

---

# **СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ**

---

## **BUILDING CONSTRUCTIONS, BUILDINGS AND STRUCTURES. BASES AND FOUNDATIONS**

Известия вузов. Строительство. 2022. № 8. С. 5–19.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (8): 5–19.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 624.137.5

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-5-19

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ СБОРНО-МОНОЛИТНОЙ «СТЕНЫ В ГРУНТЕ»**

**Александр Михайлович Рыбников<sup>1</sup>, Ирина Александровна Рыбникова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова,  
Новороссийск, Россия

<sup>2</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,  
Новороссийский филиал, Новороссийск, Россия

**Аннотация.** Предложено усовершенствовать конструкцию траншейной сборно-монолитной «стены в грунте» в виде двухслойной панели, одну часть которой составляет сборный железобетонный элемент с выпусками арматуры, а вторую – монолитная конструкция, бетонируемая со стороны выпусков арматуры непосредственно в траншее с глинистой супензией. Разработаны конструктивные решения и проведены лабораторные исследования конструкции на крупномасштабных моделях. Полученные результаты позволили вывести зависимость разрушающей силы от плотности глинистой супензии и высоты бетонирования монолитной части. Показана возможность применения «стены в грунте» в практических целях с использованием обычных экскаваторов, оснащенных плоским напорным грейфером. Доказана технологичность и экономическая эффективность конструкции сборно-монолитной «стены в грунте» на реальных строительных объектах.

**Ключевые слова:** сборно-монолитная «стена в грунте», двухслойная панель, глинистая супензия, форшахта, экономический эффект

**Для цитирования:** Рыбников А.М., Рыбникова И.А. Исследование и внедрение усовершенствованной конструкции сборно-монолитной «стены в грунте» // Известия вузов. Строительство. 2022. № 8. С. 5–19. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-5-19.

Original article

## RESEARCH AND IMPLEMENTATION OF AN IMPROVED DESIGN OF A PREFABRICATED MONOLITHIC «WALL IN THE GROUND»

**Aleksandr M. Rybnikov<sup>1</sup>, Irina A. Rybnikova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>State Maritime University named after admiral F.F. Ushakov, Novorossiysk, Russia

<sup>2</sup>Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,  
Novorossiysk branch, Novorossiysk, Russia

**Abstract.** It is proposed to improve the design of a trench prefabricated monolithic «wall in the ground» in the form of a two-layer panel, one part of which is a precast reinforced concrete element with rebar releases, and the second is a monolithic structure concreted from the rebar releases directly in the trench with a worm suspension. Design solutions have been developed and laboratory studies of such a design have been carried out on large-scale models. The obtained results allowed us to deduce the dependence of the magnitude of the destructive force on the density of the clay suspension and the height of concreting of the monolithic part. The possibility of using such a «wall in the ground» for practical purposes using conventional excavators equipped with a flat pressure grab is shown. The manufacturability and economic efficiency of the construction of a prefabricated monolithic «wall in the ground» on real construction sites has been proved.

**Keywords:** prefabricated monolithic «wall in the ground», two-layer panel, clay suspension, foreshock, economic effect

**For citation:** Rybnikov A.M., Rybnikova I.A. Research and implementation of an improved design of a prefabricated monolithic «wall in the ground». *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022; (8): 5–19. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-764-8-5-19.

**Введение.** «Стена в грунте» – это подземная часть заглубленного сооружения, выполняющая одновременно роль фундамента и возводимая в виде стены, или замкнутая конструкция для ограждения котлованов от грунтовых вод. Известен тип стены из буронабивных свай [1–3] или в траншее под тиксотропным глинистым раствором с последующим заполнением траншеи монолитным железобетоном или сборными вертикально сопрягаемыми между собой элементами (панелями) [4–6]. Разработана и применена конструкция траншейной монолитной «стены в грунте» с пересекающимися захватками-шлицами<sup>1</sup>, а также со стальными несущими рамными элементами [7]. Кроме того, такой способ используют при возведении глинистых противофильтрационных завес [8, 9]. Учитывая параметры и особенности конструкций «стена в грунте», наиболее часто их применяют в промышленном строительстве [10–13].

Логично предположить возможность использования совмещенной конструкции сборно-монолитной «стены в грунте» в виде двухслойной панели, одну часть которой составляет сборный железобетонный элемент с выпусками арматуры, а вторую – монолитная конструкция, бетонируемая в траншее с глинистой сuspensionей. Выпуски арматуры из панели, заводимые в монолитную часть «стены», обеспечат совместную работу сборной и монолитной частей сооружения. Получающаяся таким образом двухслойная панель позволяет

<sup>1</sup> Першин В.Г., Рыбников А.М. «Стена в грунте» вместо шпунтовой стенки // Информационный листок. Серия 67.11.29 / Карагандинский ЦНТИ. Караганда, 1990. № 77-90. 4 с.

в одной конструкции объединить преимущества сборного и монолитного бетона. Глинистый раствор в траншее не дает осипаться ее вертикальным стенкам и по мере возведения конструкции откачивается для повторного применения.

Использование конструкции «стены в грунте» возможно в качестве, например, фундамента заглубленного сооружения с замкнутым прямоугольным или круглым контуром при ориентации сборной плиты во внутреннюю часть фундамента. В этом случае при удалении грунтового ядра внутренняя поверхность фундамента будет соответствовать качеству сборной железобетонной плиты. Однако применение «стены» сдерживается отсутствием исследований ее работы. Проведены крупномасштабные лабораторные исследования с теоретическими выводами, результаты которых были использованы при проектировании и строительстве нескольких промышленных объектов.

**Методология.** Заглубленные сооружения, возведенные способом «стена в грунте» наряду с достоинствами обладают и недостатками, основные из которых: для монолитных – низкое качество поверхностей конструкции стен из-за неровностей стенок траншей; для сборных – большая масса элементов, их заводское изготовление и связанная с этим высокая стоимость, включая транспортирование. Применение сборно-монолитных конструкций стен позволяет сочетать высокое качество сборного железобетона с экономичностью монолитного бетона. Технология возведения «стен в грунте» несколько отличается от технологии сборных и монолитных стен, так как связана с обеспечением надежного контакта между сборными и монолитными частями.

Следует отметить, что сборно-монолитные «стены в грунте», являясь комбинированным вариантом железобетонной конструкции, требуют специальных приспособлений, а также мероприятий для защиты выпусков арматуры при транспортировке, монтаже и бетонировании.

**Экспериментальная часть.** С целью изучения работы конструкции сборно-монолитной «стены в грунте» выполнены испытания на полноразмерных опытных сборно-разборных элементах. Сборная часть их набиралась из группы балок, установленных по высоте одна на другую торцами, а монолитная часть бетонировалась под глинистой суспензией различной плотности. Разделив монолитную часть опытного элемента в местах стыковки сборных балок, получали сборно-монолитные балки. Каждая из них могла характеризовать прочностные и деформативные свойства сборно-монолитного элемента на определенной высоте. Было изготовлено 25 сборно-монолитных балок сечением  $100 \times 150$  ( $b \times h$ ) мм, длиной 1290 мм из бетона класса В15 (марка М200) для проведения испытаний из пяти серий. В каждой серии экспериментов использованы по пять балок с глинистой суспензией разной плотности.

Армирование балок выполнялось сварными пространственными каркасами. Продольная рабочая арматура подбиралась таким образом, чтобы разрушение балок происходило по бетону в сжатой зоне и процент армирования был в пределах оптимального. Для продольного армирования использовалась арматура периодического профиля класса А-II, для поперечного – гладкая проволока класса В-I. Шаг и диаметр арматуры определены с таким расчетом, чтобы обеспечивалась прочность контакта между сборным и монолитным бетоном на опорных участках, отсекаемых наклонными трещинами

при разрушающих нагрузках. Изготовление сборно-монолитных балок велось в два этапа. На первом выполнялась сборная часть балок бетонированием в кассетах, изготовленных из влагостойкой полированной опалубочной фанеры, на втором этапе бетонировалась монолитная часть из бетонной смеси класса В15 (марка М200).

Для приготовления суспензии применялись бухарские бентонитовые глины. Суспензия готовилась в лабораторных условиях растворомешалкой. Дозировка производилась вручную на лотковых весах для замеса объемом 60 л. Ввиду того что высокопластичные монтмориллонитовые глины бухарского происхождения не позволяли получить суспензию плотностью более  $1,1 \text{ г}/\text{см}^3$  из-за большой вязкости (при рекомендуемой  $18\text{--}30 \text{ м}^2/\text{с}$  вязкость раствора получалась более  $30 \text{ м}^2/\text{с}$ ), в раствор добавлялись местные жирные глины [14]. Количественное содержание местных глин в суспензии подбиралось пробными замесами. Для приготовления глинистой суспензии использовалась водопроводная вода. Параметры суспензии определялись приборами полевой лаборатории ЛРГ-3.

Для бетонирования монолитной части балок был запроектирован и изготовлен испытательный стенд [15]. На нем воспроизводились условия траншеи, заполненной глинистой суспензией, в которой монолитная часть конструкции выполнена напорным бетонированием. Стенд состоит из вертикальной стальной колонны высотой 6,5 м коробчатого сечения с подключенными к ней растворонасосом и водяным насосом (рис. 1). На швеллер горизонтально уложенной колонны, имеющей разделительные перегородки, в одну линию укладывались пять сборных балок одной серии со строго фиксированной ориентацией и выпусками арматуры, направленными вверх. Колонна собиралась на болтах, при этом со стороны выпусков арматуры в замкнутом коробе образовывалась полость сечением  $60\times 100 \text{ мм}$  на всю длину колонны, которая затем устанавливалась вертикально и крепилась к основанию при помощи монтажных болтов в нижней опорной плите.

К патрубкам, приваренным снизу со стороны сквозной полости, присоединялись шланги от растворонасоса и водяного насоса. По шлангу от водяного насоса в полость вертикально установленной колонны подавалась вода, с помощью которой проверялась герметичность резиновых прокладок в продольных и торцевых стыках швеллера. Вода из полости колонны сливалась, а водяной насос переключался на бак с суспензией, из которого подавалась суспензия в полость, подготовленную для бетонирования. Полное заполнение полости суспензией контролировалось посредством сливной трубы в верхней части колонны. Водяной насос отключался, и суспензия отстаивалась в полости колонны в течение 2 ч.

Затем из бункера растворонасоса осуществлялась подача подготовленной бетонной смеси класса В15 заданной подвижности в полость, заполненную суспензией. Суспензия, вытесняемая бетонной смесью, переливалась в бак для раствора через верхнюю переливную трубу. При появлении бетонной смеси в переливной трубе растворонасос отключался. Серийный растворонасос применялся с приставкой Марчукова, к которой подключался компрессор. Приставка Марчукова используется обычно для перекачки жестких растворов и бетонных смесей и представляет собой завихритель, который

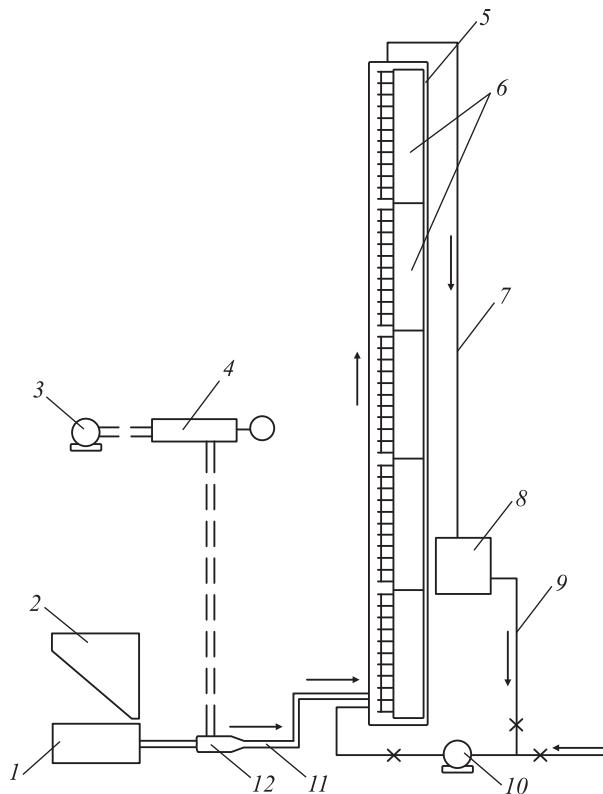


Рис. 1. Схема стенда для изготовления сборно-монолитных балок

1 – растворонасос; 2 – бункер для подачи бетона; 3 – компрессор; 4 – воздухораспределительный цилиндр с манометром; 5 – полая стальная колонна; 6 – сборные железобетонные балки с арматурными выпусками; 7 – переливная труба; 8 – бак с суспензией; 9 – шланг для подачи суспензии; 10 – водяной насос; 11 – бетоновод; 12 – приставка Марчука

Fig. 1. Scheme of the stand for the manufacture of prefabricated monolithic beams

1 – mortar pump; 2 – concrete feed hopper; 3 – compressor; 4 – air distribution cylinder with pressure gauge; 5 – hollow steel column; 6 – precast reinforced concrete beams with reinforcing releases; 7 – overflow pipe; 8 – suspension tank; 9 – suspension supply hose; 10 – water pump; 11 – concrete breeder; 12 – the Marchukov prefix

при выходе смеси из растворонасоса придает ей вращательное движение и исключает образование пробок на начальном участке бетоновода.

Колонна с забетонированной монолитной частью сборно-монолитных балок выдерживалась в вертикальном положении в течение 7 сут, после чего ее демонтировали и производили распил монолитной части по разделительным диафрагмам между сборными балками. Распиленные балки помещались в камеру естественного твердения до полного набора прочности монолитным бетоном. Для первой эталонной серии испытаний балок Б-1 монолитную часть бетонировали без заполнения полости колонны суспензией, но с предварительным замачиванием водой в течение 20 мин. Бетонирование моно-

**Таблица 1. Параметры глинистых суспензий при изготовлении монолитных частей балок**

**Table 1. Parameters of clay suspensions in the manufacture of monolithic parts of beams**

Серия испытаний балок	Плотность $\rho$ , т/м <sup>3</sup>	Вязкость С, м <sup>2</sup> /с	Водоотдача, см <sup>3</sup>	Толщина глинистой пленки, мм
Б-1	—	—	—	—
Б-2	1,10	29	15	1,5
Б-3	1,15	23	12	1,8
Б-4	1,05	20	23	1,5
Б-5	1,17	24	10	1,6

литных частей остальных четырех серий Б-2–Б-4 выполнялось под суспензией с параметрами, приведенными в табл. 1.

После набора монолитным бетоном 100%-й прочности балки испытывались сжимающей вертикальной нагрузкой на прессе П-125, используемом в качестве опорного стенда. Нагрузки на опытные балки создавались десятитонным домкратом, установленным на распределительную траверсу. При работе он упирался на верхнюю плиту пресса. Для опытных балок была принята расчетная схема как для вертикальных свободно опертых балок. Равномерное распределение усилий по ширине торца балки обеспечивалось жесткими стальными прокладками. Перед началом испытаний проводилась проверка вертикальности установки испытываемой балки.

Нагружение балок производилось ступенями по 1/10 от ожидаемой разрушающей нагрузки при выдержке каждой ступени в течение 0,5 ч. Показания измерительных приборов снимались в начале и конце каждого временного интервала ступени. В процессе испытаний измерялись продольные деформации бетона по высоте сечения, прогибы испытываемых конструкций, а также ширина раскрытия трещин и расстояния между ними.

*Продольные деформации бетона по высоте сечения измерялись тензорезисторами, наклеенными на балку по методике ЦНИИСК [15]. В качестве измерительной и регистрирующей аппаратуры был использован цифровой тензометрический мост ЦТМ-5, предназначенный для измерения статических деформаций в конструкциях. Прогибы сборно-монолитных балок замерялись индикаторами часового типа Аистова с ценой деления 0,01 мм. Появление и раскрытие трещин фиксировалось визуально. Замеры ширины раскрытия трещин производились микроскопом МПБ-2 с 24-кратным увеличением.*

Балки нагружались до их разрушений. Разрушение сборно-монолитных балок эталонной серии Б-1, монолитная часть которых бетонировалась без суспензии, происходило по нормальным сечениям после достижения предельных прогибов и ширины раскрытия трещин. Сборно-монолитные балки остальных серий, монолитная часть которых бетонировалась под суспензией различной плотности, разрушались по контакту на опорных частях, отсеченных крайними наклонными трещинами после достижения предельных прогибов и ширины раскрытия трещин. Разрушение происходило по контакту. В момент разрушения опорных частей балок нарушение сплошности контакта в других частях балок, как правило, не наблюдалось.

Нарастание деформаций балок от центрального сжатия, монолитная часть которых бетонировалась под супензией, до разрушения на опорах происходило аналогично нарастанию деформаций балок эталонной серии. Пропорция прочности бетона в день испытаний показала, что она увеличивается с глубиной бетонирования. При испытаниях наблюдалось снижение прочности балок, бетонирование которых осуществлялось под супензией с большей плотностью. Учитывая различный характер разрушения балок эталонной серии и балок, монолитная часть которых бетонировалась под супензией, можно принять в качестве показателя несущей способности для последних величину разрушающей силы на опоре в момент разрушения, т.е. разрушающую нагрузку.

**Теоретическая часть.** Анализ данных экспериментов при одинаковых геометрических размерах и прочностных свойствах материалов (бетон, арматура) балок позволил вывести зависимость величины разрушающей силы от дополнительных факторов – высоты бетонирования монолитной части и плотности глинистой супензии. При вычислении исследуемых характеристик была использована программа множественной линейной регрессии. Обработка данных была произведена на ЭВМ. Вычисленные по методу наименьших квадратов значения пересечения и коэффициентов регрессии позволяют интерпретировать исследуемую зависимость в виде

$$P = 107 - 60,4 \rho + 0,58 H, \quad (1)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кН;

$\rho$  – плотность глинистой супензии, т/м<sup>3</sup>;

$H$  – высота бетонирования конструкции стенки, м.

Несмотря на то что литая бетонная смесь, поднимаясь снизу вверх, снимает глинистую пленку с влажной поверхности сборного бетона и арматуры, контакт полностью очищен не будет. При этом говорить о надежности сцепления нового бетона с арматурой и старым бетоном, трении бетона о бетон или сцепления бетона с глинистыми частицами пленки и трении бетона о глину не приходится. Глинистая пленка не снимается полностью, остаются локальные участки в отдельных порах и выступах сборного бетона, рифлении арматуры. Однако давление столба свежеуложенного бетона способствует проникновению цементного теста в поры сборного бетона, создавая после твердения монолитной части конструкции анкерующие микрошпильки. Дополнительно остатки глинистой пленки разрываются и вместе с цементным молоком проникают в тело старого бетона. Таким образом происходит процесс, аналогичный диффузии.

Учитывая изложенное, формула расчета контакта между монолитным и сборным бетонами на сдвиг в опорной части конструкции, отсеченной на склонной трещиной, будет иметь вид

$$\frac{Q}{Bl_{cd}} \leq T_{cd} = \tau_{gl} + \tau_a, \quad (2)$$

где  $Q$  – расчетное усилие сдвига, кН;

$B$  – ширина ожидаемой поверхности сдвига, м;

$l_{cd}$  – расчетная длина участка сдвига, м;

$T_{cd}$  – среднее суммарное расчетное сопротивление сдвигу;

Таблица 2. Значения коэффициента  $K_{\text{гл}}$

Table 2. Coefficient values  $K_{\text{gl}}$

Плотность сuspензии $\rho$ , $\text{г}/\text{см}^3$	Глубина бетонирования стенки, м				
	0,7	2,0	3,3	4,6	5,8
1,05	0,505	0,503	0,512	0,515	0,518
1,10	0,491	0,494	0,498	0,502	0,506
1,15	0,474	0,480	0,482	0,486	0,490
1,17	0,465	0,478	0,475	0,479	0,483

$\tau_{\text{гл}}$  – сопротивление за счет сцепления между сборным и монолитным бетонами с учетом пленки глинистого раствора;

$\tau_a$  – сопротивление за счет работы поперечной арматуры на срез.

Значение  $\tau_{\text{гл}}$  можно представить формулой

$$\tau_{\text{гл}} = K_{\text{гл}} \left( R_{\text{mp}} + \frac{N}{Bl_{\text{cd}}} \right), \quad (3)$$

где  $K_{\text{гл}}$  – коэффициент, полученный по результатам экспериментальных исследований, отражающий влияние глинистого раствора на сцепление между монолитным и сборным бетонами, приведен в табл. 2 и графически – на рис. 2;  $R_{\text{mp}}$  – расчетное сопротивление монолитного бетона растяжению;  $N$  – поперечная сила на опоре.

Сравнение опытных и теоретических величин предельных нагрузок, рассчитанных по приведенной методике, показало достаточную для практических целей сходимость результатов. Расчет сборно-монолитных конструкций «стена в грунте» по первой и второй группам предельных состояний следует выполнять по общепринятым методикам, за исключением расчета на сдвиг контакта между сборным и набравшим прочность монолитным бетоном, который необходимо производить с учетом формул (2) и (3).

**Производственная часть.** Предложенная конструкция сборно-монолитной «стены в грунте» применена при проектировании и строительстве в стесненных условиях канализационной насосной станции (КНС) промышленных стоков Павлодарского тракторного завода. Подземная часть КНС представляет собой круглое в плане сооружение с внутренним диаметром 24 м и отметкой верха днища –10,7 м (рис. 3). Здесь использовались сборные железобетонные панели размером  $10 \times 1,2 \times 0,24$  м с поперечными и продольными рабочими выпусками арматуры.

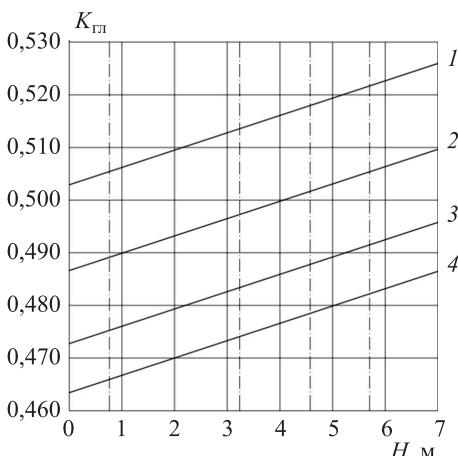


Рис. 2. Зависимость величины коэффициента  $K_{\text{гл}}$  от глубины бетонирования  $H$  и плотности глинистой супензии  $\rho$

Fig. 2. The dependence of the coefficient  $K_{\text{gl}}$  on the depth of concreting  $H$  and the density of the clay suspension  $\rho$

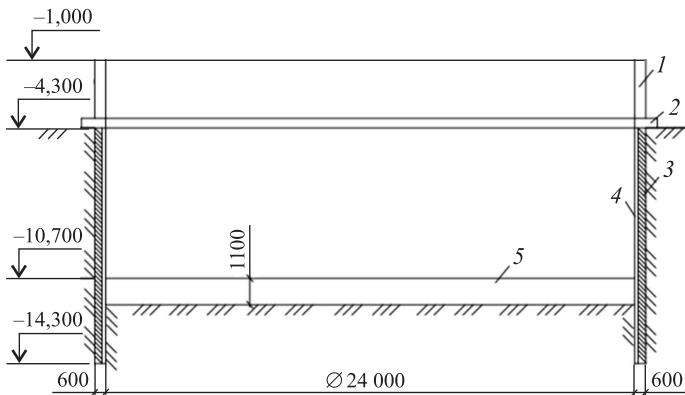


Рис. 3. Схематический разрез подземной части КНС

1 – стена монолитная надземная; 2 – ростверк монолитный обвязочный; 3, 4 – монолитная и сборная части «стены в грунте» соответственно; 5 – железобетонное днище

Fig. 3. Schematic section of the underground part of the KNS

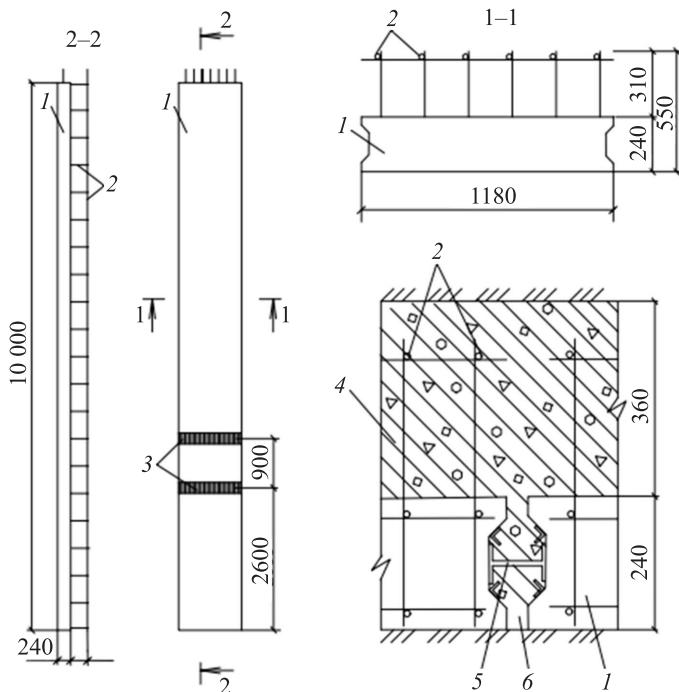
1 – the wall monolithic aboveground; 2 – monolithic strapping grillade; 3, 4 – monolithic and prefabricated parts of the “walls in the ground” respectively; 5 – reinforced concrete bottom

Строительство КНС велось в пионерном котловане с глубиной  $-4,3$  м, что позволило вместо 14-метровых панелей применять панели длиной 10 м. Для отрывания траншеи использовался напорный штанговый грейфер с шириной ковша 0,6 м, величиной раскрытия челюстей 2,5 м, копающий на глубину до 20 м [16]. Форшахта для предохранения кромок траншеи от обрушения устраивалась по всему ее контуру из дорожных железобетонных плит. Устойчивость стенок траншеи обеспечивалась глинистой супензией плотностью  $1,15\text{--}1,16 \text{ г}/\text{см}^3$ , приготовленной из местных глин по составу, подобранныму заранее опытным путем.

Сборные железобетонные панели монтировались гусеничным краном. Панели в траншее подвешивались на форшахте с помощью коротких стальных двутавровых балочек и монтажных уголков, объединенных в плоскую раму. Нижняя часть панелей заглублялась в слой глины, чтобы подземные воды не поступали внутрь сооружения при устройстве днища. Для монтажа панелей использовались инвентарные направляющие из двутавра, закрепляемые в замках панелей, что дало возможность плотно состыковать их друг к другу (рис. 4).

Захватки для бетонирования монолитной части разделялись в траншее стальными трубами. Монолитная часть стены бетонировалась методом вертикально перемещающейся трубы с помощью бетонолитной трубы и загрузочного бункера. На нижнем конце трубы крепился вибратор, что позволило использовать бетонную смесь с осадкой конуса 8–12 см. По окончанию монтажа панелей и бетонирования монолитного слоя все панели по периметру были опоясаны монолитным железобетонным поясом для обеспечения жесткости всего сооружения. Поэтому при разработке грунтового ядра не потребовалось устройства системы распорок.

Верхний ярус грунтового ядра разрабатывался экскаватором с отметки пионерного котлована с погрузкой грунта в самосвалы, средний и нижний ярусы – экскаватором, опущенным внутрь насосной станции. Грунт грузился



*Рис. 4. Схема стеновой панели и приспособление для ее монтажа в траншее*

1 – панель стеновая; 2 – выпуски арматурного каркаса из панели; 3 – деталь закладная стальная для крепления днища; 4 – монолитная часть «стены в грунте»; 5 – дутавр направляющий инвентарный для монтажа панелей; 6 – штраба между стен вертикальная, заделываемая торкрет-бетонированием

*Fig. 4. The scheme of the wall panel and the device for its installation in the trench*

1 – wall panel; 2 – releases of the reinforcement frame from the panel; 3 – the part is a steel mortgage for fixing the bottom; 4 – monolithic part of the “wall in the ground”; 5 – l-beam guide inventory for panel mounting; 6 – the wall between the walls is vertical, sealed with shotcrete concreting

в бункера-емкости, которые поднимались на поверхность краном. Разработка ядра и последующая заделка стыков панелей велись без водопонижения, так как врезка низа насосной станции в водоупор и монолитная бетонная рубашка по наружному контуру цилиндрической стены обеспечили надежную защиту от подземных вод. Обнажающиеся вертикальные швы (штрабы) между панелями по мере разработки грунтового ядра очищались и заделывались торкрет-бетоном. Остаточный объем воды из грунтового ядра откачивался насосом из устраиваемых зумпфов.

Монолитное днище толщиной 1,1 м бетонировалось на водонепроницаемом основании и крепилось к стеновым панелям посредством закладных деталей в них (см. рис. 4, поз. 3). После устройства «стены в грунте» плиты фонарьши демонтировались. Стены в пионерном котловане до надземной части здания были выполнены из монолитного бетона. Применение сборно-монолитной «стены в грунте» при строительстве заглубленной части насосной станции позволило сэкономить 65 т цемента и 26 т арматуры.

В качестве другого примера строительства сооружений способом сборно-монолитная «стена в грунте» можно привести строительство тоннелей на Павлодарском алюминиево-глиноземном заводе. Здесь при реконструкции склада шихты необходимо было в сжатые сроки возвести наклонный и горизонтальный тоннели, примыкавшие к перегрузочному узлу № 8 (ПУ-8). Подземная часть ПУ-8 к этому времени была выполнена на глубину 14 м. По первоначальному проекту тоннели предполагалось монтировать из сборных железобетонных конструкций в отрываемых котлованах до отметки –11 м. Однако для этого необходимо было изготовить специальную опалубку для бетонирования индивидуальных конструкций тоннелей, что заняло бы много времени и привело к большому расходу металла на опалубку. К тому же, залегание грунтовых вод на глубине 5 м осложнило бы работы. Площадка строительства сложена напластованиями песка, супеси, суглинка.

Учитывая изложенные факторы, был принят вариант строительства тоннелей с применением сборно-монолитной «стены в грунте» в виде приведенной выше двухслойной конструкции. Длина горизонтального тоннеля 13,2 м, сечением в свету 9×4,9 м, отметка верха днища –8,9 м (рис. 5). «Стену в грунте» выполняли по отработанной технологии.

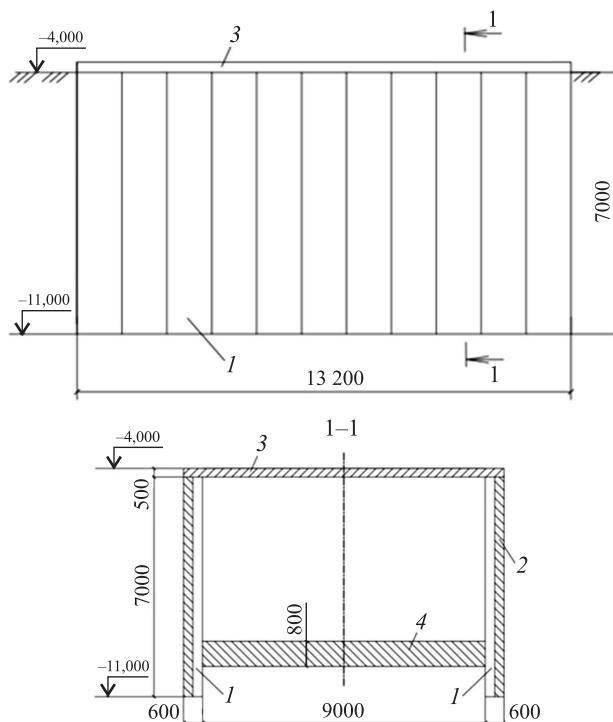
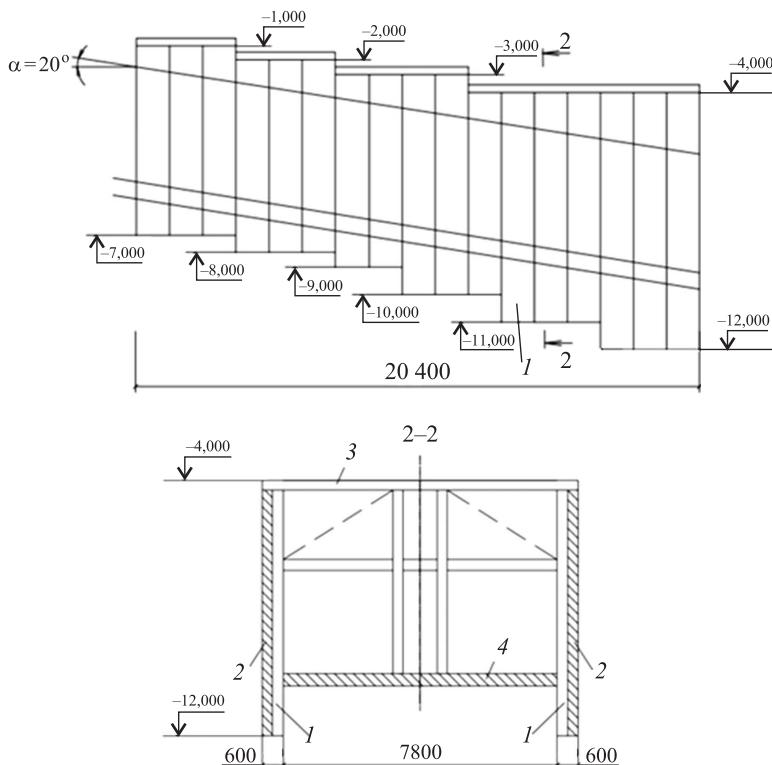


Рис. 5. Монтажная схема стеновых панелей в горизонтальном тоннеле

1 – стеновая панель с арматурными выпусками; 2 – монолитная часть «стены в грунте»; 3 – перекрытие тоннеля; 4 – днище тоннеля

*Fig. 5. Wiring diagram of wall panels in a horizontal tunnel  
1 – wall panel with reinforcement outlets; 2 – monolithic part of the “wall in the ground”; 3 – tunnel closure; 4 – tunnel bottom*



*Рис. 6. Монтажная схема стеновых панелей в наклонном тоннеле  
1 – стеновая панель с арматурными выпусками; 2 – монолитная часть «стены в грунте»; 3 – перекрытие тоннеля; 4 – днище тоннеля*

*Fig. 6. Wiring diagram of wall panels in an inclined tunnel  
1 – wall panel with reinforcement outlets; 2 – monolithic part of the “wall in the ground”; 3 – tunnel closure; 4 – tunnel bottom*

Аналогично был возведен наклонный тоннель длиной 20,4 м, сечением в свету  $7,8 \times 4$  м, с углом наклона  $20^\circ$  (рис. 6). Панели высотой 6–8 м монтировали по длине тоннеля уступами. Примыкающая надземная часть наклонного тоннеля была выполнена ранее, поэтому осталось только их состыковать. Применение такого конструктивного решения позволило уменьшить объем земляных работ на 85 % и сократить сроки строительства тоннелей на 24 дня.

Возведенные КНС и тоннели эксплуатируются нормально, что говорит о надежности конструкции сборно-монолитной «стены в грунте».

**Выводы.** 1. Исследованиями работы на моделях конструкции из сборно-монолитного бетона в виде двухслойной панели, возводимой способом «стена в грунте», выявлено, что прочность монолитного бетона в сборно-монолитной конструкции с глубиной увеличивается. Установлена математическая зависимость ее несущей способности с учетом плотности глинистой суспензии и высоты бетонной смеси.

2. На основании характера разрушения сборно-монолитных опытных образцов, монолитная часть которой бетонировалась под глинистой суспензией, в качестве показателя несущей способности можно принять разрушающую нагрузку.

3. Расчет сборно-монолитных «стен в грунте» можно выполнять по общепринятым методикам, однако проверку прочности контакта на сдвиг следует производить с учетом экспериментально полученного коэффициента  $K_{\text{гл}}$ , характеризующего влияние глинистой пленки на контакте между сборным и монолитным бетонами.

4. Результаты исследований использованы при проектировании и строительстве несущих заглубленных сооружений промышленных объектов, чем доказана эффективность и надежность конструкции. Возводимые заглубленные промышленные сооружения с использованием конструкции сборно-монолитных «стен в грунте» эксплуатируются нормально.

### **Список источников**

1. *Першин В.Г., Рыбников А.М.* Устройство заглубленной части склада металлической стружки Ермаковского завода ферросплавов способом свайная «стена в грунте» // Промышленное строительство. 1991. № 5. С. 27–28.
2. *Балуев И.Б., Кошелев Н.В.* Ограждение котлованов из буронабивных свай методом «стена в грунте» // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015. № 1. С. 314–318.
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. *Голушки А.Д., Александрова Е.В.* Метод «стена в грунте» // Молодой ученый. 2017. № 15. С. 18–23.
5. *Надточий Н.С., Любомирский А.В.* Технология «стена в грунте» в подземном строительстве // Alfabuild. 2018. № 1. С. 46–54.
6. *Исупов И.А.* Анализ технологии подземного строительства методом «стена в грунте» // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 1. С. 299–304.
7. *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.
8. *Марголин В.М.* Проектирование эффективных противофильтрационных конструкций, устраиваемых способом «стена в грунте» // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 8. С. 67–70.
9. *Пермяков М.Б., Тимофеев С.В.* Технология устройства противофильтрационных завес методом «стена в грунте» // Наука и безопасность. 2013. № 2. С. 33–37.
10. *Макшанова С.Е.* Метод UP-DOUN в строительстве // Экономика и социум. 2022. № 5 (96)-1. С. 531–533.
11. *Горбачевский В.П., Инсафутдинов А.Р., Крюкова А.О., Капканов В.В., Топилин А.Н.* Отдельные аспекты проектирования «стены в грунте» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. № 2. С. 304–311.
12. *Колесников В.С., Стрельникова В.В.* Возвведение подземных сооружений методом «стена в грунте». Технология и средства механизации: Учеб. пособие. Волгоград: ВолГУ, 1999. 144 с.
13. *Зубков В.М.* Подземные сооружения, возводимые способом «стена в грунте». Л.: Стройиздат, 1977. 200 с.
14. *Кадыров А.С., Нурмагамбетов А.С., Акматов Д.Б.* О возможности использования местных глин для строительства способом «стена в грунте» // Вестник государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. № 25. С. 48–53.

15. Баранов Д.С. Руководство по применению прямого метода измерения давлений в сыпучих средах и грунтах. М.: ЦНИИСК, 1965. 147 с.
16. Кадыров А.С. Технология и механизация работ по устройству сооружений способом «стена в грунте» // Устройство оснований и фундаментов в региональных условиях Казахстана: Тез. докл. Республ. совещ. Алма-Ата, 1989. С. 41–42.

### **References**

1. Pershin V.G., Rybnikov A.M. Arrangement of the buried part of the metal shavings warehouse of the Ermakov Ferroalloy Plant using the pile “wall in the ground” method. *Promyshlennoye stroitel'stvo = Industrial engineering*. 1991; (5): 27–28. (In Russ.).
2. Baluev I.B., Koshelev N.V. Fencing of pits from bored piles using the "wall in the ground" method. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse = Modernization and scientific research in the transport complex*. 2015; (1): 314–318. (In Russ.).
3. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Experience in arranging buried structures using the pile “wall in the ground” method. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shuhov*. 2017; (4): 26–31. (In Russ.).
4. Golushko A.D., Aleksandrova E.V. Method “wall in the ground”. *Molodoy uchyonyy = Young scientist*. 2017; (15): 18–23. (In Russ.).
5. Nadtochiy N.S., Lyubomirskiy A.V. Technology “wall in the ground” in underground construction. *Alfabuild*. 2018; (1): 46–54. (In Russ.).
6. Isupov I.A. Analysis of underground construction technology using the “wall in the ground” method. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika = Modern technologies in construction. Theory and practice*. 2016; (1): 299–304. (In Russ.).
7. Rybnikova I.A., Rybnikov A.M. Development and application of the construction of a trench “wall in the ground” with frame elements. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova = Bulletin of BSTU named after V.G. Shuhov*. 2018; (8): 48–54. (In Russ.).
8. Margolin V.M. Designing effective impervious structures, arranged by the “wall in the ground” method. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo = Industrial and civil construction*. 2015; (8): 67–70. (In Russ.).
9. Permyakov M.B., Timofeev S.V. Technology of installation of impervious curtains using the “wall in the ground” method. *Nauka i bezopasnost' = Science and safety*. 2013; (2): 33–37. (In Russ.).
10. Makshanova S.E. UP-DOUN construction method. *Ekonomika i sotsium = Economics and society*. 2022; 5(96)-1): 531–533. (In Russ.).
11. Gorbachevskiy V.P., Insafutdinov A.R., Kryukova A.O., Kapkanov V.V., Topilin A.N. Separate aspects of the design of “walls in the ground”. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Izvestiya vuzov. Investments. Construction. Real estate*. 2019; (2): 304–311. (In Russ.).
12. Kolesnikov V.S., Strel'nikova V.V. Construction of underground structures using the “wall in the ground” method. Technology and means of mechanization: textbook. Volgograd: VolGU, 1999. 144 p. (In Russ.).
13. Zubkov V.M. Underground structures erected by the “wall in the ground” method. Leningrad: Stroyizdat, 1977. 200 p. (In Russ.).
14. Kadyrov A.S., Nurmagambetov A.S., Akatov D.B. On the possibility of using local clays for construction using the “wall in the ground” method. *Vestnik gosudarstvennoy avtomobil'no-dorozhnay akademii = Bulletin of the State Automobile and Road Academy*. 2012; (25): 48–53. (In Russ.).
15. Baranov D.S. Guidance on the application of the direct method for measuring pressures in loose media and soils. Moscow, 1965. 147 p. (In Russ.).

16. Kadyrov A.S. Technology and mechanization of work on the construction of structures using the “wall in the ground” method. Construction of foundations and foundations in the regional conditions of Kazakhstan: abstracts of reports. Republican meetings. Alma-Ata, 1989. P. 41–42. (In Russ.).

**Информация об авторах**

**А.М. Рыбников** – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник

**И.А. Рыбникова** – старший преподаватель

**Information about the authors**

**A.M. Rybnikov** – PhD, Ass. Professor, Senior Researcher

**I.A. Rybnikova** – Senior Lecturer

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 04.07.2022

The article was submitted 04.07.2022

Одобрена после рецензирования 02.08.2022

Approved after reviewing 02.08.2022

Принята к публикации 09.08.2022

Accepted for publication 09.08.2022

---