УДК 69.002.5

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-6-163-168

© Р. А. Скляр, студент

© R. A. Sklyarov, student

© А. А. Склярова, студентка

© A. A. Sklyarova, student

© Е. В. Куракина, канд. техн. наук, доцент

© E. V. Kurakina, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

(Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет)

(Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering)

E-mail: rusik5925@yandex.ru, an.za4esova@yandex.ru,

E-mail: rusik5925@yandex.ru, an.za4esova@yandex.ru,

elvl_86@mail.ru

elvl_86@mail.ru

КОМПЛЕКСНАЯ МЕХАНИЗАЦИЯ РАБОТ ТЕХНОЛОГИИ БЕСТРАНШЕЙНОЙ ПРОКЛАДКИ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

THE COMPLEX MECHANIZATION OF WORKS TECHNOLOGY OF TRENCHLESS LAYING OF ENGINEERING COMMUNICATIONS

Определены цели комплексной механизации работ технологии бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций. Проведен анализ мирового опыта в рассматриваемой области. Выявлены основные проблемы разработки грунта при прокладке подземных коммуникаций. Рассмотрены технологии проведения бестраншейной разработки грунта. Установлены недостатки существующего открытого способа проведения земляных работ и выявлены преимущества закрытого способа. Выполнен анализ конструктивных и функционально-технологических характеристик транспортно-технологических установок. Выявлены показатели эффективности применения технологии бестраншейной разработки грунта. Разработаны комплекты машин для комплексной механизации работ технологии бестраншейной разработки грунта.

Ключевые слова: комплексная механизация работ, бестраншейная разработка грунта, технология, открытый и закрытый способ, инженерные коммуникации, эффективность, комплект машин, система машин для комплексной механизации работ.

The article defines the goals of the complex mechanization of works using the technology of trenchless laying of engineering communications. The analysis of world experience in the considered area has been carried out. The main problems of soil development in the laying the underground utilities have been identified. The technology of carrying out trenchless soil excavation are considered. There have been pinpointed disadvantages of the existing open method of excavation and the advantages of the closed method are identified. The analysis results of structural and functional - technological characteristics of transport - technological installations are presented. Efficiency indicators of applying the technology of trenchless development of soil are revealed. Sets of machinery for complex mechanization of works with the use of technology of soil trenchless development of have been determined.

Keywords: complex mechanization of works, soil trenchless development, technology, open and closed method, engineering communications, efficiency, set of machinery, system of machines for complex mechanization of works.

Функционирование транспортной инфраструктуры частично зависит от системы инженерных коммуникаций различного назначения. Подземные трубопроводы обеспечивают как крупные производства, так и жилые районы водой, газом, электроэнергией, осуществляют отток бытовых отходов. Отсутствие необходимого оборудования и материалов является причиной проведения ремонта инженерных коммуникаций открытым способом. Применение технологии открытым способом не только увеличивает

себестоимость работ в целом, но и разрушает дорожное полотно и окружающий ландшафт [1, 3, 5–8]. Обеспечить сохранность окружающей среды, возможность бесперебойного движения транспорта и снижение себестоимости работ позволяет применение технологии бестраншейной прокладки подземных инженерных коммуникаций.

При прокладке и ремонте подземных инженерных коммуникаций возникает ряд проблем, связанных с доступностью объекта, если в зоне

работ пролегают автомобильная (АД) и железная дорога (ЖД), находятся реки, озера или каналы, парки, скверы, детские зоны отдыха и площадки, существующие коммуникации или сроки работ сводятся к минимуму.

Анализ существующих технологий выявил два способа решения рассмотренных проблем — открытый (со вскапыванием траншеи) и закрытый (бестраншейный). Открытый способ прокладки коммуникаций заключается в выкапывании траншеи нужной глубины с последующим ее укреплением, укладке трубы, закрытии траншеи и восстановлении ландшафта [2, 5]. Преимуществами открытого метода прокладки коммуникаций можно считать традиционность и повсеместность использования, отсутствие специальной техники (такой как при закрытом методе) (см. рисунок).

К недостаткам открытого способа относятся: разрушение существующей дорожной инфраструктуры 1 и ландшафта, приостановление движения автомобильного и/или железнодорожного транспорта 3; использование большого числа машин в комплекте 4; большая площадь проводимых работ 5; высокий процент использования ручного труда 6; большие сроки проведения работ 7; высокая себестоимость работ 8 (рисунок).

Анализ международного практического опыта прокладки подземных инженерных коммуникаций показал, что технология с разработкой грунта уже запрещена в некоторых городах Европы. Около 95 % всех работ по ремонту и замене трубопроводов в европейских странах проводится с использованием бестраншейных технологий. Данный метод позволяет повысить эффективность проводимых работ на 10–40 %.

К методам технологии бестраншейной прокладки коммуникаций относятся: прокол, продавливание, горизонтально направленное бурение (ГНБ), микротоннелирование и санация [4, 13]. Выбор метода зависит от характеристик грунта, уровня прохождения грунтовых вод, диаметра и материала прокладываемой трубы, окружающего ландшафта (плотная застройка, автомобильная дорога, канал и т. п.)

Прокол лучше применять для прокладки труб малых и средних диаметров (не более 400–500 мм) в глинистых и суглинистых грунтах. Ограничение диаметра прокладываемых труб

связано с тем, что при этом методе массив грунта прокалывают трубой, оснащенной наконечником, без удаления грунта из скважины, вследствие чего для прокола требуются значительные усилия. В связи с этим длина труб при проколе не превышает 60–80 м [1, 6]. Различают два вида проколов: гидропрокол и вибропрокол. Технология гидропрокола заключается в предварительном размыве грунта водой, подающейся из специального наконечника под большим напором, перед трубой. Данную технологию применяют в легко размываемых (песчаных несвязных) грунтах. Максимальная длина скважины при гидропроколе составляет 30 м, диаметр — 500 мм. Основной недостаток — вероятность отклонения от оси прокола и необходимость организации отвода пульпы.

Технология вибропрокола основана на вибрационном воздействии. Осуществление прокола происходит за счет ударно-вибрационных установок, которые вызывают продольно направленные колебания. Вибропрокол применяется на так называемых «плывунах» и песчаных грунтах. Максимальная длина скважины при вибропроколе — 60 м, диаметр — 500 мм. Основной недостаток — возможное разрушение верхнего слоя грунта под воздействием вибраций.

Преимуществами метода прокола можно считать круглогодичную доступность проведения работ, использование на участках с высоким уровнем грунтовых вод, отсутствие необходимости подведения бентонитового раствора, уплотнение грунта по краям, что не требует отвоза грунта с места работ.

Продавливание с извлечением из трубы грунтовой пробки применяется практически в любых грунтах I–IV групп. Способ пригоден для прокладки труб диаметром 800–1720 мм при длине прокладки до 100 м [1, 7, 9]. Основное отличие от метода прокола — направление трубы в грунт открытым концом. Недостатком данного метода можно считать необходимость очистки трубы от грунта или керна вручную или с использованием техники.

Актуальной технологией разработки грунта является бестраншейная прокладка коммуникаций — горизонтально направленное бурение (ГНБ). ГНБ предусматривает опережающую разработку грунта в забое с устройством скважины

Схема комплексной оценки технологий разработки грунта при прокладке инженерных коммуникаций

в грунте большего диаметра (на 30–50 %), чем прокладываемая труба [1, 3]. ГНБ недостаточно эффективно в обводненных и сыпучих грунтах. Прокладка труб методом ГНБ осуществляется в три этапа:

- прокладка пилотной скважины;
- расширение скважины;
- протяжка труб.

Особенностью технологии ГНБ является подвод бентонитового раствора, который используется в качестве охлаждающей жидкости для бурового инструмента. Также раствор смешивается с взрыхленным грунтом, что после облегчает его удаление из ствола. Для прокладки труб методом ГНБ используется буровая установка со специальным наконечником — многофункциональная установка (МУ) ГНБ. Наконечник соединен с гибкой штангой, что позволяет изменять траекторию движения и избегать столкновения бура с естественными препятствиями в грунте. Контролировать и корректировать направление

бура позволяет навигационный аппарат, установленный в наконечник. Для отвода грунтовых вод и излишков бентонитового раствора требуется использование илососа. Для расширения скважины вместо наконечника устанавливается расширитель. Расширение проводится в несколько этапов до достижения необходимого диаметра сечения. Протягивание трубы происходит следующим образом: с помощью специального шарнира к штанге крепится плетть трубопровода, после чего машина ГНБ протягивает трубу в скважину.

Метод ГНБ получил широкое распространение в Европе. Если до сегодняшнего времени при помощи ГНБ прокладывались, в основном, телекоммуникации, то сейчас около 15 % от всей длины укладываемых трубопроводов приходится на технологию ГНБ. Стоит отметить, что эта доля постоянно возрастает. Например, на юге и юго-востоке Германии больше 50 % всех водо- и газопроводов прокладываются методом ГНБ, что

обусловлено снижением затрат материальных и человеческих ресурсов и сроков работы, сохранением окружающего ландшафта и использованием труб различных диаметров и материалов (как металл, так и пластик). Недостатком метода можно назвать более высокую стоимость 1 и сложность работ 2 (см. рисунок) по сравнению с методом прокола.

Метод ГНБ является часто применяемым как за рубежом, так и на территории России. ГНБ позволяет использовать многофункциональную установку, тем самым сокращая количество машин, входящих в комплексную механизацию. Комплект машин, задействованных при прокладке коммуникаций методом ГНБ, представлен в таблице.

Еще одним методом бестраншейной прокладки коммуникаций является микротоннелирование — метод, выполняемый с помощью специального проходческого щита, осуществляющего рыхление грунта [10–12, 14–15]. Щитовой способ применяется для устройства переходов трубопроводов, тоннелей и коллекторов значительных длин и диаметров.

При рассматриваемом методе используется домкратная станция, которая оказывает давление на колонну труб, присоединенных к щиту. Для проведения микротоннелирования требуется создание двух котлованов. В стартовый котлован опускается домкратная установка. Глубина опускания соответствует глубине прокладываемых трубопроводов. При длине скважины свыше 200 м используется промежуточная домкратная станция. Грунт, разрыхляемый проходческим щитом, при помощи поступающих по подводным линиям воды или бентонитового раствора вымывается и скапливается в отстойнике. При попадании щита в конечный котлован работы считаются завершенными. Как и при методе ГНБ, в микротоннелировании используется навигационный комплекс, который представляет собой систему из лазера, мишени и измерительного колеса. Участки, длина которых превышает 200 м, оснащаются электронной лазерной системой, которая снабжена гидростатическим уровнем (ГУ). ГУ дает наиболее точные сведения о глубине укладывания труб вне зависимости от температуры воздуха.

Микротоннелирование позволяет устанавливать как железобетонные, так и стальные трубы. Еще одним преимуществом является прокладка труб на самую максимальную длину по сравнению с перечисленными выше методами. Недостаток — потребность в высокоточной и мощной технике.

Указанные выше методы направлены на непосредственную прокладку трубопроводов. Однако зачастую требуется провести ремонт или замену отдельных элементов трубопровода. В этом случае используется метод санации. Санация подразумевает укладку труб закрытым способом с заменой старых элементов на новые. Выделяют несколько методов санации.

Релейнинг — метод, при котором новый трубопровод укладывается внутрь уже существующего без раскрытия (или с частичным раскрытием), без проведения демонтажа старого трубопровода. При этом старая труба выступает в роли защитного кожуха. Перед началом работы старая труба прочищается от мусора и отложений. В частности, уложить новый трубопровод (меньший по диаметру) можно способом втягивания трубы.

В отличие от релейнинга, реновационный процесс подразумевает не частичное, а полное обновление линий. Также присутствует возможность изменения диаметра устанавливаемой трубы. При проведении реновации разрушаются старые элементы трубопровода, которые в дальнейшем могут быть использованы как уплотнитель новой коммуникации. Важным достоинством метода санации является возможность работы с коммуникациями, выполненными из различных материалов: металла, бетона, керамики.

В отличие от зарубежных стран, Россия медленнее переходит от открытого (традиционного) к закрытому методу прокладки подземных инженерных коммуникаций. Таким образом, бестраншейная прокладка подземных коммуникаций имеет ряд преимуществ: сохранение окружающего ландшафта и экологической безопасности 1; возможность работы в стесненных условиях 2; снижение себестоимости работ за счет сокращения комплекта машин (соответственно, снижение затрат на эксплуатацию парка, горюче-смазочных материалов) и количества рабочих 3; сокращение сроков проведения работ 4; воз-

Комплект машин при выполнении технологии бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций

Вариант комплекта	Условия		Наименование работ				
	Вид покрытия	Период	Разработка грунта/покрытия (рыхление) — зоны работ	Погрузка грунта/покрытия	Транспортирование грунта/покрытия (или временное хранение)	Прокладка инженерных коммуникаций	Засыпка зоны работ/укладка покрытия
1	Грунтовое покрытие	Летний период	Экскаватор	Экскаватор	Самосвал малой грузоподъемности	МУ ГНБ	Самосвал, экскаватор (при необходимости от объема)
		Зимний период	Экскаватор с навесным оборудованием — гидромолот	Экскаватор	Самосвал малой грузоподъемности	МУ ГНБ	
2	Асфальтобетонное покрытие	Летний период	Шовнарезчик для асфальтобетонного покрытия	Экскаватор	Самосвал	МУ ГНБ	Самосвал, экскаватор (при необходимости от объема), асфальтоукладчик
			Экскаватор с гидромолотом				
		Зимний период	Баровая машина	Экскаватор	Самосвал	МУ ГНБ	

возможность круглогодичного проведения работ 5; возможность проводить работы без закрытия автомобильного и железнодорожного движения 6. Существующая на сегодняшний день комплексная механизация работ при работе с инженерными коммуникациями требует усовершенствованного подхода к последовательности их выполнения, оптимального выбора комплекта техники и оборудования, т. е. необходимо разработать алгоритм усовершенствованной технологии бестраншейной разработки грунта с применением современных многофункциональных транспортно-технологических машин.

Библиографический список

1. Белецкий Б. Ф., Булгакова И. Г. Строительные машины и оборудование. 3-е изд., стер. СПб.: Лань, 2012. 608 с.
2. Волков С. А., Евтюков С. А. Строительные машины / под общ. ред. С. А. Волкова. СПб.: ДНК, 2008. 704 с.
3. Евтюков С. С., Чудаков А. В., Куракина Е. В. Наземные транспортно-технологические машины / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ИД «Петрополис», 2016. 504 с.
4. Евтюков С. А., Евтюков С. С., Чудаков А. В., Куракина Е. В. Наземные транспортно-технологические машины и комплексы. СПб.: ИД «Петрополис», 2017. 644 с.
5. Куракина Е. В. Эффективность использования наземных транспортно-технологических машин // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 203–208.
6. Куракина Е. В., Евтюков С. С. Транспортно-технологические машины в строительстве. СПб.: СПбГАСУ, 2017. 176 с.
7. Шестопалов К. К. Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. М.: Академия, 2005. 320 с.
8. Куракина Е. В. Техническая эксплуатация наземных транспортно-технологических машин // Доклады 69-й науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства». СПб., 2016.
9. Белецкий Б. Ф. Технология и механизация строительного производства. СПб.: Лань, 2011. 752 с.
10. Евтюков С. А., Евтюков С. С., Чудаков А. В., Куракина Е. В. Наземные транспортно-технологические машины и комплексы / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ИД «Петрополис», 2016. 504 с.

11. Репин С. В. Методология совершенствования эксплуатации строительных машин. СПб.: СПбГАСУ, 2005. 164 с.

12. Шестопалов К. К. Строительные и дорожные машины. М.: Академия, 2008. 384 с.

13. Куракина Е. В., Евтюков С. С. Инженерно-техническая экспертиза наземных транспортных средств. СПб.: СПбГАСУ, 2016. 82 с.

14. Репин С. В., Евтюков С. С., Зазыкин А. В. Надежность и эффективность транспортно-технологических машин. СПб.: ИД «Петрополис», 2015. 84 с.

15. Пермяков В. Б., Иванов В. И., Мельник С. В. Транспортно-технологические машины и комплексы (производственная и техническая эксплуатация). Омск: СибАДИ, 2007. 440 с.

References

1. Beletskiy B. F., Bulgakova I. G. *Stroitel'nye mashiny i oborudovanie* [Construction machinery and equipment]. 3-rd ed., revised. St. Petersburg, Lan' Publ., 2012, 608 p.

2. Volkov S. A., Evtyukov S. A. *Stroitel'nye mashiny* [Construction machines]. Ed. by Volkov S. A. St. Petersburg, DNK Publ., 2008, 704 p.

3. Evtyukov S. S., Chudakov A. V., Kurakina E. V. *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie mashiny* [Land transport-technological machines]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2016, 504 p.

4. Evtyukov S. A., Evtyukov S. S., Chudakov A. V., Kurakina E. V. *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie mashiny i komplekсы* [Land transport-technological machines and complexes]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2017, 644 p.

5. Kurakina E. V. *Ehffektivnost' ispol'zovaniya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Efficiency of using land transport and technological machines]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 3 (56), pp. 203–208.

6. Kurakina E. V., Evtyukov S. S. *Transportno-tekhnologicheskie mashiny v stroitel'stve* [Transport-technological machines in construction]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2017, 176 p.

7. Shestopalov K. K. *Pod'emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie* [Lifting

and transport, construction and road machinery and equipment]. Moscow, Akademiya Publ., 2005, 320 p.

8. Kurakina E. V. *Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Technical operation of land transport and technological machines]. *Trudy 69-y nauch.-prakt.konf. studentov, aspirantov i molodykh uchenykh «Aktual'nye problemy sovremennogo stroitel'stva»* [Proc. of the 69-th sci.- pract. conf. of students, postgraduates and young scientists "Actual problems of modern construction"]. St. Petersburg, 2016.

9. Beletskiy B. F. *Tekhnologiya i mekhanizatsiya stroitel'nogo proizvodstva* [Technology and mechanization of construction production]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2011, 752 p.

10. Evtyukov S. A., Evtyukov S. S., Chudakov A. V., Kurakina E. V. *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie mashiny i komplekсы* [Land transport-technological machines and complexes]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2016, 504 p.

11. Repin S. V. *Metodologiya sovershenstvovaniya ehkspluatatsii stroitel'nykh mashin* [Methodology of improving the operation of construction machines]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2005, 164 p.

12. Shestopalov K. K. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road building machinery]. Moscow, Akademiya Publ., 2008, 384 p.

13. Kurakina E. V., Evtyukov S. S. *Inzhenerno-tekhnicheskaya ehkspertiza nazemnykh transportnykh sredstv* [Engineering-technical examination of land transport machinery]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2016, 82 p.

14. Repin S. V., Evtyukov S. S., Zazykin A. V. *Nadezhnost' i ehffektivnost' transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Reliability and efficiency of transport and technological machines]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2015, 84 p.

15. Permyakov V. B., Ivanov V. I., Mel'nik S. V. *Transportno-tekhnologicheskie mashiny i komplekсы (proizvodstvennaya i tekhnicheskaya ehkspluatatsiya)* [Transport and technological machines and complexes (production and technical operation)]. Omsk, SibADI Publ., 2007, 440 p.