

УДК 69.055

Т. Ф. Чердниченко, О. Г. Чеснокова, Д. Р. Сулейманов, М. Д. Журбенко

Волгоградский государственный технический университет

**СПОСОБЫ УСТРОЙСТВА ПОДЗЕМНЫХ СИСТЕМ ЗДАНИЙ
В УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ:
ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Развитие промышленного и гражданского строительства в России, в соответствии с мировой практикой развития строительной отрасли, неразрывно связано с освоением подземного пространства крупных городов и мегаполисов. Решением проблемы нехватки свободных территорий в стесненных условиях городской застройки послужит повышение эффективности методов подземного строительства, которое основывается на общих принципах строительного производства. Анализ технологических приемов и методов проведения подземного строительства при выборе варианта размещения объекта, с учетом основных сдерживающих факторов возведения сооружения, позволит выявить проблемы организации строительства, определить направления повышения эффективности строительных процессов.

Ключевые слова: подземное строительство, стесненные условия строительства, подземные сооружения, факторы развития подземного строительства.

В соответствии с градостроительной политикой государства, исторически сложившийся архитектурный облик российских городов предусматривает расширение административных центров, создание мегаполисов, строительство новых современных зданий и сооружений, которые будут образовывать архитектурный контраст с существующей городской средой. Решением проблемы в этих стесненных условиях строительства станет активное использование современных способов строительства, совершенствование и повышение эффективности методов подземного строительства. Актуальным направлением является развитие промышленного и гражданского строительства в условиях плотной городской застройки крупных городов с сокращением сроков реализации строительных работ при возведении подземных сооружений, что соответствует мировой строительной практике [1, 2].

Актуальность проводимого исследования очевидна. Распространение подземного строительства зданий и сооружений обусловлено ростом численности населения больших городов, а также высокими темпами социального и научно-технического прогресса, что, в свою очередь, ставит вопрос об эффективном освоении подземного пространства крупнейших городов и мегаполисов, их планомерном развитии при размещении в подземном пространстве строительных объектов самого различного назначения.

В условиях сформировавшейся городской застройки остро стоит вопрос нехватки свободных городских территорий, что обусловлено требованиями по развитию городской инфраструктуры. Поэтому подземное пространство активно используется для строительства объектов различного назначения (многоэтажные подземные гаражи, общественно-бытовые комплексы и т. п.).

При этом вопросы экономии и повышения эффективности ресурсо- и энергосбережения в области ведения подземных работ и дальнейшей эксплуатации подземных сооружений остаются приоритетными [3—5].

Целью проводимого исследования является анализ существующих технологических и конструктивных решений строительства подземных сооружений в стесненных условиях исторически сложившейся городской застройки российских городов, а также выявление способов повышения эффективности устройства подземных сооружений.

Строительство в условиях плотной городской застройки становится практически невозможным без влияния строительных работ на расположенные вблизи объекты. Эскавация котлованов различной глубины и дальнейшее устройство несущих конструкций подземных частей зданий и конструктивных сооружений, расположенных вблизи здания, могут претерпевать неравномерные осадки, что, в свою очередь, может создавать аварийные ситуации. Поэтому на стадии планирования строительства и проектирования подземных объектов существует необходимость разработки и своевременного исполнения целого комплекса мероприятий по сведению к минимуму вероятности аварийных ситуаций. В связи с этим так актуален сейчас анализ зарубежных и отечественных технологий проведения подземного строительства [3—5].

На принятие решения по конструкции подземных и заглубленных сооружений оказывают влияние объемно-планировочные решения строительного объекта, глубина заложения, сейсмические и климатические условия строительства, инженерно-геологические условия места расположения строительства и, конечно, наличие расположенных вблизи строительной площадки зданий и сооружений городской застройки.

Масштабы реализации объектов подземного строительства в России и за рубежом постоянно растут. При этом растет этажность подземных объектов и глубина их заложения, растут габариты подземных сооружений. Все вышесказанное является актуальным направлением развития подземного строительства. Технические возможности проведения строительных работ подкрепляют это направление. Сдерживающими факторами развития подземного строительства являются оценка экономической целесообразности возведения подземных объектов, влияние строительства на окружающую среду, комфортность пребывания внутри подземных объектов и многое другое [3, 5].

Подземное строительство в своей современной организации основывается на общих принципах строительного производства. Прежде всего это плановость организации строительного производства, поточная организация строительных процессов. Использование в организации строительства подземных сооружений современных достижений научно-технического прогресса и современных систем инвестирования позволяет организовать производство строительно-монтажных работ круглогодично специальными строительно-монтажными организациями с комплексной механизацией и автоматизацией производства.

Технологии подземного строительства в современных условиях принято подразделять на следующие группы: «открытый» способ; «закрытый» способ; «полузакрытый» способ; «специальные» способы производства строительных работ.

Основными классификационными признаками подземных и заглубленных сооружений являются: назначение объекта строительства; расположение относительно поверхности грунта (конструктивное решение грунта); способы строительства; материалы.

По области применения и техническому назначению подземные объекты подразделяют на промышленные, гражданские, транспортные, сельскохозяйственные, гидротехнические, водопроводно-канализационные сооружения и другие объекты строительства.

По расположению подземного объекта строительства относительно поверхности грунта их классифицируют как подземные, заглубленные, полузаглубленные, частично заглубленные сооружения.

Форма сооружения в плане также является классифицирующим фактором. Используют подземные сооружения прямоугольной и круглой формы, многоугольные, овальные и прямоугольные с закругленными торцевыми стенками, линейные сооружения¹ [6—8].

Конструктивные решения в современной практике строительства подземных и заглубленных объектов строительства различаются в зависимости от применяемых строительных материалов, способов возведения, объемно-планировочных решений, инженерно-гидротехнических условий строительства, конструктивных и расчетных схем, а также от условий работы сооружения, как в период строительства, так и в процессе его дальнейшей эксплуатации.

Современные конструктивные решения и способы строительства подземных объектов представлены на рис. 1. Применяемые на сегодняшний день способы возведения ограждающих конструкций при строительстве подземных сооружений, главное — их заглубленной части, имеют широкий спектр. В условиях плотной городской застройки строительство заглубленной части зданий и сооружений подземных объектов строительства требует отрывки котлованов с вертикальными стенами, которые нуждаются в необходимости их крепления, что составляет по стоимости около 50 % цены самого строительства подземного объекта. Классификация крепления стенок котлована представлена на рис. 2 [5—8].

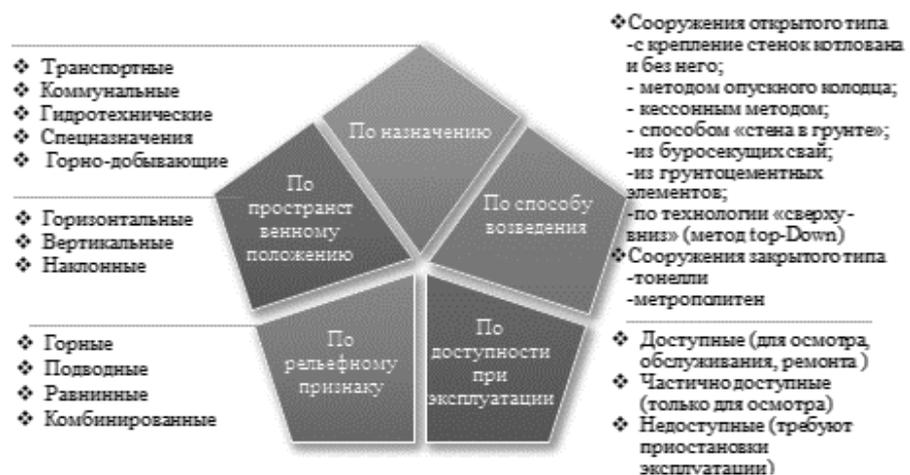


Рис. 1. Конструктивные решения и способы строительства подземных сооружений

¹ Классификация бестраншейных методов прокладки, их особенности и область применения. URL: rospipe.ru/clauses/stroitelstvo-remont-truboprovodov/klassifikatsiya-bestransheynykh-metodovprokladki.

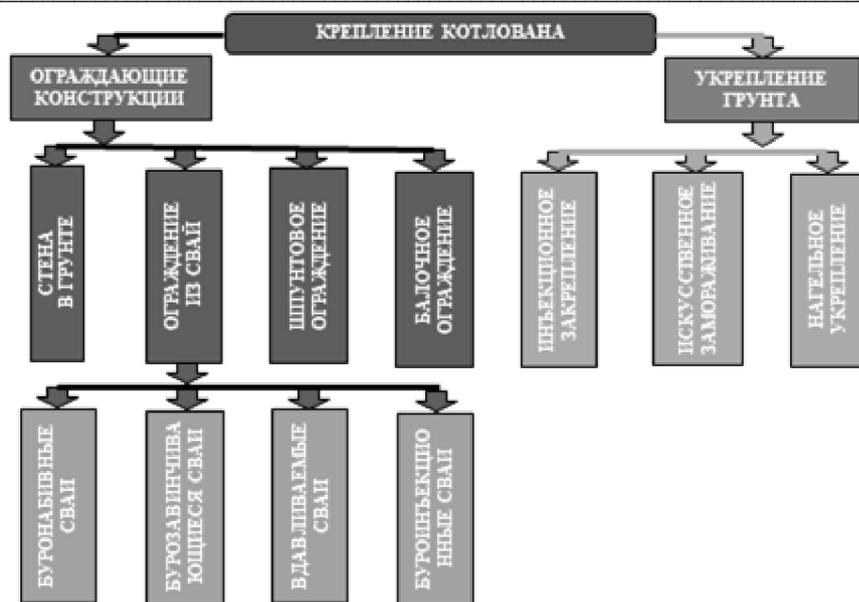


Рис. 2. Крепления стенок котлованов, классификация

Ограждающие конструкции и днище являются основными конструктивными элементами строительных объектов в подземных и заглубленных сооружениях. Это оказывает определенное влияние на принимаемые решения относительно выбора технологии строительства подземных сооружений. Подход здесь должен быть комплексным и планомерным.

Комплексный подход включает в себя определенный перечень работ: проведение инженерных мероприятий по защите котлована и самого подземного сооружения от подземных вод; использование современных технологических решений при креплении котлована, разработке в нем грунта и устройстве самой конструкции подземного сооружения² [8, 9].

Следует отметить, что строительство подземных объектов сталкивается с проблемой тесной городской застройки (стесненные условия строительства), которая ограничивает площадь под участок строительства. И это в достаточной степени мешает полноценному развертыванию строительной площадки. Устойчивость вертикальных стенок котлована становится основной задачей строительных работ (рис. 3). Использование того или иного типа крепления ограждающих конструкций котлована (рис. 4) должно быть оценено с точки зрения удобства и темпа производства работ. Конструктивные решения крепления ограждающих конструкций котлована достаточно хорошо разработаны и практически типизированы³ [10, 11].

² Классификация бестраншейных методов прокладки, их особенности и область применения. URL: rospipe.ru/clauses/stroitelstvo-remont-truboprovodov/klassifikatsiya-bestransheynykh-metodovprokladki.

Бестраншейная прокладка коммуникаций с применением микрощитов. URL: <https://www.sibdom.ru/journal/122>.

³ Использование технологии «стена в грунте» при возведении подземных сооружений. URL: dolomitpk.ru/useful/stena_v_grunte.

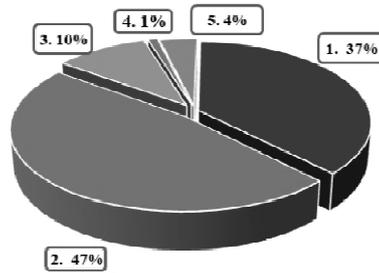


Рис. 3. Ограждения котлована: 1 — стена в грунте; 2 — ограждение из труб; 3 — буронабивные сваи; 4 — шпунт Ларсена; 5 — ограждение из двутавров

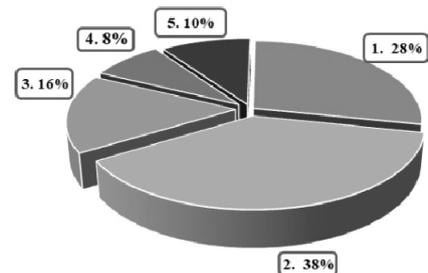


Рис. 4. Крепления ограждающих конструкций котлована: 1 — подкосы; 2 — распорки; 3 — грунтовые анкеры; 4 — технология «сверху вниз»; 5 — консольное крепление

Но, тем не менее, технология устройства ограждения котлованов и их конструкция при строительстве подземных объектов должны удовлетворять основным требованиям технологии строительного производства [5—8]. В процессе разработки грунта и после его полной разработки должна быть обеспечена устойчивость стен котлована. Когда ограждение стен котлована входит в состав конструкции подземного сооружения, оно должно воспринимать нагрузку от сооружения. Важным требованием для его выполнения является обеспечение водонепроницаемости (если нецелесообразно водопонижение). При возведении временного ограждения стен котлована элементы крепи должны иметь многократность оборачиваемости. Оно (крепление) не должно загромождать котлован, мешать монтажу основных конструкций, выемке и засыпке грунта. Не последним требованием является сокращение трудоемкости строительства, сокращение его сроков при обеспечении материалосбережения. В стесненных условиях строительства подземного объекта сохранность уже существующих как наземных, так и подземных строений должна быть обеспечена наряду с соблюдением требований по допустимым нормам шума, вибрации, защите окружающей среды. Наиболее часто используемые методы ограждения котлованов представлены на рис. 5.

Несмотря на широкие возможности современных строительных технологий и оборудования для ведения подземного строительства, широкий спектр технических решений по устройству ограждений котлованов и вариантов их крепления, выбор конструктивной схемы подземного сооружения, технологической последовательности выполняемых работ должен быть продуман и технологически увязан. Это представляет собой достаточно трудную задачу в стесненных условиях [12—21].

Важным моментом организации строительства подземных сооружений в сложных условиях является технико-экономическое обоснование и сравнение вариантов предполагаемого строительства. И в этой связи следует учитывать основные проблемы освоения подземного пространства городов: обеспечение сохранности существующей городской застройки, расположенной вблизи строительной площадки, а также выполнение требований по охране окружающей среды и сохранности сложившихся экосистем, минимизация вмешательства в геологическую среду.

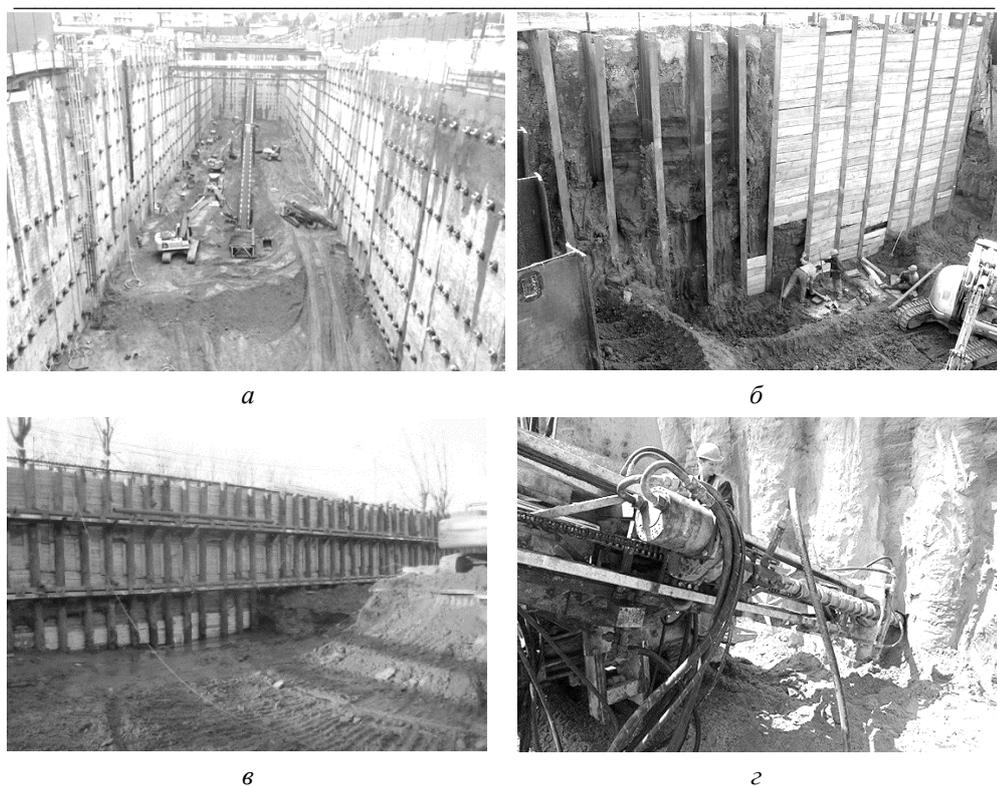


Рис. 5. Методы ограждения котлована: *а* — «стена в грунте»; *б* — шпунтованное ограждение; *в* — металлические элементы с заборкой; *г* — струйная цементация

Существуют и технические проблемы возведения подземных сооружений, которые связаны с созданием и последующей эксплуатацией внутреннего пространства. Ограждающие конструкции и днище (испытывает гидростатическое давление воды) сооружения должны обеспечивать водонепроницаемость конструкции вследствие высокого уровня подземных вод во избежание всплытия сооружения [16, 17].

Эффект одностороннего горизонтального давления грунта может быть вызван наличием внутренних пустот, что требует максимальной прочности ограждений (стенок) подземных сооружений [19, 20].

Следует также перечислить и основные недостатки, присущие подземным сооружениям, которые могут оказывать сдерживающее влияние на широкое распространение подземного строительства наряду со сложностью и значительной стоимостью его устройства. Выполнение дополнительных и значительных земляных работ является фактором удорожания подземного строительства. Несущие ограждающие конструкции имеют сложную конструкцию наряду с необходимостью усиления гидроизоляции. Проведение работ по мере углубления котлована и производства технологических работ требует использования вертикального транспорта и лифтового хозяйства, что увеличивает стоимость строительства. Существующие коммуникационные системы в условиях городской застройки при подземном строительстве требуют переноса, как и устройство специальных вентиляционных систем.

И далеко не последним сдерживающим фактором подземного строительства является установка или наличие насосных станций для перекачки сточных вод [18, 22, 23].

Таким образом, только детальное рассмотрение технологии проведения подземного строительства при выборе варианта размещения объекта, с учетом основных сдерживающих факторов возведения сооружения, позволит определить направления повышения эффективности строительных процессов, что, в свою очередь, обуславливает рост ресурсосбережения и энергоэффективность подземного строительства в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтатов С. Н. Преимущества подземного строительства с точки зрения энергоэффективности // Федер. строит. рынок. 2011. № 97. URL: fsr-stroy.ru/archive/10883.
2. Чередниченко Т. Ф., Тухарели В. Д., Снегирев Д. П. Направленность современного строительства — застройка городов в стесненных условиях // Инженер. вестн. Дона. 2018. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4743.
3. Побегайлов О. А. Инновационно-ориентированный подход к использованию городской земли // Инженер. вестн. Дона. 2013. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1721.
4. Корчак А. В. Проблемы, направления и пути решения задач освоения подземного пространства мегаполисов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 5. С. 89—97.
5. Пономарев А. Б., Винников Ю. Л. Подземное строительство : учеб. пособие. Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. 262 с.
6. Мангушев Р. А., Карлов В. Д., Сахаров И. И., Осокин А. И. Основания и фундаменты. М. : Изд-во АСВ, 2013. 392 с.
7. Гончаров А. А. Выбор метода возведения подземной части здания // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 5. С. 57—61.
8. Знаменский В. В., Чунюк Д. Ю., Морозов Е. Б. Устройство ограждающих систем котлованов в стесненных городских условиях // Жилищное строительство. 2012. № 9. С. 60—63.
9. Орлов В. А., Зоткин С. П., Нечитайева В. А. Сравнение методов бестраншейного строительства инженерных сетей // СОК. 2019. № 9. С. 28—31.
10. Selvakumar A., Matthews J. C., Condit W., Sterling R. Innovative research program on the renewal of aging water infrastructure systems // Journal of Water Supply Research and Technology-Aqua. 2014. Vol. 64. Iss. 2. Pp. 117—129. DOI: 10.2166/aqua.2014.103.
11. Тухарели А. В., Чередниченко Т. Ф., Снегирев Д. П. Прогрессивные строительные технологии в стесненных условиях городских территорий // Инженер. вестн. Дона. 2018. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4747.
12. Калошина С. В. Основные предпосылки и сдерживающие факторы в освоении подземного пространства города Перми // Вестн. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. Стр-во и архитектура. 2016. Т. 7. № 3. С. 78—90.
13. Чередниченко Т. Ф., Чеснокова О. Г., Тухарели В. Д. Освоение подземного пространства при проектировании и строительстве уникальных зданий и сооружений. Волгоград : ВолГАСУ, 2015. 99 с.
14. Li H., Li X., Soh C. K. An integrated strategy for sustainable development of the urban underground: From strategic, economic and societal aspects // Tunnelling and Underground Space Technology. 2016. Vol. 55. Pp. 67—82.
15. Chen J., Huang L., Su L. Toward a more compact and sustainable city — the use of underground space for Chinese mainland cities // Green Building, Environment, Energy and Civil Engineering. 2017. Pp. 341—344.
16. Бурханова Р. А., Евстафьева Н. Ю., Акчуринов Т. К., Стефаненко И. В. Современные технологии и системы защиты поверхностей от проникновения воды // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2022. № 2(87). С. 72—81.
17. Тараканов О. В., Акчуринов Т. К., Утюгова Е. С. Эффективность применения комплексных органоминеральных добавок для бетонов // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 1(78). С. 174—181.

18. Манохин П. Е., Морозов Р. В., Павинев И. А. Анализ факторов, определяющих эффективность подземного строительства // Молодой ученый. 2016. № 22. С. 44—46. URL: <https://moluch.ru/archive/126/34972>.

19. Богомолова О. А., Поздняков А. П. Определение предельной высоты изолированного вертикального откоса и вертикальных бортов траншей // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2021. № 1(82). С. 14—24. EDN EMOJF.

20. Голиков А. В., Маликова В. В., Якимив П. В. Оценка влияния неравномерных осадок фундаментов на каркас стальных этажерок // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2022. № 1(86). С. 5—17. EDN TSHSDE.

21. Чеснокова О. Г. Применение новых строительных технологий при реконструкции старого жилого фонда // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2004. № 4. С. 95—97. EDN KZWAUH.

22. Чебанова С. А., Растяпина О. А., Гончар Т. С., Карпов А. А. Повышение эффективности строительных работ в стесненных городских условиях // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2022. № 3(88). С. 186—191. EDN VFIXAS.

23. Сидоренко В. Ф., Кузнецов Г. С. Разработка метода оценки влияния точечной застройки на изменение градоэкологической ситуации // Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер. : Стр-во и архитектура. 2020. № 2(79). С. 224—232. EDN UVDXJN.

© Чередниченко Т. Ф., Чеснокова О. Г., Сулейманов Д. Р., Журбенко М. Д., 2023

Поступила в редакцию
в октябре 2022 г.

Ссылка для цитирования:

Чередниченко Т. Ф., Чеснокова О. Г., Сулейманов Д. Р., Журбенко М. Д. Способы устройства подземных систем зданий в условиях существующей городской застройки: проблемы организации строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 154—162.

Об авторах:

Чередниченко Татьяна Федотовна — канд. техн. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; tati_cher@mail.ru

Чеснокова Оксана Геннадьевна — доц. каф. архитектуры зданий и сооружений, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; oxhkhana72@yandex.ru

Сулейманов Дени Русланович — студент, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; deni8981236_95@mail.ru

Журбенко Марина Дмитриевна — студентка, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; Marina970504@yandex.ru

**Tatyana F. Cherednichenko, Oksana G. Chesnokova, Deni R. Sulejmanov,
Marina D. Zhurbenko**

Volgograd State Technical University

METHODS OF ARRANGING UNDERGROUND SYSTEMS OF BUILDINGS IN THE CONTEXT OF EXISTING URBAN DEVELOPMENT: PROBLEMS OF CONSTRUCTION ORGANIZATION

The development of industrial and civil construction in Russia in accordance with the world practice of developing the construction industry is inextricably linked with the development of underground space of large cities and megacities. In constrained conditions of urban development, solving the problem of lack of free territories will be an increase in the efficiency of underground construction

methods, which is based on the general principles of construction production. An analysis of technological techniques and methods of underground construction when choosing an option to place an object, taking into account the main deterrent factors in the construction of the structure, will identify the problems of the organization of construction, determine the directions of increasing the efficiency of construction processes.

Key words: underground construction, constrained construction conditions, underground structures, factors in the development of underground construction.

For citation:

Cherednichenko T. F., Chesnokova O. G., Sulejmanov D. R., Zhurbenko M. D. [Methods of arranging underground systems of buildings in the context of existing urban development: problems of construction organization]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2023, iss. 1, pp. 154—162.

About authors:

Tatyana F. Cherednichenko — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; tati_cher@mail.ru

Oksana G. Chesnokova — Docent of Architecture of Buildings and Constructions Department, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; oxxxana72@yandex.ru

Deni R. Sulejmanov — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; deni8981236_95@mail.ru

Marina D. Zhurbenko — Student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Marina970504@yandex.ru