УДК 621.644

© А. Ф. Юдина, д-р техн. наук, профессор
© Е. А. Кобелев, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: yudinaantonina2017@mail.ru,
evgeny.kobelev@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-101-108

© A. F. Yudina, Dr. Sci. Tech., Professor
© E. A. Kobelev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: yudinaantonina2017@mail.ru
evgeny.kobelev@gmail.com

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ НОВЫХ И РЕМОНТА СТАРЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR TRENCHLESS INSTALLATION OF NEW UTILITY NETWORKS AND REPAIR OF THE OLD ONES

Рассматриваются инновационные зарубежные технологии бестраншейной прокладки новых и ремонта старых инженерных сетей городской инфраструктуры, а также перспективы их применения в России. Проведен сравнительный анализ наиболее распространенных бестраншейных технологий ремонта трубопроводов для мегаполисов. Авторами разработаны практические рекомендации по внедрению экономически эффективных технологий бестраншейного ремонта, позволяющих производить восстановление трубопроводов через смотровые колодцы без нарушения городского ландшафта и перекрытия движения транспорта.

Ключевые слова: бестраншейные технологии, инженерные сети, ремонт трубопроводов, реновация, труба, лайнер.

Some innovative foreign technologies for trenchless installation of new engineering networks of urban infrastructure and repair of the old ones as well as the prospects of their application in Russia are considered in the article. A comparative analysis of the most common trenchless technologies of pipeline repair for megacities is made. The authors present practical recommendations for implementation of cost-effective technologies for trenchless rehabilitation of the pipelines through manholes without disrupting the urban landscape and blocking off the traffic.

Keywords: trenchless technologies, engineering network, repair of pipelines, renovation, pipe, liner.

В настоящее время в городах-мегаполисах различных стран все больше внимания уделяется вопросам использования инновационных бестраншейных технологий для прокладки водопроводных, водоотводящих и других инженерных сетей, а также восстановления (санации) старых трубопроводов, что является экономичной и надежной альтернативой традиционному открытому способу строительства и реконструкции трубопроводов [1, 2]. В передовой зарубежной практике до 95 % объема работ по прокладке и реконструкции подземных коммуникаций производится бестраншейными методами без ущерба городскому ландшафту и окружающей среде [4, 8]. В настоящей статье рассматриваются перспективы внедрения бестраншейных технологий прокладки и ремонта инженерных сетей в России [5, 14].

Существует условное разделение всех безраскопчных технологий на две основные группы: это бестраншейные методы прокладки новых наружных сетей и технологии бестраншейной реновации (ремонта, замены и восстановления) имеющихся инженерных коммуникаций [6, 13, 14].

В соответствии с классификацией методов строительства подземных коммуникаций закрытым способом, приведенной в СП [17], все бестраншейные технологии делятся на пилотируемые и непилотируемые технологии. Непилотируемые технологии в свою очередь подразделяются на управляемые и неуправляемые. К непилотируемым неуправляемым бестраншейным технологиям относятся технологии с уплотнением грунта (soil displacement techniques), технологии с удалением грунта (soil removal techniques) для

прокладки новых подземных коммуникаций [7], а также технологии для реновации старых инженерных сетей без разрушения (pipe burstingless renewal). К непилотируемым управляемым технологиям закрытой прокладки относятся микротоннелирование (microtunnelling); технологии вдавливания (pilot pipe jacking); горизонтальное направленное бурение/ГНБ (horizontal directional drilling/HDD) [12]; плужный метод (plough techniques) и комбинированные технологии (steerable combined techniques). К пилотируемым управляемым бестраншейным технологиям прокладки подземных коммуникаций относятся щитовая проходка (shield-driven tunneling) [15] и горный способ (rock tunnelling).

Каждая из бестраншейных технологий применяется в соответствующем диапазоне диаметров и длин прокладываемых коммуникаций [9]. Все указанные методы позволяют производить прокладку инженерных сетей с минимальными раскопками, однако в большинстве из этих методов совсем без производства земляных работ, к сожалению, не обойтись. Бестраншейные технологии строительства новых сетей с учетом сравнительно невысокой стоимости отечественных полимерных трубопроводов позволяют достичь весьма умеренной стоимости работ по прокладке инженерных коммуникаций, сопоставимой по трудозатратам и сметной стоимости с прокладкой нового трубопровода открытым способом. Однако с учетом использования весьма дорогостоящего, как правило, импортного монтажного оборудования [3], необходимостью проведения проектно-изыскательских и подготовительных работ на каждом участке, а также стоимостью дополнительных работ и повышающих коэффициентов, связанных с трудностью выполнения этой работы в условиях плотной городской застройки, прокладка новых сетей бестраншейными методами часто оказывается нерентабельной (см. рисунок). Более того, конечная стоимость строительства одного метра нового трубопровода в центре крупного города указанными выше бестраншейными методами может достигать десяти- и более кратного размера стоимости прокладки аналогичного трубопровода за пределами города.

Поэтому широкое распространение в строительной практике получили менее трудоемкие

и поэтому наиболее экономичные технологии бестраншейной замены (ремонта, реновации, восстановления) существующих инженерных сетей [16].

К этой группе относятся бестраншейные технологии по реновации сетей следующим методами: неуправляемый прокол с разрывом (берстлайнинг/pipe bursting) или разрезом (сплиттинг/pipe splitting), состоящий в разрушении старого изношенного трубопровода с сохранением или увеличением его диаметра; слиплайнинг (sliplining), т. е. протаскивание нового трубопровода внутри старого с заполнением кольцевого зазора между ними тампонажным раствором; метод гибкого рукава (flexible pipe sliplining): протаскивание полимерного рукава внутри изношенной трубы с последующим его отверждением (полимеризацией) различными методами с незначительным уменьшением внутреннего диаметра; модифицированный слиплайнинг (modified sliplining): протаскивание внутри изношенного трубопровода новой полимерной трубы с предварительно деформированным поперечным сечением для уменьшения диаметра и последующим восстановлением ее первоначальной формы внутри старой трубы при незначительном изменении внутреннего диаметра без межтрубного пространства; формирование новой тонкостенной полимерной оболочки внутри старой изношенной трубы из специально профилированной усиленной ПВХ-ленты с уменьшением внутреннего диаметра и наличием межтрубного пространства, заполняемого бетонной смесью; нанесение на предварительно очищенную внутреннюю поверхность старого трубопровода, как правило, центробежным набрызгом, различных защитных водонепроницаемых покрытий (covering) из цементно-песчаного раствора, кислото- и щелочноупорных полимерных материалов при незначительном уменьшении диаметра восстанавливаемого трубопровода.

Метод нанесения цементно-песчаного защитного покрытия на предварительно очищенную внутреннюю поверхность старого трубопровода является технологически наиболее простым и дешевым, поэтому он широко распространен [13]. Этот метод может применяться как для реконструкции, так и для предотвращения появления коррозии и отложений на внутренней

поверхности трубопроводов, увеличения пропускной способности действующих трубопроводов в целях обеспечения надлежащего качества питьевой воды и увеличения срока службы труб. В последние годы эта технология развивалась многими компаниями за счет использования новых полимербетонных композиций и совершенствования способов их послойного нанесения для формирования стенок новой трубы на внутренней поверхности старого трубопровода, который при этом используется как опалубка для изготовления новой трубы. Эта бестраншейная технология позволяет ремонтировать трубопроводы диаметром от 150 до 600 мм, участками до 1 км. Возможен ремонт трубопроводов и большего диаметра, но он должен производиться более короткими участками. Работы осуществляются мобильными роботизированными ремонтными комплексами, включающими в себя всю необходимую технологическую оснастку и монтажное оборудование.

Весьма доступным методом бестраншейного восстановления сетей из перечисленных выше также является технология разрушения старого изношенного трубопровода с помощью пневматического пробойника [7]. Эта технология позволяет проводить реновацию трубопроводов из

различных материалов паружными диаметрами до $\varnothing 1500$ мм. В случае необходимости возможно увеличение существующего диаметра восстанавливаемых сетей. При этом в зависимости от типа и мощности применяемого оборудования за одну проходку можно увеличить диаметр трубопровода на два типоразмера по сравнению с диаметром старой трубы.

Как показывает строительная практика, в условиях плотной городской застройки наиболее конкурентоспособными по технико-экономическим показателям оказываются технологии по бестраншейному ремонту и восстановлению наружных инженерных сетей и других коммуникаций.

Бестраншейные технологии восстановления инженерных сетей являются капитальным ремонтом существующих трубопроводов, поэтому не требуют проведения проектно-изыскательских работ, дополнительных затрат по подготовке строительного участка, так как работы выполняются из существующих колодцев, а также экспертизы проекта и других согласований и финансовых вложений, необходимых при новом строительстве.

В современных условиях постоянно возрастают требования к качеству материалов, использу-

емых в наружных инженерных сетях городского хозяйства как при традиционной открытой прокладке, так и в случае бестраншейных методов реновации трубопроводов [11]. Использование полимерных труб [10] значительно облегчает и ускоряет как процесс строительства новых инженерных сетей, так и ремонта существующих трубопроводов из традиционных материалов. Кроме того, пластик — легкий и устойчивый к коррозии, проверенный временем материал, прослужит многие десятилетия без значительных затрат на ремонт и обслуживание трубопроводов. В России полимерные трубы для нового строительства и ремонта трубопроводов в сегменте городского хозяйства предлагают более 50 производителей, как отечественных, так и зарубежных компаний.

В настоящее время во многих крупных городах РФ успешно реализуется программа, принятая до 2020 г., по реконструкции существующих коммуникаций водоснабжения и канализации, которая предусматривает выполнение работ по реновации наружных инженерных сетей закрытым способом с целью сохранения городского ландшафта и отсутствия транспортных помех. Технологии бестраншейного ремонта трубопроводов соответствуют данным требованиям, являются весьма экономичными, в среднем на 30–50 % сокращают капитальные затраты по сравнению с методами открытой прокладки труб и не требуют длительных и затратных согласований на проведение ремонтных работ традиционными способами.

Помимо этого, применение технологий для бестраншейной реновации городских сетей в среднем на 25–40 % сокращает потребление электроэнергии насосно-силовым оборудованием и за счет использования труб из инновационных полимерных материалов сохраняет, а в отдельных случаях даже увеличивает пропускную способность восстановленных трубопроводов.

В таблице приведено краткое сравнение наиболее распространенных технологий бестраншейного ремонта наружных инженерных сетей.

Обоснование целесообразности использования той или иной технологии бестраншейного ремонта должно выполняться после проведения диагностических обследований трубопровода и заключения технической экспертизы по состоя-

нию старого трубопровода. В каждом конкретном случае детальному рассмотрению подлежат материал, из которого изготовлен трубопровод, степень его износа, протяженность ремонтного участка, его диаметр, вид транспортируемой среды, характер имеющихся дефектов трубопровода, окружающая наземная и подземная инфраструктура, тип грунтов, наличие подземных вод и ряд других факторов, способных повлиять на выбор оптимальной технологии бестраншейного ремонта.

Выводы

1. Неуклонный рост населения мегаполисов, стесненность городской застройки и неизбежное насыщение подземных уровней новыми сооружениями инженерной инфраструктуры делают бестраншейные методы прокладки и реконструкции более чем значимыми в современных условиях.

2. Преимущества внедрения бестраншейных технологий в условиях плотной городской застройки очевидны: сокращаются сроки и объемы согласований и самих работ, количество тяжелой техники и рабочей силы, а значит, уменьшаются сметная стоимость строительства и затраты на восстановление нарушенного благоустройства.

3. Для стесненных условий крупных городов наиболее перспективными, на наш взгляд, являются бестраншейные технологии ремонта инженерных сетей, позволяющие производить восстановление трубопроводов через смотровые колодцы, что полностью исключает затраты на проектно-изыскательские работы, производство земляных работ, на восстановление дорог, нарушенного благоустройства придомовых территорий и не требует перекрытия интенсивного движения городского транспорта. Поэтому внедрение бестраншейных технологий ремонта инженерных сетей является на сегодняшний день наиболее актуальным и экономически оправданным для городских коммунальных служб.

Библиографический список

1. Орлов В. А., Харькин В. А. Стратегия и методы восстановления подземных трубопроводов. М.: Стройиздат, 2001. 95 с.
2. Храменков С. В., Орлов В. А., Харькин В. А. Оптимизация восстановления водоотводящих сетей. М.: Стройиздат, 2002. 160 с.

Сравнение технологий бестраншейного ремонта трубопроводов

Технология	Краткое описание	Достоинства	Недостатки
Методы нанесения защитных покрытий (coating)			
Нанесение цементно-песчаного покрытия на внутреннюю поверхность трубопровода	Разбрызгивание цементно-песчаного раствора с помощью специального оборудования	Простой и относительно недорогой метод	Применение ограничено для стальных и чугунных трубопроводов. Неприменим при наличии дефектов и нарушении несущей способности трубы
Нанесение полимерных покрытий	Послойное формирование стенки новой трубы внутри старого трубопровода путем центрального разбрызгивания полимерного компаунда с его последующим самопроизвольным отверждением. Для санации наносится слой толщиной до 8 мм	Надежное сцепление покрытия с трубой. Метод используется не только для восстановления герметичности (ширина щелей до 6 мм), но и для защиты трубопровода от минеральных отложений и биообрастания	Высокая стоимость полимерных материалов. Неэффективен при поступлении в трубопровод воды через свищи
Методы протаскивания гибкого полимерного рукава (flexible pipe sliplining)			
Технологии, основанные на использовании гибкого полимерного рукава	Формирование с помощью гибкой рулонной заготовки новой композитной трубы внутри старого трубопровода	Один из самых распространенных и универсальных методов. Применением для ремонта труб из любых материалов. Высокие темпы производства работ. При диаметрах труб до 600 мм не требуются рабочие котлованы. Формируется самонесущая труба	Достаточно дорогостоящее оборудование и материалы. Необходимо опорожнение и тщательная очистка трубопровода, с последующим полными опорожнением и высушиванием. Обязательно наличие уклона
Модифицированный сиплайнинг (modified sliplining): методы восстановления с помощью гибких лайнеров или предварительно соединяемых полимерных труб			
Протягивание гибких тонкостенных полимерных труб с предварительным уменьшением размеров их поперечного сечения (лайнеров) и последующей термообработкой	Протаскивание предварительно сжатой относительно гибкой полимерной трубы. Восстановление первоначальной формы поперечного сечения трубы происходит в результате термообработки после остывания	Единовременное восстановление нескольких пролетов. Плотное прилегание к стенке. Поперечное сечение трубопровода уменьшается незначительно. Не требуется заполнение межтрубного пространства раствором	Ограничение по диаметру лайнеров. Дорогостоящий комплект монтажного оборудования

Окончание таблицы

Технология	Краткое описание	Достоинства	Недостатки
Протягивание гибких предварительно сваренных плетей полиэтиленовых труб с механическим обжатием для уменьшения поперечного сечения	Протаскивание относительно гибкой полимерной трубы, предварительно обжатой механическим способом. Восстановление первоначальной формы поперечного сечения трубы производится под напором воды	Те же, что и для лайнеров. Процесс восстановления формы трубы не зависит от остановок при протяжке плети	Ограничение по диаметру труб. Значительное место для производства работ со сваренной плетью. Необходима полная герметизация при подаче воды под давлением
Технология «труба в трубе»	Протаскивание внутри старого трубопровода плети предварительно сваренных напорных полиэтиленовых труб меньшего диаметра	Более простой метод, пригоден для широкого диапазона диаметров. Не требуются специальные комплектующие. Требуется устройство рабочих котлованов	Необходимость заполнения межтрубного пространства и существенное уменьшение поперечного сечения восстанавливаемого трубопровода. Значительное место для производства работ со сваренной плетью
Технология слиплайнинга (slip lining) с использованием гибких полимерных труб, предварительно сваренных в плеть	Ремонт осуществляется через колодцы. Используются двухслойные трубы, имеющие наружную гофрированную и внутреннюю гладкую стенки. Плеть труб протаскивают сразу на несколько пролетов. Межтрубный зазор заделывается цементно-песчаным раствором	Ремонт осуществляется на работающем коллекторе без перекачки стоков. Высокая скорость ремонта без остановки движения транспорта. Увеличение пропускной способности. Сравнительно недорогой комплект монтажного оборудования	Сужение диаметра коллектора. Необходимость заделки межтрубных зазоров. Ограничение применения небольшими диаметрами до 500 мм
Формирование нового трубопровода из коротких патрубков, соединяемых в плеть в смотровом колодце или в рабочем котловане			
Использование для сборки нового трубопровода коротких патрубков из полимерных труб	Плеть, последовательно формируемая из полимерных патрубков в смотровом колодце или рабочем котловане, затягивается или проталкивается в старую трубу	Один из самых простых и доступных методов. Не требует дорогостоящего монтажного оборудования	Диаметр старого трубопровода существенно уменьшается. Необходимость заделки зазора раствором. Высокая трудоемкость работ. Угроза разгерметизации многочисленных стыков патрубков

3. Продоус О. А. Рекомендации по выбору способа и подбору технологического оборудования для бестраншейного ремонта инженерных сетей. СПб.: НИИ АКХ им. К. Д. Памфилова, 2004.
4. Храменков С. В. Стратегия модернизации водопроводной сети. М.: Стройиздат, 2005. 398 с.
5. Рыбаков А. П. Основы бестраншейных технологий. М.: ПрессБюро, 2005. 304 с.
6. Храменков С. В., Примин О. Г., Орлов В. А. Реконструкция трубопроводных систем. М.: АСВ, 2008. 215 с.
7. Верстов В. В., Копанская Л. Д., Белов Г. А. Разработка технологии бестраншейной прокладки трубопроводов: метод. указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Технология и организация городского строительства и хозяйства» для студ. специальности 270105 «Городское строительство и хозяйство». СПб.: СПбГАСУ, 2008. 66 с.
8. Кобелев Е. А. Технологии NRG для санации трубопроводов. Доклад на Междунар. конф. по бестраншейным технологиям NO-DIG. Москва, 1–4 июня 2010.
9. Орлов В. А. Строительство и реконструкция инженерных сетей и сооружений. М.: Академия, 2010. 301 с.
10. Храменков С. В., Примин О. Г., Отставнов А. А. Использование полиэтиленовых труб для систем водоснабжения и водоотведения. М.: Современная полиграфия, 2010. 318 с.
11. Орлов В. А., Михайлин А. В., Орлов Е. В. Технологии бестраншейной реновации трубопроводов. М.: АСВ, 2011. 133 с.
12. Освоение подземного пространства. Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения. СТО НОСТРОЙ 2.27.17–2011. М.: БСТ. 145 с.
13. Орлов В. А. Технологии бестраншейной прокладки и ремонта трубопроводов. М.: МГСУ, 2012. 210 с.
14. Пупырев Е. И., Примин О. Г. Водная отрасль России: проблемы и решения // Коммунальный комплекс России. 2012. № 5. С. 8–12.
15. Юдина А. Ф., Верстов В. В., Бадьин Г. М. Технологические процессы в строительстве: учеб. для студ. высшего профессионального образования, обучающихся по программе бакалавриата по направлению подготовки «Строительство». М.: Академия, 2013. 304 с.
16. Ладеева М. А., Луферчик Я. С., Рязанов А. В., Ручкинова О. И. Анализ технологии реновации водопроводных и водоотводящих трубопроводов // Вестник ПНИПУ. 2014. № 4.
17. СП 249.1325800.2016. Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытым способами. М., 2016.

References

1. Orlov V. A., Khar'kin V. A. *Strategiya i metody vosstanovleniya podzemnykh truboprovodov* [Strategy and methods of reconstruction of underground pipelines]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2001, 95 p.
2. Khramenkov S. V., Orlov V. A., Khar'kin V. A. *Optimizatsiya vosstanovleniya vodootvodyashchikh setey* [Optimization of rehabilitation of the wastewater disposal networks]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2002, 160 p.
3. Prodous O. A. *Rekomendatsii po vyboru sposoba i podboru tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya bestransheynogo remonta inzhenernykh setey* [Recommendations on selecting the means and processing equipment for trenchless repair of engineering networks.]. St. Petersburg, Pamfilov NII AKKh Publ, 2004.
4. Khramenkov S. V. *Strategiya modernizatsii vodoprovodnoy seti* [Modernization strategy of the water supply system.]. Moscow, Stroyizdat Publ., 2005, 398 p.
5. Rybakov A. P. *Osnovy bestransheynykh tekhnologiy* [Basics of trenchless technologies]. Moscow, PressByuro Publ., 2005, 304 p.
6. Khramenkov S. V., Primin O. G., Orlov V. A. *Rekonstruktsiya truboprovodnykh sistem* [Rehabilitation of pipeline systems]. Moscow, ASV Publ., 2008, 215 p.
7. Verstov V. V., Kopanskaya L. D., Belov G. A. *Razrabotka tekhnologii bestransheynoy prokladki truboprovodov: metod. ukazaniya k vypolneniyu kursovoy raboty po distsipline «Tekhnologiya i organizatsiya gorodskogo stroitel'stva i khozyaystva» dlya stud. spetsial'nosti 270105 «Gorodskoe stroitel'stvo i khozyaystvo»* [Development of technology of trenchless laying of pipelines. Method. instructions to implementation of the term paper on discipline "Technology and the organization of city construction and economy" for the specialty 270105 "City construction and economy"]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2008, 66 p.
8. Koblelev E. A. *Tekhnologii NRG dlya sanatsii truboprovodov* [NRG technologies for sanitation of pipelines]. *Trudy Mezhdunar. konf. po bestransheynym tekhnologiyam NO-DIG* [Proc. of the Int. conf. on trenchless NO-DIG technologies]. Moscow, June 1-4, 2010.
9. Orlov V. A. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya inzhenernykh setey i sooruzheniy* [Construction and reconstruction of engineering networks and constructions]. Moscow, Akademiya Publ., 2010, 301 p.
10. Khramenkov S. V., Primin O. G., Otstavnov A. A. *Ispol'zovanie poliehtilenovykh trub dlya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya* [Using polyethylene pipes for the systems of water supply and wastewater disposal]. Moscow, *Sovremennaya poligrafiya – Modern polygraphy*, 2010, 318 p.
11. Orlov V. A., Mikhaylin A. V., Orlov E. V. *Tekhnologii bestransheynoy renovatsii truboprovodov* [Technologies of trenchless renovation of pipelines].

gies of trenchless renovation of pipelines]. Moscow, ASV Publ., 2011, 133 p.

12. *Osvoenie podzemnogo prostranstva. Prokladka podzemnykh inzhenernykh kommunikatsiy metodom gorizontal'nogo napravlennoy bureniya* [Development of underground space. Laying of underground engineering communications by the method of horizontal directed drilling]. STO NOSTROY 2.27.17–2011. Moscow, BST Publ., 145 p.

13. Orlov V. A. *Tekhnologii bestransheynoy prokladki i remonta truboprovodov* [Technologies of trenchless laying and repair of pipelines]. Moscow, MGSU Publ., 2012, 210 p.

14. Pupyrev E. I., Primin O. G. *Vodnaya otasl' Rossii: problemy i resheniya* [Water branch of Russia: problems and decisions]. *Kommunal'nyy kompleks Rossii – Municipal complex of Russia*, 2012, no. 5, pp. 8–12.

15. Yudina A. F., Verstov V. V., Bad'in G. M. *Tekhnologicheskie protsessy v stroitel'stve: ucheb. dlya stud. vys-*

shego professional'nogo obrazovaniya, obuchayushchikhsya po programme bakalavriata po napravleniyu podgotovki «Stroitel'stvo» [Technological processes in construction. Textbook for students of higher education studying according to the program of bachelor degree for the direction of preparation "Construction"]. Moscow, Akademiya Publ. 2013, 304 p.

16. Avdeeva M. A., Luferchik Ya. S., Ryazanov A. V., Ruchkinova O. I. *Analiz tekhnologii renovatsii vodoprovodnykh i vodootvodyashchikh truboprovodov* [Analysis of technology of renovation of the water supply system and wastewater disposal system pipelines]. *Vestnik PNIPU – PNIPU Bulletin*, 2014, no. 4.

17. SP 249.1325800.2016. *Kommunikatsii podzemnye. Proektirovanie i stroitel'stvo zakrytym i otkrytym sposobami* [SP 249.1325800.2016. Underground communications. Design and construction by closed and open ways]. Moscow, 2016.