

Бестраншейные технологии на службе экологии

Рецензия эксперта на статью получена
19.12.2018 [Expert review on the article
received December 19, 2018].

Экологические проблемы на сегодняшний день рассматриваются в качестве одних из главных для человека. Улучшение экологии позволяет обеспечить комфортные условия проживания в природной среде и удовлетворение жизненно важных потребностей в воде и пище [1]. Решая проблемы очистки сточных вод от загрязнений и сброса их в природные водоёмы, на повестку дня встают жёсткие соблюдения условий, при которых человек не должен навредить себе и последующим поколениям.

Материал настоящей статьи затрагивает актуальные экологические аспекты — безопасную транспортировку очищенных сточных вод и обеспечение возможностей самоочищения морской экосистемы при сбросе в них сточных вод [2]. Решение данного вопроса наиболее актуально для замкнутых акваторий (например, в Чёрном море) в целях предотвращения (уменьшения) негативного воздействия загрязнителей на морскую экосистему.

Одним из перспективных решений данной задачи является совершенствование конструкции выпусков сточных вод в водные объекты (моря) и применения современных бестраншейных технологий [3]. Практика показывает, что трубо-

Актуальный экологический аспект имеет безопасная транспортировка очищенных сточных вод и обеспечение возможностей самоочищения морской экосистемы при сбросе в них сточных вод. Решение данного вопроса особо актуально для замкнутых акваторий (например, для Чёрного моря)

проводы выпуска сточных вод в основном сооружаются наземным способом путём опускания плетей труб на морское дно с применением балластировки. Для выпусков в море обычно используют полимерные трубопроводы, устойчивые к агрессивным морским водам. Необходимо учитывать, что полиэтилен имеет низкую плотность (в среднем $0,95 \text{ г/см}^3$), что ниже плотности воды (1 г/см^3), поэтому полимерные трубы не удерживаются на морском дне. Для обеспечения проектного положения полимерных труб на подводных участках необходимо проводить балластировку трубопроводов, особенно для безнапорных труб большого диаметра [4]. Такие выпуски проектируют относительно короткими и неглубокими.

УДК 628.143. Научная специальность: 05.23.04.

Бестраншейные технологии на службе экологии

Владимир А. Орлов, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение»; **Алексей П. Сторожев**, студент магистратуры; **Владислав А. Герасимов**, студент магистратуры, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)

В статье рассматриваются вопросы применения одного из прогрессивных методов бестраншейного строительства, именуемого микротоннелированием. Описана сущность микротоннелирования как дистанционно управляемого процесса проходки скважин (в том числе наклонных и горизонтальных) и продавливания труб, диаметр которых не допускает в них присутствия человека, и его преимущества перед другими бестраншейными технологиями, в частности, прокола, продавливания и горизонтального направленного бурения за счёт использования широкого диапазона диаметров, возможности бурения при любой категории грунтов и значительной длине трассы за один проход. Представлены общие сведения о возможностях реализации бестраншейной технологии микротоннелирования, технические и технологические решения, обеспечивающие проходку микрошита в подземном пространстве под морским дном и эффективную транспортировку сточных вод с последующим их сбросом в море, содействуя предотвращению экологического вреда акватории вблизи городских поселений в прибрежной зоне и сохраняя фоновые концентрации органических и неорганических загрязнений морской воды в местах сброса очищенных сточных вод. Использование метода микротоннелирования позволяет достичь ряда преимуществ перед открытыми методами прокладки трубопроводов, например, прокладкой их на дне с балластировкой, а также организации эффективной транспортировки воды на значительные расстояния от берегов. Приведена схема прокладки трубопровода под морским дном и сопровождающие строительство процессы бурения, извлечения микрошита из подводного пространства, погрузка его на плавучее средство при завершении строительных работ. Представлены конструкции отдельных узлов машин для микротоннелирования. Проанализированы последовательные этапы реализации технологии микротоннелирования и установливаются возможности выпуска, обеспечивающего эффективное смешение сточных вод с морской водой на соответствующих глубинах.

Ключевые слова: бестраншейные технологии, морская акватория, экологическая обстановка, микротоннелирование, трубопроводы, выпуски сточных вод, разбавление сточных вод.

UDC 628.143. Number of scientific specialty: 05.23.04.

Trenchless technologies at the service of ecology

Vladimir A. Orlov, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Water Supply and Sewerage; **Alexey P. Storozhev**, graduate student; **Vladislav A. Gerasimov**, graduate student, National Research University Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

The article considers the use of one of the progressive methods of trenchless construction, called microtunneling. The essence of microtunneling is described as a remotely controlled process of drilling wells (including inclined and horizontal) and forcing pipes whose diameter does not allow human presence in them, and its advantages over other trenchless technologies, in particular, puncture, forcing and horizontal directional drilling due to use a wide range of diameters, the possibility of drilling for any category of soil and a significant length of the route in one pass. Provides general information about the possibilities of implementing the trenchless microtunneling technology, technical and technological solutions that ensure the passage of the microschine in the underground space under the seabed and efficient transportation of wastewater with their subsequent discharge into the sea, helping to prevent environmental damage to the water area near urban settlements in the coastal zone and maintaining background concentrations of organic and inorganic pollution of sea water at the sites of discharge of treated wastewater. Using the method of microtunneling allows you to achieve a number of advantages over the open methods of laying pipelines, for example, laying them at the bottom with ballasting, as well as organizing efficient transportation of water over considerable distances from the coast. A scheme of laying the pipeline under the seabed and the construction accompanying the drilling process, extracting the microschine from the underwater space, loading it onto a floating facility at the completion of construction work is presented. The designs of individual units of microtunneling machines are presented. The successive stages of the implementation of the microtunneling technology and the installation of a scattering outlet, which ensure the effective mixing of sewage with seawater at appropriate depths, are analyzed.

Key words: trenchless (no-dig) technologies, sea water area, ecological situation, microtunneling, pipelines, wastewater discharges, dilution of discharged wastewater.



Рис. 1. Загрязнение акватории морской бухты

В итоге возникают ситуации, когда сбрасываемые сточные воды вымываются на берег, вызывая долгосрочное загрязнение экосистемы. Более того, трубопроводы, опущенные в море с помощью балласта, не выдерживают воздействие мощных потоков воды. Во время бури высокие волны провоцируют гидродинамическое воздействие на трубопровод, что часто приводит к его разрушению. Протяжённый выпуск в открытое море является предпочтительным решением с экологической точки зрения, однако традиционные методы строительства не могут реализовать данную задачу идеальным образом. Для реализации данного решения предлагается использование бестраншейных технологий прокладки трубопроводов. Одним из наиболее современных методов на сегодняшний день является микротоннелирование, использование которого позволяет прокладывать трубы далеко от берега и глубоко под водой на протяжении всей трассы, не нарушая водную экологию вблизи побережья.

Необходимо отметить, что метод бестраншейного строительства трубопроводов с использованием микротоннелирования нашёл широкое применение при прокладке различного рода трубопроводных коммуникаций под водными объектами, железнодорожными и автомобильными магистралями, в труднопроходимых условиях подземного строительства (например, в скальных грунтах), подводного и других областях строительства. Этот метод, при решении конкретных задач, имеет ряд преимуществ перед другими методами бестраншейного строительства, таких как прокола, продавливания и горизонтального направленного бурения, за счёт использования широкого диапазона диаметров (от 200 до 4000 мм), возможности бурения при любой категории грунтов и способности проходить путь длиной до 500 м за один проход.



Рис. 2. Расположение очистных сооружений, стартового и приёмного котлованов

Микротоннелирование основано на горизонтальном (наклонном) выбуривании в грунте тоннеля, в который домкратами проталкиваются трубы, образующие прочную железобетонную оболочку определённой длины. Подземная прокладка осуществляется по заданной траектории при помощи микрошита, который движется от стартового колодца до приёмного [5]. В качестве прокладываемых труб могут использоваться бетонные, железобетонные, чугунные, керамические, пластмассовые и другие [6].

Преимущества данного метода: причинение значительно меньшего вреда окружающей среде, в сравнении с прокладкой труб в траншее; полное отсутствие влияния на существующую инфраструктуру, так как строительство ведётся под землёй; увеличенный срок службы трубопровода из-за отсутствия влияния на него климатических условий, а также проходящих морских судов; процесс прокладки трубопровода занимает значительно меньше времени [7]. Также при бестраншейной прокладке трубопровода количество углекислого газа, выделяемо-

го в атмосферу, значительно меньше, чем при прокладке открытым методом, что является наиболее приемлемым решением с экологической точки зрения [8].

В качестве примера запечатлён негативный, с точки зрения загрязнения водотока, результат прокладки относительно короткого трубопровода, опущенного на морское дно и закреплённого балластом (рис. 1). В результате слабого течения в акватории морской бухты возможно скопление различного рода загрязнений.

На сегодняшний день количество проектов по строительству тоннелей с выходом в море постоянно растёт в разных странах мира. Данная технология состо-

ит в выносе трубопроводов под морское дно. Проложенные таким образом трубопроводы служат для забора или выпуска очищенной воды. В рамках таких проектов испытанные и проверенные технологии и методы тоннелестроения используются для эффективной и безопасной проходки под морским дном, обеспечивая при этом оптимальную защиту чувствительных экосистем.

В данной статье рассматривается опыт строительства протяжённого трубопровода для отвода сточных вод и их выпуска в открытое море, реализованной фирмой Herrenknecht AG. Очищенная сточная вода с канализационных очистных сооружений транспортируется в стартовый котлован, который должен располагаться в самом отдалённом от города участке бухты для создания приемлемой для региона в целом экологической обстановки (рис. 2). Отсоединение механизма для бурения после осуществления процесса микротоннелирования, согласно проекту, производится в приёмном котловане, расположенном в 1,5 км от стартового котлована на глубине 25 м.

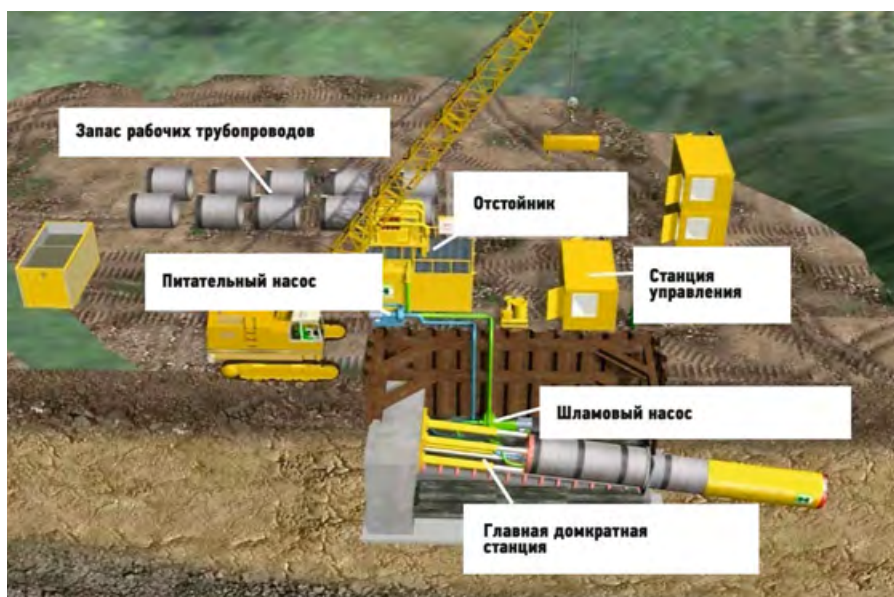


Рис. 3. Рабочая площадка для начала прокладки трубопровода

Рабочая площадка (рис. 3) для проведения процесса прокладки трубопровода состоит из:

- стартового котлована, сконструированного с использованием шпунтовых свай; он составляет приблизительно 8 м в глубину с наклоном 8°;

Проходческий щит и трубопровод непрерывно продвигаются с помощью главной и промежуточных домкратных станций. Подвижная режущая головка тоннелепроходческого щита управляема и позволяет прокладывать изогнутые трубопроводы, избегая столкновений со ска-

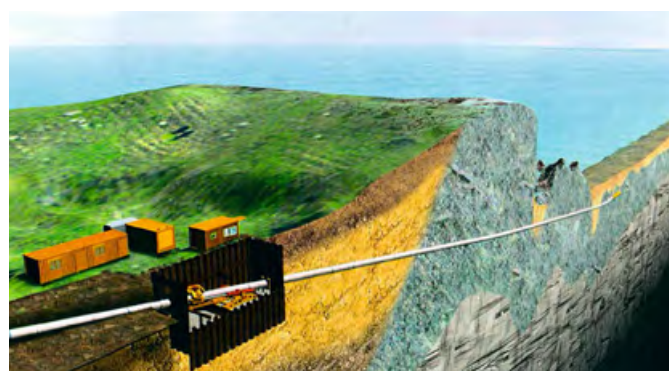


Рис. 4. Прокладка трубопровода в разрезе

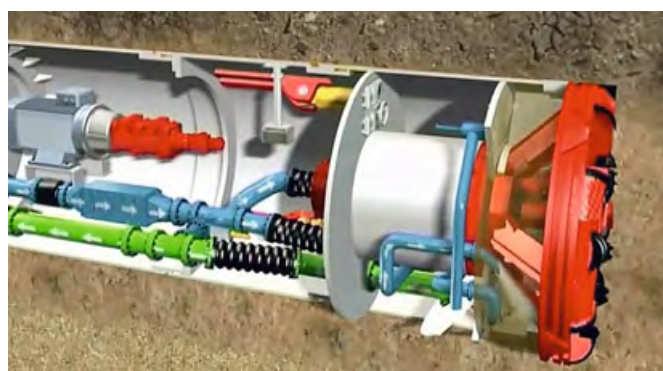


Рис. 5. Образец проходческого щита

- сепарационной установки (отстойника), служащей для отстаивания отведённого грунта и отделения его от воды;
- питательного насоса, подающего отделённую от грунта воду в отстойнике в голову проходческого щита;
- главной домкратной станции, служащей для постепенного проталкивания трубопровода;
- шламового насоса, который перекачивает смешанный грунт с водой из головы тоннелепроходческого щита в сепарационную установку (отстойник);
- запаса рабочих трубопроводов;
- тоннелепроходческого щита;
- рабочего контейнера, из которого контролируется непосредственно процесс прокладки трубопровода тоннелепроходческим щитом.



Рис. 6. Промежуточная домкратная станция

листы грунтами (рис. 4). Данное вращающееся режущее кольцо проходческого щита разрушает материал (в том числе камни) с помощью вращающихся дисков, установленных на режущем колесе. Существуют различные виды режущих колец, которые устанавливаются в зависимости от того, с каким именно грунтом

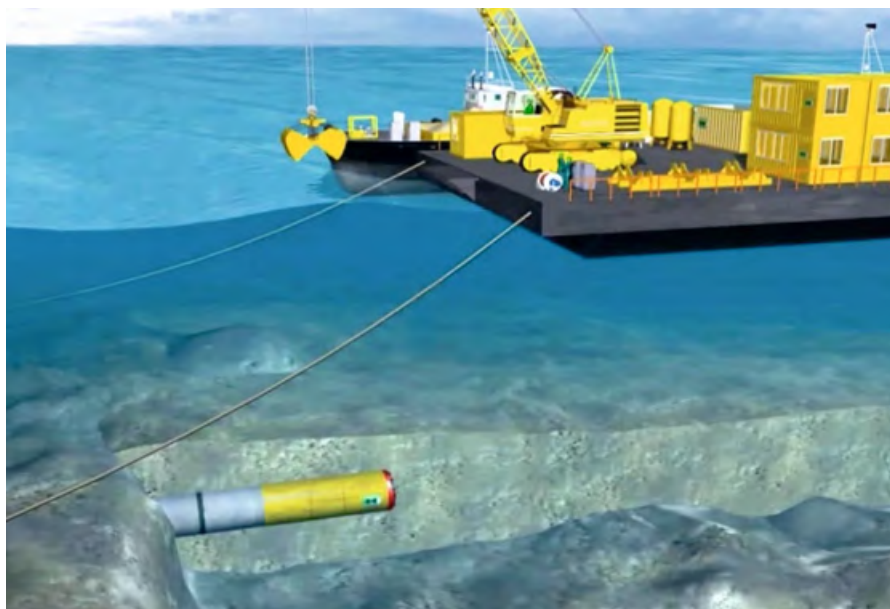
После разрушения грунта режущим кольцом твёрдые остатки относительно большой фракции измельчаются в дробилке за режущим колесом. Разработанный грунт смешивается с водой и транспортируется в разделительную установку

столкнётся микроцит непосредственно в процессе прокладки трубопровода. Состав грунта диктует выбор и расположение режущего инструмента на рабочем органе. Только в случае идеального соответствия инструмента геологическим условиям можно достигнуть высоких показателей проходки тоннеля [9].

После разрушения грунта режущим кольцом твёрдые остатки относительно большой фракции измельчаются в дробилке, которая расположена за режущим колесом. Разработанный грунт смешивается с водой и транспортируется в разделительную установку через линию нагнетания шлама (рис. 5). Эта линия проходит через механизм и трубы до разделительной установки (отстойник), где удалённый грунт отделяется от воды. Выпавший

в осадок грунт вывозится с площадки, а вода перекачивается обратно к проходческому щиту для дальнейшей работы.

Современная бестраншейная прокладка труб позволяет осуществлять сооружение тоннелей длиной более 1000 м и без промежуточных шахт. Промежуточные домкратные станции (рис. 6), входящие



:: Рис. 7. Взаимное месторасположение механизма, баржи и судна

в состав трубопровода, позволяют получить необходимые усилия для продавливания, не превышающие предельно допустимые значения для каждой секции [10].

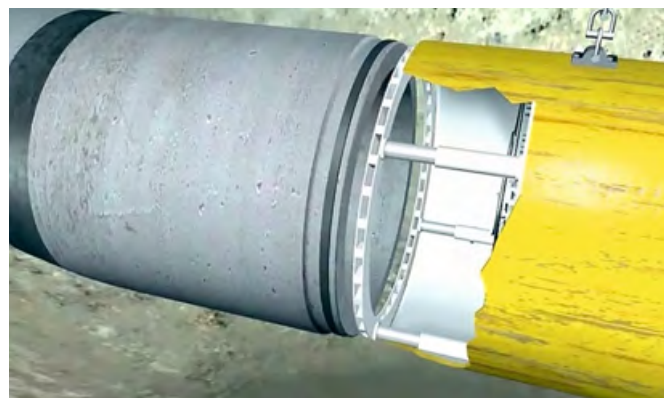
Приёмная шахта находится на 25 м ниже поверхности воды. Над точкой прибытия механизма располагается баржа, которая удерживается в этом положении швартовными линиями и судном (рис. 7).

В точке прибытия микрощита выкапывается приёмный котлован длиной около 20 м. После раскопок котлован засыпается материалом, который может быть легко удалён системой всасывания, как правило, песком, если морское дно имеет иной грунт. Эта обратная засыпка обеспечивает поддержку микрощита, когда он дойдёт до конечной точки [11].

После того как основная часть покрывающего механизм грунта удаляется (с помощью крана), дайвер (водолаз) перекачивает системой всасывания оставшийся грунт с поверхности микрощита в резервуар, находящийся на барже (рис. 8). Далее устанавливается поперечная балка для подъёма установки. Микрошит герметично закрывается и удерживается под из-



:: Рис. 8. Отсос оставшегося грунта дайвером в резервуар на барже



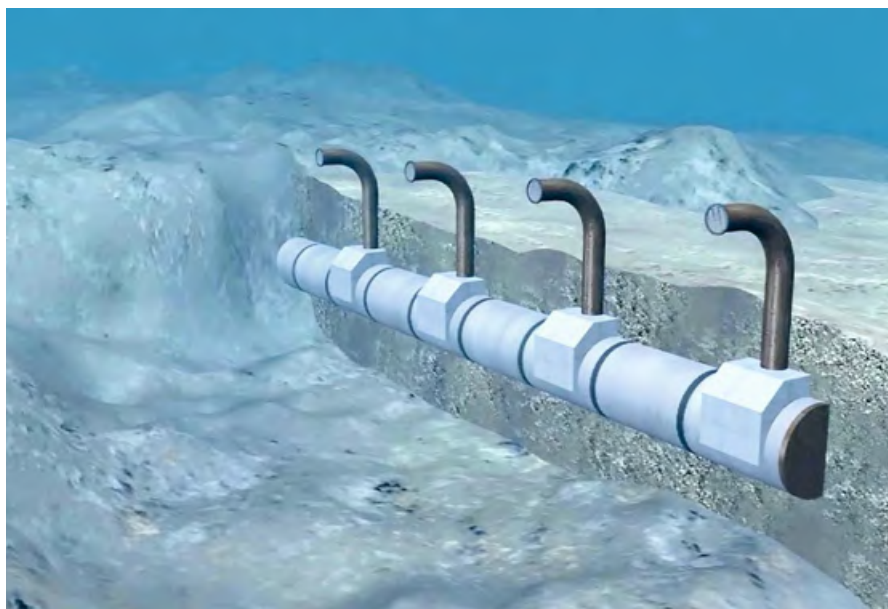
:: Рис. 9. Отсоединение проходческого щита от секции трубы



быточным давлением, тем самым предотвращая попадание морской воды внутрь. В задней части микрощита устанавливаются четыре гидравлических цилиндра (рис. 9). Отделение микрощита от первой секции трубопровода производится с помощью выдвижения гидравлических цилиндров [12]. Микрошит поднимается краном и доставляется на баржу, которая возвращает его в гавань.

Интенсивное перемешивание сбрасываемой в море сточной воды позволяет сохранять концентрации примесей в море на безопасном уровне [13]. Для обеспечения лучшего перемешивания сточной воды в водоёме принято решение использовать рассеивающие выпуски, которые являются наиболее эффективными по сравнению с сосредоточенными выпусками.

В приёмную шахту устанавливается диффузор, который состоит из сборных железобетонных блоков, подключаемых к трубопроводу (рис. 10). После чего шахта закапывается. Диффузор располагается на глубине 25 м, что является достаточным для быстрого смыва загрязняющих веществ течением вблизи морского дна и разбавления концентрации сточных вод до момента достижения их поверхности моря или выпадения на морское дно. Очевидно, что, если сточные воды будут сбрасываться на достаточном расстоянии от берега, используя протяжённые морские отводы с рассеивающим выпуском на конце, опасность серьёзного загрязнения акватории моря значительно снизится из-за лучшей диффузии.



:: Рис. 10. Установленный диффузор из сборных железобетонных блоков



Стоит отметить, что технология строительства глубоководного и протяжённого выпуска сточных вод с использованием микротоннелирования на дальние расстояния впервые была применена в России при строительстве новых очистных сооружений города Адлер перед Олимпиадой в 2014 году. На сегодняшний день данный объект является единственным подобным уникальным сооружением в Российской Федерации [14]. Строительство выполнялось немецкой компанией Herrenknecht AG.

Глубоководный выпуск протяжённо-стью около 4 км расположен в районе устья реки Мзымта и состоит из двух частей: наземная часть — 400 м и морская часть — 3,26 км. Коллектор уходит в море на глубину до 25 м. При строительстве морской части выпуска используются трубы из полиэтилена, стойкие к чрезвычайно агрессивной среде Чёрного моря. Все инженерные решения прошли экологическую экспертизу и на сегодняшний день считаются одними из самых передовых в сфере строительства гидротехнических сооружений [15].

Выводы

1. Проектирование и строительство протяжённых выпусков под морским дном с помощью бестраншейной технологии микротоннелирования позволяет улучшить экологическое состояние городского побережья, прилегающего к морской акватории, способствовать устойчивому рыболовству и сохранению водных ресурсов более чистыми с вытекающими из этого выгодами для общественного здравоохранения.
2. Прокладка трубопровода в подземном пространстве гарантирует его безопасность независимо от климатических воздействий и возможных негативных

Проектирование и строительство протяжённых выпусков под морским дном с помощью бестраншейной технологии микротоннелирования позволяет значительно улучшить экологическое состояние городского побережья, прилегающего к морской акватории

факторов, а также не требует обслуживания в течении длительного времени по сравнению с прокладкой на дне водоёма с применением балластировки. •

1. Храменков С.В. Время управлять водой. — М.: Московские учебники и картолитография, 2012. 280 с.
2. Дмитренко В.П., Сотникова Е.В., Кривошеин Д.А. Экологическая безопасность в техносфере. — СПб.: Лань, 2016. 522 с.
3. Орлов В.А., Хантаев И.С., Орлов Е.В. Бестраншейные технологии. — М.: Изд-во АСВ, 2016. 223 с.
4. Сыгуров Г.В. Способы балластировки полимерных трубопроводов // Полимерные трубы, 2014. №4. С. 52.
5. Kuliczowski A., Kuliczowska E., Zwierchowska A. Technologie bezwykopowej w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. 2010. 735 p.
6. Технология микротоннелирования с проходческим микрощитом AVN [Электр. ресурс]. «ДВН-Строй». Режим доступа: dvn-stroy.ru. Дата обращ.: 11.09.2016.
7. Lutz zur Linde. Installation of shore approaches and sea-lines with trenchless methods: technologies and case studies. International No-Dig 33rd Conference & Exhibition. Istanbul, Turkey. September 28–30, 2015. 2 p.
8. Vladimirov V.M. Comparison of CO₂ emissions from trenchless and open-cut installation methods. Installation of OD 3000 mm (DN 2800) diameter pipes for the Czajka Project (Warsaw, Poland. 2011). International No-Dig 33rd Conference & Exhibition. Istanbul, Turkey. September 28–30, 2015. 8 p.
9. Barcena H.T., Cardona M.M., Emisarios submarinos mediante la hinca de turbo. International No-Dig 32nd Conference & Exhibition. Madrid, Spain. October 13–15, 2014. 3 p.
10. Корзун Н.Л., Балканов А.А. Обоснование применения микротоннелирования для прокладки инженерных сетей на урбанизированных территориях // Известия вузов. Серия: Инвестиции. Строительство. Недвижимость, 2014. №1. С. 50.
11. Ben Hayes. Installation of shore approaches, sea outfalls and intakes with trenchless methods: technologies and case studies. International No-Dig 31st International Conference & Exhibition. Sydney, Australia. September 01–04, 2013. 3 p.
12. Andreas Ulkan. Special applications fields of microtunnelling equipment. International No-Dig 32nd International Conference & Exhibition. Madrid, Spain. October 13–15, 2014. 6 p.
13. СанПиН 2.1.5.2582–10. Санитарно-эпидемиологические требования к охране прибрежных вод морей от загрязнения в местах водопользования населения. — М.: Минюст России, 2010. 6 с.
14. Сфера энергии // Корпоративная газета ООО «Газпром-энерго», 2014. №2. С. 5.
15. Проект глубоководного выпуска очистных сооружений Сочи прошёл экспертизу: Новости отрасли // Полимерные трубы, 2011. №4. С. 26.

References — see page 94.

Trenchless technologies in the service of ecology. Pp. 26–30.

Vladimir A. Orlov, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Water Supply and Sewerage; **Alexey P. Storozhev**, graduate student; **Vladislav A. Gerasimov**, graduate student, National Research University Moscow State University of Civil Engineering (MOSCOW)

1. Hramenkov S.V. *Vremja upravljat' vodoj* [Time to control the water]. Moscow. Izd-vo "Moskovskie uchebniki i kartolitografija" ["Moscow textbooks and map lithography" Publishing House]. 2012. 280 p.
2. Dmitrenko V.P., Sotnikova E.V., Krivoshein D.A. *Jekologicheskaja bezopasnost' v tehnosfere* [Ecological safety in the technosphere]. Saint-Petersburg. Lan' ["Doe" Publishing House]. 2016. 522 p.
3. Orlov V.A., Hantaev I.S., Orlov E.V. *Bestranshejnye tehnologii* [Trenchless technology]. Moscow. Izd-vo ASV [Publishing House of the Association of Construction Universities]. 2016. 223 p.
4. Sygurov G. *Sposoby ballastirovki polimernyh truboprovodov* [Methods of ballasting polymer pipelines]. *Polimernye truby* [Polymer pipes]. 2014. No. 4. P. 52.
5. Kuliczkowski A., Kuliczowska E., Zwierzchowska A. Technologie bezwykopowej w inżynierii środowiska. Wydawnictwo Seidel-Przywecki Sp. 2010. 735 p. [In Polish]
6. *Tehnologija mikrotunnelirovanija s prohodcheskim mikroshhitom AVN* [Microtunnelling technology with AVN tunneling microshields]. "DVN-Stroj", LLC. Web-source: dvn-stroy.ru. Access data: September 11, 2016.
7. Lutz zur Linde. Installation of shore approaches and sealines with trenchless methods: technologies and case studies. International No-Dig 33rd Conference & Exhibition. Istanbul, Turkey. September 28–30, 2015. 2 p.
8. Vladimirov V.M. Comparison of CO2 emissions from trenchless and open-cut installation methods. Installation of OD 3000 mm (DN 2800) diameter pipes for the Czajka Project (Warsaw, Poland). International No-Dig 33rd Conference & Exhibition. Istanbul, Turkey. September 28–30, 2015. 8 p.
9. Barcena H.T., Cardona M.M. Emisarios submarinos mediante la hinca de turbo. International No-Dig 32nd Conference & Exhibition. Madrid, Spain. October 13–15, 2014. 3 p.
10. Korzun N.L., Balkanov A.A. *Obosnovanie primenenija mikrotunnelirovanija dlja prokladki inzhenernyh setej na urbanizirovannyh territorijah* [The rationale for the use of microtunneling for the laying of engineering networks in urban areas]. *Izvestija vuzov. Serija: Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [Proc. of universities. Series: Investments. Building. The property]. 2014. No. 1. P. 50.
11. Ben Hayes. Installation of shore approaches, sea outfalls and intakes with trenchless methods: technologies and case studies. International No-Dig 31st International Conference & Exhibition. Sydney, Australia. September 01–04, 2013. 3 p.
12. Andreas Ulkan. Special applications fields of microtunnelling equipment. International No-Dig 32nd International Conference & Exhibition. Madrid, Spain. October 13–15, 2014. 6 p.
13. *SanPiN* [Sanitary Norms and Regulations of Russia (Russian Public Health Regulations)] 2.1.5.2582–10. *Sanitarno-jepidemiologicheskie trebovanija k ohrane pribrezhnyh vod morej ot zagrjaznenija v mestah vodopol'zovanija naselenija* [Sanitary and epidemiological requirements for the protection of the coastal waters of the seas from pollution in water use areas of the population]. Moscow. Minjust Ros-sii [Ministry of Justice of the Russia Federation]. 2010. 6 p.
14. *Sfera jenerгии* [Sphere of energy]. *Korporativnaja gazeta OOO "Gazprom-jenergo"* [The corporate newspaper of "Gazprom-Energo", LLC]. 2014. No. 2. P. 5.
15. *Proekt glubokovodnogo vypuska ochestnyh sooruzhenij Sochi proshel jekspertizu: Novosti otrasli* [The project for the deep-water release of wastewater treatment facilities in Sochi passed the examination: Industry News]. *Polimernye truby* [Polymer pipes]. 2011. No. 4. P. 26.