

DOI: 10.12737/article_5b6d584fbf99c6.28324157

¹Рыбникова И.А., ст. препод.,²Рыбников А.М., канд. техн. наук, доц., ст. научн. сотр.¹Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова
(Новороссийский филиал)²Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова (г. Новороссийск)

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТРАНШЕЙНОЙ «СТЕНЫ В ГРУНТЕ» С РАМНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Траншейная «стена в грунте» – это подземная стена разной конфигурации, сооружаемая в траншее под тиксотропным раствором с последующим заполнением траншеи монолитным железобетоном или сборными элементами (стеновыми панелями) в качестве заглубленных сооружений разного назначения. Разработан новый способ прямоугольной в плане «стены в грунте» с поперечными несущими стальными рамами и прикрепленными к ним горизонтальными рядами наружных стеновых панелей. Конструкция внедрена при возведении подземной части размером в плане 30×12 м глубиной 15,5 м перегрузочного узла № 8 базисного склада бокситов Павлодарского алюминиево-глинозёмного завода. Показаны конструкции и технология возведения такого сооружения в траншеях шириной 0,6 м. Применение траншейной «стены в грунте» с рамными элементами позволило уменьшить стоимость подземной части перегрузочного узла № 8 на 40 % и сократить срок строительства.

Ключевые слова: грунт, траншея, заглубленное сооружение, стена в грунте, глинистая суспензия, стальная рама, стеновые панели, экономический эффект.

Введение. Нормативный документ [1] даёт определение «стены в грунте» как «...общее название подземным конструкциям (монолитным, сборным, сборно-монолитным или свайным), предназначенным для защиты стен (откосов) котлованов глубокого заложения от обрушения в процессе их разработки, создания противофильтрационных завес и в случае совмещения функции фундамента, восприятия нагрузок от сооружения».

Известны конструкции «стены в грунте», возводимые различными способами – шпунтовые, из буронабивных свай, РИТ-свай (разрядно-импульсная технология), jet-grouting (струйная цементация) и др. Из прокатных стальных шпунтин, плотно примыкающих друг к другу посредством водонепроницаемых замков, создают вертикальные ограждающие стенки котлованов [2]. В этом случае появляется возможность работать в котлованах, расположенных в водонасыщенных и обводнённых грунтах, вода из которых если просачивается внутрь котлована снизу, то откачивается из него. После возведения подземной части сооружения в котловане шпунт извлекается для повторного применения.

При возведении «стены в грунте» из буронабивных цилиндрических свай скважины в грунте разрабатываются, бетонируются с последовательным соприкосновением, пересечением (сочленением) по длине одна с другой или через одну с последующей заделкой междусвайного пространства [1, 2, 3]. Их обычно возводят круг-

лыми в плане, чтобы элементы кольцевого сечения «стен» работали без возникновения в них растягивающих напряжений.

Разрядно-импульсная технология РИТ-свай заключается в том, что буровую скважину, заполненную мелкозернистым бетоном или цементным раствором, обрабатывают серией высоковольтных электрических разрядов. При этом возникает электрогидравлический эффект, в результате которого первоначальный диаметр скважины (до 300 мм) может быть увеличен более чем в два раза, а песчаные грунты вокруг ствола частично цементируются. Технология изготовления РИТ-свай позволяет при сочленении свай по длине получить ограждающую конструкцию типа «стена в грунте», способную нести достаточно большую вертикальную нагрузку. Однако нести большие горизонтальные нагрузки такая «стена» не способна, поэтому она может применяться в основном как противофильтрационная завеса.

Сущность технологии струйной цементации грунтов jet-grouting – в использовании энергии высоконапорной струи цементного раствора для разрушения и одновременного перемешивания грунта с цементным раствором в режиме «mix-in-place» (перемешивания на месте). После твердения раствора образуется новый материал – грунтобетон, обладающий достаточно высокими прочностными и деформационными характеристиками. По сравнению с традиционной технологией инъекционного закрепления грунтов струйная цементация позволяет укреплять практиче-

ски весь диапазон грунтов – от гравийных отложений до мелкодисперсных глин и илов. Через лидерное отверстие диаметром 112 мм нагнетаемым цементным раствором при давлении 400...500 атм. получают сваи диаметром 500...1500 мм, которые могут соприкасаться между собой и создавать стенку. Практическое применение такая технология нашла в числе других при ограждении котлованов в обводнённых грунтах и устройстве противодиффузионных завес.

Известны конструкции полностью сборной [4], а также сборно-монолитной «стены в грунте» в виде двухслойной панели, одна часть которой – сборная железобетонная панель, а вторая – монолитная неармированная, бетонируемая непосредственно в траншее под защитой глинистой суспензии непосредственно на строительной площадке [5].

Приведенные типы конструкций «стены в грунте» относятся к сооружениям, предназначенным для устройства подземных конструкций незначительной глубины при небольших вертикальных и горизонтальных нагрузках. Для восприятия значительных нагрузок применяется глубокая монолитная и массивная траншейная «стена в грунте», как правило, прямоугольная в плане. Нормативный документ [2] конкретизирует термин траншейной «стены в грунте» как «...подземной стены, сооружаемой в траншее под тиксотропным глинистым (или иным) раствором, с последующим заполнением траншеи монолитным железобетоном или сборными элементами» и уточняет, что несущая «стена в грунте» – это «... стена в грунте, предназначенная в качестве несущего элемента постоянной конструкции». Однако ни в приведенных документах, ни в аналогичных других рассмотренных технических и научных работах отсутствует понятие «стены в грунте» рамной конструкции.

Методология. При разработке траншей для возведения «стены в грунте» используются специализированные механизмы: напорные грейферы или грунтовые фрезы. Ширина и глубина траншей ограничиваются техническими возможностями применяемых механизмов [1, 2]. Ширина траншей может быть в пределах от 0,4 до 2 м, глубина – от 4 до 50 м. Устройство траншей глубиной меньше 4 м для возведения «стены в грунте» в большинстве случаев экономически нецелесообразно [2].

Способ возведения траншейной «стены в грунте» применяют при возведении сооружений в непосредственной близости от существующих зданий. При таком способе, благодаря малым поперечным размерам грунтовой выработки, влияние на здания от её разработки минимальное.

Траншейная «стена в грунте», как правило, устраивается отдельными захватками. Захватки могут быть разработаны за один или несколько проходов рабочего органа землеройного механизма.

Классический способ применения траншейной монолитной «стены в грунте» был использован для сохранения устойчивости фундаментов существующего корпуса среднего дробления бокситов (КСДБ) Павлодарского алюминиево-глинозёмного завода (ПАГЗ) на период возведения рядом с ним подземной части перегрузочного узла № 8 (ПУ-8). Первоначально предлагалось устройство ломанного в плане (по контуру КСДБ) предохранительного ограждения длиной 24 м в виде металлической шпунтовой стенки. Стенка предусматривалась из шпунтин корытообразного сечения марки Ларсен Л-IV высотой 11 м. Чтобы избежать применения дефицитного и дорогостоящего шпунта, а также предохранить основание фундаментов КСДБ от динамического воздействия при его забивке, ограждение было возведено в виде монолитной железобетонной траншейной «стены в грунте» [6].

Траншеи под стену отрывались в определённой последовательности – в разбежку захватками (шлицами) длиной 2,5 м, шириной 0,6 м, глубиной 11 м (рис. 1). Для этого использовался плоский напорный грейфер на базе экскаватора. Шлицы армировались каркасами из арматуры диаметром 28 мм класса А-300 с шагом 0,4 м. Каркас вставлялся в шлиц после его заполнения бетоном класса В12,5 на высоту 1,5...2 м от забоя. Во избежание оплывания стенок шлицов они (шлицы) заполнялись глинистой суспензией, которая периодически откачивалась по мере заполнения шлицов бетоном. По мере твердения бетона шлицы последовательно перехлестывались между собой на 0,5 м. Чтобы бетон не успел набрать прочность, при которой его нельзя было бы разрабатывать грейфером на перехлестываемых участках, перерыв между устройством 1-й и 3-й захватками составлял не более суток.

Применение конструкции «стены в грунте» вместо шпунтовой стенки позволило закончить в срок устройство предохранительного сооружения без увеличения сметной стоимости. При этом расход металла был сокращён на 28 тонн с учётом нормированного возврата шпунта.

Основная часть. Заглубленные сооружения в плане стараются устраивать круглыми, чтобы элементы цилиндрической «стены» работали не как балка, а как кольцевое сечение без возникновения в них растягивающих напряжений. Однако в ряде случаев по технологическим, объёмно-планировочным или иным требованиям, предъявляемым к заглубленным сооружениям, им

необходимо придавать прямоугольную форму. В целях обеспечения устойчивости такой «стены в грунте» в период строительства необходимо при-

менять пояса жёсткости, временные и постоянные распорки, грунтовые анкеры, что приводит к увеличению стоимости и трудоёмкости работ.

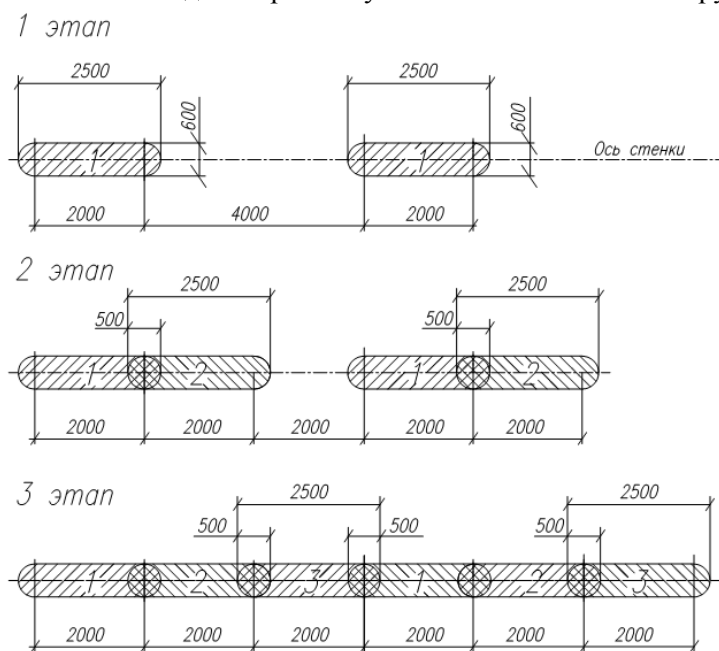


Рис. 1. Последовательность устройства шлицов предохранительной «стены в грунте»

Авторами [7] разработан новый способ возведения прямоугольной «стены в грунте» без выполнения указанных дополнительных факторов, который был реализован при возведении перегрузочного узла № 8 (ПУ-8) в период реконструкции базисного склада бокситов ПАГЗ. Площадка строительства сложена напластованиями супесей, суглинков, глин и водонасыщенных песков (плывунов). Подземные воды залегают на глубине 5 м. Подземная часть ПУ-8 размером в плане 30×12 м заглублена на 15,5 м, имеет одно промежуточное перекрытие на отметке – 8,8 м, опирающееся на средний ригель на отметке – 9,3 м.

Первоначально строительство подземной части ПУ-8 предусматривалось с применением опускного колодца с толщиной стен 1,9 м. По календарному графику работ срок строительства составлял 25 месяцев, что не устраивало ПАГЗ, так как не обеспечивало запланированного ввода в эксплуатацию всего пускового комплекса. Были также сомнения у подрядной организации в возможности равномерного опускания громоздкого прямоугольного колодца с соотношением сторон 1:2,5. Поэтому предпочтительнее оказался другой вариант строительства подземной части – способом траншейная полносборная «стена в грунте» с рамными элементами [7]. В разработанном варианте были приняты следующие конструктивные решения (рис. 2):

– рамы каркаса 1 – стальные сварные из широкополочных двутавров (с шагом 6 м) размером

12×19 м, вывешивались в траншеях на форшактах 3;

– наружные стены 2 – из сборных железобетонных панелей массой до 9 т, размером 6×1,2 м, толщиной 300...500 мм и теплоизоляцией 8 мм;

– снаружи стены из панелей предохранялись от соприкосновения с грунтом гидроизоляционной бетонной рубашкой 4;

– перекрытие на отметке – 8,8 м – монолитное по металлическим балкам, опирающимся на средний ригель 5;

– днище – толщиной 1 м, включающее в себя нижние ригели рам 6, обсыпанные на всю высоту песком и опирающиеся нижней полкой на бетон в траншее;

– надземная часть – сборный каркас из навесных панелей с перекрытием по верхнему ригелю 7.

Работы по устройству «стены в грунте» велись из пионерного котлована с отметкой заложения – 4 м. Траншеи глубиной 15,6 м, шириной 0,6 м под рамы и под стены разрабатывались штанговым напорным грейфером Воронежского экскаваторного завода. Для предохранения устья траншей от обрушения перед разработкой по кромкам будущей траншеи с обеих сторон устраивались форшахты из дорожных железобетонных плит. Глинистая суспензия приготавливалась из местных глин по заранее подобранному составу.

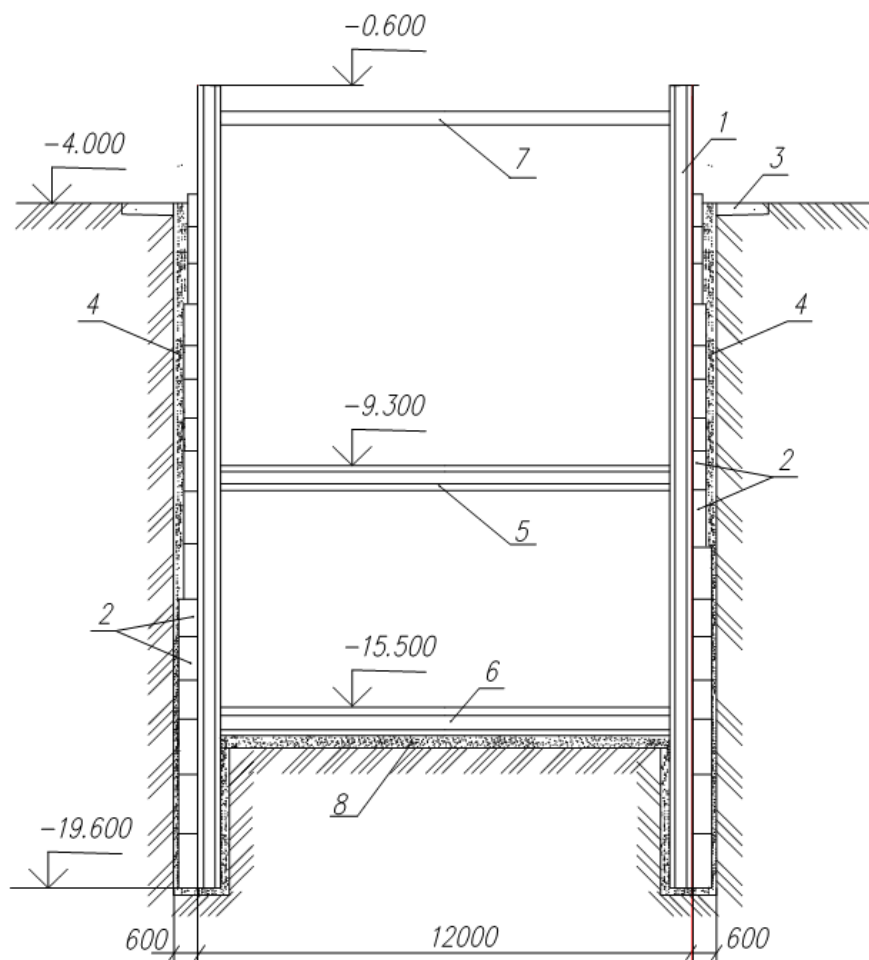


Рис. 2. Схематический разрез подземной части ПУ-8

Рамы массой 40 т монтировались гусеничным краном. Для их установки в траншее использовались специальные кондукторы, закреплённые в торцах траншеи, точность установки которых контролировалась теодолитом (рис. 3). По окончании монтажа рам дно траншеи с нижним ригелем тампонирувалось быстротвердеющей бетонной смесью, а по высоте они засыпались песком. В центре крайних рам предусматривались фахверковые стойки для монтажа панелей торцевых стен.

Панели монтировались тем же гусеничным краном, что и рамы. Монтажные петли были утоплены в панели, чтобы между ними образовывался плотный горизонтальный стык. Для монтажа панелей была сконструирована и изготовлена траверса с дистанционным управлением. Посредством зацепных уголков (замки-полосы), приваренных к металлоизоляции панелей, они (панели) опускались по стойкам рам (из двутавров) как по направляющим, обеспечивая плотное прилегание к ним. Во избежание прорыва пловуна внутрь сооружения наружные стены заглублялись в водоупорный слой на 2...3 м ниже дна. К стойкам рам в нижней части приваривались консоли для опирания на них

панелей. По мере монтажа панелей глинистая суспензия из траншеи откачивалась грунтовым насосом, и после восстановления её качества использовалась повторно на других участках траншеи. После монтажа панелей полость между наружной стороной панели (без металлоизоляции) и стенкой траншеи тампонирувалась быстротвердеющей бетонной смесью образуя гидроизоляционную бетонную рубашку.

Грунтовое ядро разрабатывалось и удалялось по контуру стен напорным грейфером, в остальных местах – тросовыми грейферами и малогабаритным гусеничным бульдозером, опущенным внутрь котлована. По мере удаления грунта горизонтальные швы между панелями обваривались полосовой сталью, а сами панели приваривались к стойкам рам. Для обеспечения пространственной жёсткости на нижних ярусах каркаса устанавливались связи. Ригели рам использовались как несущие элементы перекрытий (рис. 4) и днища заглубленного сооружения. Поступающая через незаваренные ещё щели панелей грунтовая вода постоянно откачивалась грязевым насосом из специально устраиваемых зумпфов.



Рис. 3. Монтаж рамы в траншею при строительстве ПУ-8



Рис. 4. Открытые рамы заглубленного сооружения перегрузочного узла № 8 со средним ригелем и временными распорками. Ниже бульдозер разрабатывает грунтовое ядро

Принятые конструктивные и технологические решения по устройству «стен в грунте» позволили сократить срок строительства ПУ-8 в два раза. При этом стоимость строительства подземной части была уменьшена почти на 40 %. Конструкция ПУ-8 является уникальной и не имеет аналогов в отечественной и зарубежной

практике устройства «стен в грунте». До настоящего времени ПУ-8 эксплуатируется нормально, что говорит о надёжности разработанной конструкции.

Вывод. В разработанном конструктиве «стен в грунте» поперечные стальные рамы со-

здают самостоятельный жёсткий каркас подземной части заглубленного сооружения, воспринимают боковое давление грунта и давления отпора днища, а также воспринимают нагрузки от надземной части сооружения. Строительство подземной части перегрузочного узла № 8 Павлодарского алюминиево-глинозёмного завода способом траншейная «стена в грунте» с рамными элементами показало надёжность такой конструкции и позволило сократить сроки строительства, а также получить значительный экономический эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устройство «стены в грунте». СТО НОСТРОЙ 2.5.74-2012. М.: Изд-во: Типография «Богенпринт». 2012. 76 с.
2. Свод правил СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87.

Информация об авторах

Рыбникова Ирина Александровна, старший преподаватель кафедры гуманитарных и естественнонаучных дисциплин.

Новороссийский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. Россия, 353915, Краснодарский край, г. Новороссийск, ул. Мысхакское шоссе, д.75.

Рыбников Александр Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры подъёмно-транспортных машин и комплексов.

E-mail: a.ribnikov@novoroshkhp.ru

Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. Россия, 353918, Краснодарский край, г. Новороссийск, пр. Ленина, д. 93.

Поступила в феврале 2018 г.

© Рыбникова И.А., Рыбников А.М., 2018

3. Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Опыт устройства заглубленных сооружений способом свайная «стена в грунте» // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 4. С. 26–31.

4. Першин В.Г. Разработка методики расчёта сборно-монолитных «стен в грунте»: Автореф. дис. канд. техн. наук. Москва, 1986. 23 с.

5. Першин В.Г., Рыбников А.М. Новый вид сборно-монолитной «стены в грунте» – двухслойная панель по высоте конструкции // Информационный листок. Серия 67.11.31. Караганда: Изд-во Карагандинский ЦНТИ. 1990. № 5–91. 5 с.

6. Першин В.Г., Рыбников А.М. «Стена в грунте» вместо шпунтовой стенки // Информационный листок. Серия 67.11.29. Караганда: Изд-во: Карагандинский ЦНТИ, 1990. № 77–90. 3 с.

7. Першин В.Г., Рыбников А.М. Опыт устройства сборных сооружений способом «стена в грунте» с использованием рамных элементов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1991. № 4. С. 4–5.

A.I. Rybnikova, A.M. Rybnikov

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF THE CONSTRUCTION TRENCH OF THE "WALL IN THE GROUND" WITH FRAME ELEMENTS

Trench "slurry wall" is an underground wall of different configurations built in the trench under thixotropic solution with subsequent filling of the trench with a monolithic reinforced concrete or prefabricated elements (wall panels) as embedded structures for different purposes. A new method rectangular "wall in the ground" with a cross bearing steel frames and attached to horizontal rows of external wall panels is developed. The design is implemented in the construction of the underground part in terms of size 30x12 m with a depth of 15.5 m transfer group No. 8 warehouse base of the Pavlodar aluminium bauxite and alumina plant. Shown design and technology of erection of such constructions in the trenches with a width of 0,6 m the use of trench "wall in the ground" with frame elements allowed to reduce the cost of the underground part of the transfer group No 8 by 40 % and shorten the construction period.

Keywords: ground, trench, buried structure, slurry wall, clay suspension, steel frame, wall panels, economic effect.

REFERENCES

1. Ustroystvo «steny v grunte». STO NOSTROY 2.5.74-2012. M.: Izd-vo: Tipografiya «Bogenprint», 2012, 76 p.

2. Svod pravil SP 45.13330.2012. Zemlyanyye sooruzheniya, osnovaniya i fundamenti. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.02.01-87.

3. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Opyt ustroystva zaglublennykh sooruzheniy sposobom svaynaya «stena v grunte». Bulletin named after V.G. Shukhov, 2017, no. 4, pp. 26–31.

4. Pershin V.G. Razrabotka metodiki raschota sborno-monolitnykh «sten v grunte»: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. Moskva, 1986, 23 p.

5. Pershin V.G., Rybnikov A.M. Novyy vid sborno-monolitnoy «steny v grunte» – dvukhsloynaya panel' po vysote konstruktsii. Informatsionnyy

listok. Seriya 67.11.31. Karaganda: Izd-vo Karagandinskiy TSNTI, 1990, no. 5–91, 5 p.

6. Pershin V.G., Rybnikov A.M. «Stena v grunte» vmesto shpuntovoy stenki. Informatsionnyy listok. Seriya 67.11.29. Karaganda: Izd-vo: Karagandinskiy TSNTI, 1990, no. 77–90, 3 p.

7. Pershin V.G., Rybnikov A.M. Opyt ustroystva sbornykh sooruzheniy sposobom «stena v grunte» s ispol'zovaniyem ramnykh elementov. Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 1991, no. 4, pp. 4–5.

Information about the author

Irina A. Rybnikova, Senior lecturer.

E-mail: 7upa7@mail.ru

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Novorossiysk branch.

Russia, 353915, Krasnodar region, Novorossiysk, str. Myshaksky highway, 75.

Aleksandr M. Rybnikov, PhD, Assistant professor, Senior researcher.

E-mail: a.ribnikov@novoroskhp.ru

State Maritime University named after admiral F.F. Ushakov.

Russia, 353918, Krasnodar region, Novorossiysk, Lenin Avenue, 93.

Received in February 2018

Для цитирования:

Рыбникова И.А., Рыбников А.М. Разработка и применение конструкции траншейной «стены в грунте» с рамными элементами // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №8. С. 48–54. DOI: 10.12737/article_5b6d584fbf99c6.28324157

For citation:

Rybnikova A.I., Rybnikov A.M. Development and application of the construction trench of the "wall in the ground" with frame elements. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov, 2018, no. 8, pp. 48–54. DOI: 10.12737/article_5b6d584fbf99c6.28324157