, позволяющая осуществить сварку труб из ВЧШГ как в заводских, так и в полевых условиях. Испытания на внешнюю коррозию с наложением и без наложения буждающих токов показали, что ее скорость – 0,04 мм/год, а внутренняя – 0,01 мм/год. Одновременно с 1992 по 1996 г. в г. Липецке, Пскове, Курске, Ростове-на-Дону и Мытищах проложены опытно-промышленные участки тепловых сетей с ВЧШГ, которые успешно эксплуатируются без каких-либо замечаний.

Напорные трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом диаметром 100, 150, 200, 250, 300 мм производят по французской технологии завод "Свободный сокол" из отечественных материалов [13]. Стоимость этих труб в 1,5÷1,7 раз больше стоимости стальной трубы. Сегодня стоимость прокладки и эксплуатации стальных труб в течение 50 лет 1054050 руб/км, а ВЧШГ – 379911 руб/км. Срок их службы 50÷90 лет. Они слабо подвержены электрокоррозии, т.к. их электросопротивление в 4÷5 раз выше, чем стали.

Для тепло- и гидроизоляции магистральных теплопроводов используются в настоящее время различные материалы. Все они должны обладать следующими качествами: высокими теплоизоляционными свойствами, низкой теплопроводностью (коэффициент теплопроводности не выше 0,06 Вт/(м·град), долговечностью (стойкостью к

действию воды, химической и биологической агрессии, морозостойкостью и механической прочностью), пожаробезопасностью и экологической безопасностью, низким влагопоглощением.

До настоящего времени при прокладке в непроходных каналах магистральных теплопроводов больших диаметров наиболее широко распространена изоляционная конструкция, в которой внутренний слой – минеральная вата, а наружный – асбосцементная корка по металлической сетке [14]. Допустимая температура теплоносителя для минераловатной изоляции согласно СНиП 2.04.07-86 – 400°C.

Непроходной канал с неподвижными опорами делится на участки длиной от десятков до нескольких сот метров. В последнее время участки каналов между опорами выполняются вентилируемыми, чтобы снизить влагосодержание и чтобы обеспечить возможность форсированной сушки в случае аварии. Для этого на концах участка устанавливают приточную и вытяжную вентиляционные шахты. Более современная разработка – цилиндры теплоизоляционные, которые изготавливаются из минеральной ваты на основе базальтовых пород; могут выпускаться кашированными армированной алюминиевой фольгой. Минераловатные цилиндры в процессе производства обрабатываются гидрофобизирующими составами, после чего их водопоглощение не превышает 20% по объему [15].

Еще одной интересной современной разработкой является нанесение полимербетонной изоляции (ПБИ) на стальные трубы, прокладываемые канально и бесканально. Допустимая температура теплоносителя при контакте с ПБИ – 150°C [16]. Этот способ опробован в нескольких городах, например, в г. Азове, Дмитрове, Санкт-Петербурге [17]. Суть метода в том, что обычная

стальная труба укладывается в специальную металлическую форму и заливается вспененной полимерно-бетонной изоляционной массой. После 45-минутной выдержки изделие готово к транспортировке на объект. Специальные очистка или обработка, в том числе окраска трубы перед заливкой, не требуются, нужно только удалить с ее поверхности грязь. В процессе нанесения ПБИ-массы на трубе образуются три слоя: плотный наружный, защищающий от механических повреждений; хорошо вспененный средний – теплоизоляционный, плотный притрубный – антикоррозийный и гидроизоляционный. Такая защита обеспечивает 25-летнюю эксплуатацию трубопровода с сохранением его первоначальных характеристик при бесканальном методе прокладки. При этом изоляция не выделяет в грунт никаких токсичных веществ, что подтверждается гигиеническим сертификатом на изделие.

Прокладка инженерных сетей с использованием труб с полимерно-бетонной изоляцией в 1,1 раза дешевле традиционного способа, при котором применяются железобетонные каналы, а эксплуатационная надежность таких сетей в пять раз выше. Если с первым все понятно даже неспециалисту (изготовление, транспортировка и монтаж железобетонных каналов требуют весьма солидных расходов), то второе нуждается в некоторых пояснениях. Дело в том, что полимер-бетонная изоляция обладает свойством отторгать наружу влагу, которая может появиться на поверхности трубы. Тем самым, полностью исключается парниковый эффект – основную причину коррозии металла. К тому же, полимер-бетонная изоляция выдерживает давление теплоносителя при точечном повреждении трубы в процессе эксплуатации. Еще одно достоинство ПБИ – возможность легко устранять на месте практически

любые механические повреждения, возникающие в процессе транспортировки, строительно-монтажных работ и эксплуатации теплопровода. Для этого используется специальная мобильная установка для вспенивания ПБИ-массы. Она же применяется и для изоляции стыков теплотрассы (возможности стационарной установки позволяют изолировать трубу длиной не более 11,6 м). Отлажена технология изоляции соединительных элементов: тройников, отводов и переходов, неподвижных опор.

Одна из современных разработок теплоизоляционных и антикоррозионных защитных покрытий - штапельное стеклянное полотно, соединенное синтетическими смолами. Допустимая температура теплоносителя при контакте с данной изоляции – 180°C [16]. Эта разработка внедрялась в Новгородской области [18]. Авторы проекта отмечают безвредность материала для здоровья. Готовое защитное покрытие представляет собой цилиндры, которые состоят из стеклянных волокон диаметром 4-7 мкм, соединенных искусственной смолой. Цилиндры изготавливаются с продольным Z-образным разрезом, с покрытием (каширение) из алюминиевой фольги или без покрытия. Длина изделия составляет 1200 мм. Процесс изоляции происходит следующим образом. Цилиндр, соответствующий по размерам и характеристикам, раскрывается по продольному разрезу и с нажимом надевается на теплопровод. Места соединения соседних цилиндров проклеиваются вкруговую алюминиевой самоклеющейся лентой. Другой вид полуфабриката - ламеллы (рулоны) используются для теплоизоляции трубопроводов большого диаметра. Они изготавливаются шириной 600 мм, длина не ограничена, причем только с покрытием из алюминиевой фольги. На оборудование изделие крепится с помо-

щью скоб, самоклеящейся ленты или оцинкованной проволоки.

Одним из самым перспективных и широконедряемых способов тепло- и гидроизоляции являются трубопроводы с пенополиуретановой изоляцией (ППУ) типа "труба в трубе". Идея эта не нова. Еще в 1963 году в Москве были проведены работы по опытному внедрению этой разработки для подземных трубопроводов. Однако в те годы это направление не получило широкого распространения из-за ограниченности объемов производства и дороговизны используемых материалов. В Америке и Западной Европе эти конструкции применяются с середины 60-х годов, а у нас всего лишь с 90-х годов [19, 20].

Материалы, известные под названием полиуретаны, являются химическими полимерными веществами, образующимися в результате реакции между жидкими изоцианатами и жидкими полиолами. Полиуретаны относятся к наиболее сложной и разнообразной группе полимеров, известных сегодня. Жесткие полиуретаны являются прекрасными изоляционными материалами благодаря низкой теплопроводности ($\lambda = 0,033$, размеры пор 0,5 мм, максимальное водопоглощение 1-2%), кроме того, они могут выдерживать значительные нагрузки и имеют хорошую адгезию со многими материалами, имеют высокую термическую стабильность [21, 22]. Допустимая температура теплоносителя при контакте с ППУ – 120°C [17].

Выбор изоляционной технологии зависит от конкретных характеристик трубопровода. Могут использоваться следующие способы: изготовление отдельных оболочек из цельного листа пены, использование изолированных труб и заполнение в процессе монтажа. Для обеспечения оптимальной адгезии между стальной трубой и пеноизоляцией все трубы подвергают пескоструйной очистке.

Внутренняя поверхность внешней полиэтиленовой оболочки обрабатывается коронным разрядом для получения оптимальной адгезии.

Для изготовления изолированных труб берутся стальные трубы наружным диаметром от 57 до 1020 мм, длиной до 12 м. Введен с 1 июля 2001 г. ГОСТ Р 30732-2001 "Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из ППУ в полиэтиленовой оболочке". Конструкция типа "труба в трубе". Для изготовления оболочек применяется полиэтилен высокой плотности ПЭ-63, ПЭ-80.

В слой пенополиуретановой изоляции (ППУ) встроены проводники-индикаторы системы оперативного дистанционного контроля за увлажнением теплоизоляции. Причинами появления влаги могут быть либо повреждения внешней полиэтиленовой оболочки, либо утечка теплоносителя из стальной трубы из-за ее коррозии или дефектов сварных соединений. Принцип работы систем дистанционного управления основан на измерении электрического сопротивления между сигнальным датчиком и металлическим трубопроводом. Если в трубопроводе данное сопротивление составляет тысячи МОм, то при наличии значительного увлажнения сопротивление снижается до единиц кОм и ниже. Таким образом, контролируя величину сопротивления изоляции, можно контролировать состояние изоляции теплосети. Опыт эксплуатации труб с ППУ изоляцией показывает, что указанные трубопроводы без системы контроля представляют большую потенциальную опасность из-за возникновения неконтролируемых утечек теплоносителя в грунт [23]. При этом местоположение сквозного дефекта стальной трубы, как правило, не соответствует месту выхода теплоносителя из-под оболочки. В связи с этим при проведении ремонтных работ возникает необходимость демонтажа изоля-

ции и ее замены на значительном протяжении. В настоящее время ГОСТом запрещено применение для бесканальной прокладки трубопроводов без системы контроля [24]. Необходимо соблюдать все требования завода-изготовителя по обращению с предизолированными трубопроводами (хранение, транспортировка, погрузка-разгрузка и монтаж), а также необходимо высокое качество изоляции стыковых соединений. Технология изоляции стыков должна предусматривать проверку герметичности изоляции после установки муфты

Недостатком данной технологии является достаточно высокая стоимость данной изоляции.

В г. Кемерово, впервые за Уралом, в последние годы начали применять прокладку тепловых сетей с ППУ-изоляцией, защищенной двойным слоем прочного пластика. Всего проложено 12,5 км таких теплопроводов, а в 2003 г. – 2,8 км. Медленные темпы внедрения этой прогрессивной технологии сдерживают, прежде всего, финансовые проблемы.

Один из способов снижения

коррозионного воздействия почвы и грунта на теплопроводы – надземная их прокладка. Влияние контакта с грунтом и воздействие блуждающих токов исключается. Как показывает опыт, надземные теплопроводы имеют более высокую надежность и долговечность по сравнению с подземными и требуют меньших начальных затрат при сооружении. Поэтому теплопроводы за городом и на окраинах городов, на промплощадках и в других местах, где это согласуется с архитектурными и планировочными требованиями, целесообразно сооружать надземными [25]. СНиПом [17] допускается при обосновании надземная прокладка.

Внедрение надземной прокладки теплопроводов в городах России тормозится органами архитектурного надзора. Между тем за рубежом этот вид прокладки распространен довольно широко. Например, в Чехии и Германии для улучшения внешнего вида надземных сооружений теплопроводов применяют обсадку трассы декоративными кустарниками. Видимо, работа над совершенствованием данного способа будет продолжаться.

Совершенствование методов борьбы с блуждающими токами, воздействие которых многократно усиливает коррозию подземных теплопроводов, – актуальная научная проблема сегодняшнего дня. На теплопроводы могут натекать токи силой в несколько ампер, при наличии покрытия на теплопроводе они могут стекать лишь с мест повреждений в покрытии. Поэтому плотности стекающих токов в отдельных случаях очень велики. В практике встречаются случаи, когда в анодных зонах действия блуждающих токов сквозные отверстия в стенках труб образуются через несколько месяцев после прокладки теплопроводов [26]. Одно из направлений – подбор материалов и формы заземлителей. Например, токопроводящей резины [27]. На вводах теплопроводов на объекты, являющиеся источниками блуждающих токов, предлагается применять электроизолирующие фланцевые соединения с изоляцией их внутренней поверхности термовлагостойкими диэлектрическими покрытиями, например, стеклоэмалиевыми покрытиями [28].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закиров Д.Г. и др. Утилизация бросового тепла // ЖКХ. 2002. № 5. С. 27-30.
2. Ветер В.В. и др. К вопросу об использовании труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для прокладки теплопроводов // Промышленная энергетика // 1997. №12. С. 17-18.
3. Ковылянский Я.А., Лось А.О. Некоторые пути совершенствования и повышения надежности труб тепловых сетей // Теплоэнергетика. 1990. №9. С. 19-22.
4. Никифоров В.В. и др. Трубы из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом // Теплоэнергетика. 2000. № 8. С. 36-37.
5. Рубашов А.Н., Балабан-Ирменин Ю.В. Зарубежный опыт противокоррозионной обработки воды теплосети // Теплоэнергетика. 2001. № 8. С. 72-77.
6. Шарапов В.И. и др. О нормах содержания растворенного кислорода в подпиточной воде систем теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2002. № 1. С. 69-71.
7. Шарапов В.И. О предотвращении внутренней коррозии теплосети в закрытых системах теплоснабжения // Теплоэнергетика. 1998. № 4. С. 16-19.
8. Шарапов В.И., Кувшинов О.Н. Анализ эффективности вакуумных деаэраторов теплоэнергетических водоподготовительных установок // Теплоэнергетика. 1997. № 11. С. 51-55.
9. Зингер И.М., Малафеев А.В. Технические проблемы развития теплофикации и централизованного теплоснабжения в работах ВТИ // Электрические станции. 1996. №7. С. 23-28.
10. Лагутина Л.В., Новиков А. В., Шорина Е.А. Выбор металла, обеспечивающего высокую надежность трубопроводов тепловых сетей // Энергетик. №7. 2003. С. 28.
11. Канунов В.М. Асбосцементные трубы - для теплотрасс // ЖКХ. 2000. № 4. С. 20-21.
12. Ветер В.В. и др. Использование труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для прокладки теплопроводов с теплоносителем с давлением до 1,6 МПа и температурой 150°C // Тепло-

- энергетика. 1999. № 10. С. 59-60.
13. Воронин П.А. Техническое перевооружение – путь к бездотационной теплоэнергетике // ЖКХ. 2000. № 7. С. 26-27.
 14. Извеков А.В. Потери тепла в вентилируемых каналах тепловых сетей // Теплоэнергетика. 1994. № 12. С. 37-42.
 15. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В. Тепловая изоляция трубопроводов тепловых сетей в каналах // Энергосбережение. 2001. № 1. С. 24-25.
 16. СНиП 2.04.07-86. Тепловые сети.
 17. Варварский В.С., Ковылянский Я.А. Новые направления работ в области теплоснабжения // Энергетик. 1994. № 11. С. 6-8.
 18. Цилиндры и ламеллы для изоляции трубопроводов и оборудования // Энергосбережение. 2002. № 1. С. 52-53.
 19. Майзель И.Л. Трубы с тепловой изоляцией из пенополиуретана – реальный путь усовершенствования системы теплоснабжения // Энергосбережение. 2002. № 3. С. 36-38.
 20. Шубин Е.П. Тепловая изоляция трубопроводов в зарубежной энергетике. Обзор. – М.: БТИ, 1965. – 35 с.
 21. Лазутин М. И. др. Тепловая изоляция из жесткого пенополиуретана: основные свойства и направления применения в строительстве // Энергосбережение. 2002. № 3. С. 56-58.
 22. Бухин В.Е. Предварительно изолированные трубопроводы для систем централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. 2002. № 4. С. 24-29.
 23. Поляков В.А. Опыт применения систем дистанционного контроля в тепловых сетях бесканальной прокладки // Энергосбережение. № 4. 2003. С. 24-27.
 24. ГОСТ Р 30732-2001. Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана в полиэтиленовой оболочке.
 25. Соколов Е.Я. Современное состояние и основные проблемы теплофикации и централизованного теплоснабжения // Теплоэнергетика. 1988. №3. С. 2-6.
 26. Стрижевский И.В., Сурик М.А. Защита подземных трубопроводов от коррозии. М.: Энергоатомиздат. 1983 . - 344 с.
 27. Вода московского разлива // ЖКХ. 2001. № 12. С. 28-31.
 28. Сурик М.А. и др. ЭХЗ трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии // Энергетик. 1996. №2. С. 24-26.

Авторы статьи:

Старицова

Елена Юрьевна

– канд. техн. наук, доц. каф.
процессов, машин и аппаратов
химических производств

Петрик

Павел Трофимович

– д.т.н., проф., зав. каф. процес-
сов, машин и аппаратов химиче-
ских производств