УДК 624.156.8

© В. В. Верстов, д-р техн. наук, профессор
© А. Н. Гайдо, канд. техн. наук, доцент
© Я. А. Туркевич, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: sp@spbgasu.ru, gaidoan@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-5-84-93

© V. V. Verstov, Dr. Sci. Tech., Professor
© A. N. Gaydo, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
© Ya. A. Turkevich, post-graduate student
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: sp@spbgasu.ru, gaidoan@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ И ПАРАМЕТРОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ГРУНТА ПРИ ПОГРУЖЕНИИ ОПУСКНЫХ КОЛОДЦЕВ

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL SCHEMES AND PARAMETERS OF SOIL EXTRACTION AT SUBMERGING THE COFFERDAMS

Рассмотрены современные технологии погружения опускных колодцев глубиной свыше 15–30 м и диаметром от 30 м. Исследуются технологические параметры, обеспечивающие повышение производительности процесса извлечения грунта из полости колодца. Предложена технология транспортирования грунта на ленточных конвейерах, которые закрепляются через специальные консольные элементы на внутренней поверхности стен опускного колодца. Таким образом, последовательно устанавливают несколько ленточных конвейеров по восходящей спиральной траектории, по которой грунт экскаватором подается с забоя на поверхность грунта. По мере заглубления колодца производят установку последующих секций конвейеров.

Ключевые слова: фундаменты, подземные сооружения, опускной колодец, ленточный конвейер, земляные работы, транспортирование грунта.

The article considers some modern technologies of submerging cofferdams, with the depth exceeding 15 – 30 m and diameters over 30 m. The technological parameters providing the productivity improvement of soil extraction from the cofferdam are studied. The authors propose using the technology of soil transportation on belt conveyors fixed through special cantilever elements on the inner surface of the cofferdam walls. Sequentially, several belt conveyors get installed along an upward spiral path along which the soil is supplied from the bottom hole to the soil surface with the excavator. While the cofferdam is being submerged, subsequent sections of conveyors get installed.

Keywords: foundations, underground constructions, cofferdam, belt conveyor, excavation works, soil transportation.

В практике современного строительства постоянно возникают задачи сооружения подземных сооружений больших объемов. По назначению такие сооружения в основном служат для следующих целей:

- транспортные: автостоянки, паркинги и т. п.;
- промышленные;
- энергетические: комплексы ГЭС, АЭС, каменные шахты и т. п.;

- хранилища нефти, газа, радиоактивных отходов;
- общественные: торговые комплексы, склады, спортивные комплексы;
- инженерные: очистные и водозаборные сооружения и т. п.;
- специальные: подземные заводы, оборонные объекты;

- гражданские: заглубленные части жилых зданий.

При многоэтажном и высотном строительстве отличительной особенностью сооружений является передача значительных вертикальных и горизонтальных нагрузок на грунт основания, а также наличие развитой подземной части.

Кроме того, при устройстве фундаментов высотных и многоэтажных зданий следует решать проблемы устройства специальных ограждающих конструкций котлованов, глубина которых для этого типа сооружений может достигать 15–20 м [1–3]. Такие конструкции должны служить водогрунтонепроницаемой преградой при высоком уровне грунтовых вод, иметь достаточную жесткость для восприятия давления прилегающего массива грунта и временных нагрузок, возникающих от движения строительной техники, площадок складирования и т. п. При устройстве ограждений таких котлованов на строительных площадках с геологическим разрезом, характеризующимся наличием прослоек слабых пород, необходимо предусматривать специальные системы креплений для ограничения их горизонтальных перемещений в виде распорных конструкций, анкерных креплений, элементов перекрытий и т. п. [1–3].

Как уже было показано авторами статьи в предыдущих публикациях [4, 5], для указанных целей (устройства подземных сооружений в котлованах большого объема) эффективно применение опускных колодцев. Это решение имеет ряд преимуществ перед традиционными способами — применением монолитных стен в грунте, погружением стального шпунта и устройством касательных (секущих) свай в комбинации с различными системами крепления котлованов:

- качество ограждения можно проконтролировать до откопки котлована, так как бетонирование и армирование стен колодца производится на уровне дневной поверхности с применением современной переставной опалубки;

- за счет «арочного» эффекта круглой формы стен колодца отпадает необходимость в устройстве систем их крепления в виде распорных балок, монолитных перекрытий, грунтовых берм и т. п.;

- при производстве работ нет необходимости в применении крупногабаритных строительных

машин и вспомогательного оборудования — буровых машин, более двух монтажных кранов, заводов приготовления и регенерации бентонитового раствора и т. п.

Большой вклад в развитие и совершенствование этой технологии внесли ученые Ю. А. Александровский, А. Н. Алмазов, А. Н. Байцур, Ю. А. Березницкий, Б. И. Болячевский, А. К. Бугров, В. В. Верстов, Р. В. Воронкова, Т. А. Гарибина, Р. Даховски, В. А. Ильичев, Н. К. Коньков, В. В. Кочерженко, Р. М. Нарбут, Г. Ф. Ольшевский, Е. М. Перлей, Н. А. Перминов, А. Я. Серебро, М. И. Смородинова и др.

Кроме того, в мировой практике и особенно в Санкт-Петербурге и Ленинградской области накоплен опыт по погружению опускных колодцев больших объемов: строительство главных насосных станций очистных сооружений на острове Белая Мель в Финском заливе, в поселках Ольгино и Горелово. Диаметр колодцев соответственно составлял 50,7, 66,1 и 49,6 м, а глубина погружения — 53, 70 и 47 м при толщине стен 2,7–3,9 м [6–9].

В зарубежной практике также имеются реализованные технические решения строительства фундаментов зданий и сооружений устройством опускных колодцев в стесненных городских условиях [2, 11].

Для таких параметров подземных сооружений, где допускается применение опускных колодцев диаметром свыше 20 м и глубин погружения свыше 20–30 м, наиболее продолжительным технологическим процессом является этап извлечения грунта на поверхность из его полости. Традиционно для этих целей применяют следующие технологические приемы, элементы которых представлены на рис. 1¹ [12]:

- с применением средств гидромеханизации. Возможны три варианта рассматриваемого способа: разработка гидромониторами и транспортировка на поверхность земснарядами или грунтососами; то же с подъемом шлама на поверхность гидроэлеваторами; разработка экскаватором и выдача на поверхность средствами гидромеханизации (рис. 1, а);

¹ Приложение к СНиП 3.02.01–87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты». Ч. 2. М.: ЦНИИОМТП Госстроя СССР, 1987.

- с применением экскаватора обратная лопата с удлиненной стрелой, который устанавливают на поверхности грунта (рис. 1, б);
- при установке экскаваторов и бульдозеров внутри погружаемого колодца с подачей разра-

Рис. 1. Технологические схемы удаления грунта из полости опускного колодца: а — бадьей, установленной на кране; б — средствами гидромеханизации; в — грейфером, установленным на экскаваторе; 1 — стенка колодца; 2 — гидромонитор; 3 — пульпопровод; 4 — ножевая часть колодца; 5 — кран; 6 — бадья; 7 — экскаватор; 8 — грейфер на стреле экскаватора (с гидроприводом или канатный, вибрационный)

батываемого грунта в бадью и дальнейшим удалением его краном. При внутреннем диаметре колодца до 20 м используют экскаваторы с объемом ковша 0,25...0,4 м³, свыше 20 м — с объемом ковша 0,65...1,25 м³. В колодцах диаметром более 32 м работы ведут не менее чем двумя экскаваторами. Бульдозер используют для срезки и сброса грунта в отвалы для удобства погрузки его в саморазгружающиеся бадьи вместимостью от 2 до 5 м краном соответствующей грузоподъемности, поднимающим их на поверхность. Поднятый на поверхность грунт грузят в самосвалы и отвозят в отвал или для других целей (рис. 1, б);

- разработка и подъем грунта грейферами различного исполнения. Возможна следующая установка грейферов: механического или вибрационного на стреле крана; гидравлического на экскаваторе (рис. 1, в).

В табл. 1 представлена качественная характеристика преимуществ и недостатков указанных способов извлечения грунта.

Анализ представленных на рис. 1 схем и данных табл. 1 позволяет заключить, что все существующие технологические решения извлечения грунта из полости опускных колодцев больших диаметров не являются эффективными по критерию производительности, что значительно увеличивает сроки работ.

С учетом вышеизложенного следует важный практический вывод о необходимости разработки эффективных технологий удаления грунта из внутренней полости колодца.

В этой связи на основании анализа опыта строительства и патентной информации авторами разработана технология, решающая поставленные задачи в условиях погружения опускного колодца большого диаметра.

Известен традиционный способ, при котором грунт в забое в полости колодца разрабатывают малогабаритными экскаваторами и бульдозерами и подают в бадьи, которые перемещают из колодца на поверхность посредством монтажного крана [8]. В предлагаемом авторами способе грунт на забое удаляется при его подаче экскаваторами на систему ленточных конвейеров, которые предварительно устанавливают по восходящей винтовой цилиндрической внутренней поверхности колодца (рис. 2). Конвейеры монтируют на стенке колодца посредством сталь-

Таблица 1

Качественная характеристика технологий удаления грунта из полости опускного колодца

Наименование способа	Преимущества	Недостатки
Посредством гидромеханизации	Минимальный комплект оборудования	Ограничение в применении по грунтовым условиям
Бадьями, установленными на крюке крана	Применение традиционного комплекта строительных машин	Требуется применение крана с большим вылетом стрелы — башенного и т. п.; ограничение в производительности
Грейферами, установленными на кране или стреле экскаватора	Минимальный комплект оборудования на забое в полости колодца	Ограничение по глубине копания грунта для грейфера, установленного на экскаваторе. Небольшая производительность работ механическим грейфером

Рис. 2. План-схема организации работ: 1 — стена опускного колодца; 2 — наклонные ленточные конвейеры; 3 — экскаватор или автопогрузчик на уровне забоя в полости колодца; 4 — элементы крепления в виде консолей с анкерами; 5 — автосамосвал при вывозе грунта на поверхности; 6 — горизонтальный конвейер на верхнем торце колодца

ных консолей, которые в свою очередь крепят в теле колодца на «химических» анкерах (рис. 3). На уровне поверхности грунта необходимо выполнить приемную эстакаду, которую перемещают по мере погружения колодца в направлении установки наклонных конвейеров. При этом эстакаду оснащают горизонтальным конвейером, который будет перемещать и удалять из колодца грунт в автотранспорт на вывоз.

Предлагаемая авторами технология для погружения колодца в монолитном исполнении реализуется следующим образом. Готовят осно-

вание: под его ножевую часть устанавливают опалубку и выполняют ее бетонирование. При необходимости бетонирование ведут в несъемной опалубке. При этом оставляют арматурные выпуски для соединения с арматурой основных стен колодца. Затем устанавливают опалубку для бетонирования первого яруса стен колодца. Его высоту определяют из условия обеспечения допустимого удельного давления на грунт под ножевой частью. Практически колодцы высотой свыше 10 м бетонировуют в несколько ярусов

Рис. 3. Схема крепления конвейера к стенам колодца (поперечный разрез): 1 — бетонная стена колодца; 2 — шкив; 3 — лента конвейера на приводном барабане; 4 — мотор-редуктор; 5 — рама конвейера из швеллеров; 6–8 — соответственно стальные элементы Т-образной опорной консоли: горизонтальная опорная пластина (1100×400×20 мм), косынка (1000×400×20 мм), вертикальная пластина (400×400×20 мм); 9 — анкерные элементы крепления консоли в стене колодца

высотой 6...8 м. Укладку бетона очередного яруса производят после набора бетоном ножевой части (предыдущего яруса) прочности не менее 1,2...1,5 МПа. Демонтаж опалубки выполняют после набора прочности бетоном каждого яруса в 70 % расчетной прочности². Далее приступают к монтажу наклонных конвейеров в пределах высоты выполненного яруса.

В первую очередь монтируют стартовый конвейер на уровне поверхности грунта, в который будет выполняться выгрузка грунта экскаватором или автопогрузчиком. При этом раму конвейера, на которой установлены основные его компоненты (транспортная лента, мотор-редуктор, приводной и натяжной барабаны, роликоопоры), крепят на стенах опускного колодца через консольные опоры посредством химических анкеров. При необходимости для удобства погрузки грунта на ленту конвейера над ним устанавливают приемный бункер. Таким образом, по восходящей винтовой траектории на внутренней стенке колодца последовательно крепят ленточные конвейеры вплоть до достижения уровня его верхнего торца. Причем каждая последующая крайняя поверхность ленты в месте установки приводного барабана должна находиться под краем ранее установленной ленты конвейера в месте установки натяжительного барабана. Этим обеспечивается перемещение грунта с одной ленты на другую и его восходящее перемещение до уровня выгрузки на поверхности грунта (рис. 4).

В части обоснования практической возможности реализации элементов предлагаемой технологии следует отметить опыт возведения подземных сооружений по технологии «сверху вниз», при которой грунт через технологические окна в подземных перекрытиях подавался на поверхность посредством отдельно стоящих ленточных конвейеров. Накоплен положительный опыт производства таких работ в условиях грунтов, характерных для Санкт-Петербурга, например при устройстве торгового комплекса «Стокманн» на ул. Восстания, строительстве второй сцены Мариинского театра на ул. Декабристов и т. п. [3].

Вся система последовательно движущихся лент конвейеров будет транспортировать грунт до уровня верхнего торца колодца, в котором устанавливают узел удаления грунта за пределы внутренней полости колодца и его погрузки в автотранспорт на вывоз для последующей утилизации. Этот узел устраивают следующим образом.

В крайней точке работы ленты наклонного конвейера (оси натяжительного барабана) непосредственно под лентой устанавливают горизонтальный ленточный конвейер, по которому грунт будет удаляться за пределы погружаемого колодца. Для этого необходимо в стенке колодца выполнить соответствующий сквозной технологический прямоугольный проем, который по ширине позволит установить конвейер, а по высоте будет достаточным для размещения барабана конвейера и перемещения грунта на его ленте. Это условие будут обеспечивать следующие минимальные габариты проема: 1200 × 700 мм. Его выполняют при бетонировании яруса стен колодца и герметично заделывают до момента полного погружения выполненного яруса ниже уровня поверхности грунта (рис. 4, б).

При этом за контуром стен колодца возможны следующие схемы установки горизонтального конвейера и вывоза с него грунта. По первой схеме конвейер устанавливают на раму из инвентарных стоек опалубочной системы, и по мере погружения опускного колодца постепенно демонтируют ее секции. Таким образом обеспечивают постепенное понижение рабочего уровня горизонтального конвейера, синхронно с погружением технологического проема по мере опускания конструкции. Причем грунт с ленты при установке горизонтального конвейера на верхнем уровне поступает непосредственно в кузов автомобильного транспорта. При понижении уровня работы этого конвейера к поверхности грунта порода с его ленты самовыгружается и далее экскаватором подается в автотранспорт (рис. 4, в).

По второй схеме грунт подается из технологического окна посредством Z-образного трансформируемого конвейера отечественного производства (типа «Кобра»), состоящего из двух горизонтальных и соединяющего их наклонного

² Приложение к СНиП 3.02.01–87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты». Ч. 2. М.: ЦНИИОМТП Госстроя СССР, 1987.

Рис. 4. Технологическая схема погружения опускного колодца (поперечные разрезы): а — бетонирование ножевой части, конструкция которой условно не показана, и стен первого яруса колодца; б — монтаж наклонных конвейеров на стенах колодца; в, г — соответственно погружение колодца при разработке грунта на забое экскаватором с удалением за пределы колодца по горизонтальному или по трансформируемому сегментному конвейеру (типа «Кобра»); д — погружение колодца на глубину первого яруса, подготовка к бетонированию стен второго яруса, герметизация технологического окна; 1 — стены колодца; 2 — опалубка; 3 — наклонные конвейеры, монтируемые на внутренних стенах колодца; 4 — сквозной технологический прямоугольный проем для удаления грунта; 5 — приемный желоб для подачи грунта; 6 — экскаватор (автопогрузчик) на забое; 7 — горизонтальный конвейер; 8 — опускаемая удерживающая конструкция; 9 — желоб для подачи грунта в автотранспорт 10; 11 — трансформируемый сегментный конвейер (типа «Кобра»); 12 — экскаватор или автопогрузчик для подачи грунта в автотранспорт на вывоз

сегмента³. Причем первый горизонтальный сегмент устанавливается в технологический проем в стенке колодца под наклонный конвейер, а со второго порога из колодца поступает на уровень грунта и далее экскаватором подается в кавальеры или в автотранспорт. По мере погружения

³ http://www.stroymehnika.ru/lkonv_lkk.php.

колодца и понижения уровня положения технологического проема конвейер трансформируют таким образом, чтобы обеспечить соответствующее положение его двух горизонтальных сегментов (рис. 4, г).

Таким образом, после установки всех конвейеров по указанной схеме в пределах первого

яруса во внутренней полости колодца приступают к разработке грунта, удаляемого посредством работы ленточных конвейеров. Погружение колодца начинают по достижении бетоном стен не менее 70 % расчетной прочности. Грунт разрабатывают в следующей последовательности: первоначально — в средней части колодца на глубину 1,5...4 м (в зависимости от размера колодца), оставляя вблизи ножа берму шириной 1...3 м; далее, уточнив места и размеры фиксированных зон, производят послойную (10...15 см) резку грунта бермы на участках между фиксированными зонами (момент начала погружения колодца). Если после полной разработки этих участков бермы (до уровня банкетки ножа) колодец не опускается, то начинают разработку грунта фиксированных зон. При первых подвижках колодца переходят к разработке грунта в средней части и т. д. Кроме того, необходимо при подаче грунта обеспечить синхронный пуск и работу всех установленных на стенке колодца конвейеров, чтобы обеспечить непрерывность удаления породы из полости колодца. Величина заглубления колодца за один цикл погружения не должна превышать 0,5 м. При погружении колодца на глубину первого яруса герметично заделывают бетоном технологические проемы.

Далее технологический цикл наращивания стен, разработки, удаления грунта и заглубления колодца повторяют до момента погружения колодца на проектную глубину. По завершении работ все конвейеры демонтируют с подмостей или навесных люлек, установленных в пределах высоты конструкции.

Для практической реализации предлагаемой технологии при разработке проекта производства работ необходимо выполнить расчет необходимого количества ленточных конвейеров и определить эффективные технологические параметры их работы.

При этом количество наклонных конвейеров следует определить на основании расчета траектории их установки — длины винтовой линии в пределах глубины погружения колодца. Ее рассчитывают по следующей известной зависимости:

$$L = N \cdot 2\pi \sqrt{R^2 + \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2}, \quad (1)$$

где N — число витков винтовой линии в пределах глубины колодца H ; R — внутренний радиус колодца; h — шаг винтовой линии или восходящей траектории установки конвейеров.

Шаг винтовой линии определяется углом подъема винтовой линии или углом наклона конвейеров φ с учетом следующей формулы:

$$h = (\operatorname{tg} \varphi) 2\pi R. \quad (2)$$

Число витков винтовой линии равно:

$$N = H/h = H/((\operatorname{tg} \varphi) 2\pi R). \quad (3)$$

С учетом указанных зависимостей формулу (1) можно представить в виде

$$L = \frac{H}{\operatorname{tg} \varphi \cdot R} \sqrt{R^2 + (\operatorname{tg} \varphi \cdot R)^2} = \frac{H}{\operatorname{tg} \varphi} \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi}}. \quad (4)$$

Таким образом, требуемое количество конвейеров можно определить, задавшись их размерами с учетом длины траектории их установки, рассчитанной по формуле (4), и величины необходимого нахлеста в плановом положении, обеспечивающего переброс грунта между смежными лентами конвейеров.

Длину единичного конвейера следует устанавливать таким образом, чтобы в пространстве внутренней полости колодца, ограниченной гранями конвейеров, установленных по его стене, обеспечивались размещение и работа землеройных машин. В первом приближении длину наклонного конвейера рекомендуем принять 6 м.

Угол наклона конвейеров определяют на основании рекомендаций Пособия к СНиП 2.05.07–85 «Пособие по проектированию конвейерного транспорта. Ленточные конвейеры», который при перемещении влажных глинистых грунтов составляет 24° . Возможно изготовление лент конвейеров с профилем в виде желобов, повышающих сцепление породы с лентой, при этом угол наклона конвейера может быть увеличен до 35° [13, 14]. Указанный параметр следует установить при опытной подаче грунта по ленте конвейера.

Для расчета производительности представленной системы следует принять технологические показатели конвейеров, производимых отечественными заводами, представленные в табл. 2 и 3, и уточнить их значения расчетами по методикам, представленным в указанном выше документе, с учетом ширины, типа, скорости движения транспортной ленты, угла наклона

Таблица 2

Технические параметры ленточных конвейеров, выпускаемых отечественными производителями

Наименование показателя, размерность	Значение
Ширина ленты, мм	300, 400, 500, 650, 800, 1000
Длина конвейера между осями барабанов, мм	От 1000 до 100 000
Диаметр барабанов, мм	От 273
Скорость движения ленты, м/с	От 0,2 до 2
Шаг роlikоопор несущей (рабочей) ветки, мм	От 250 до 1400
Мощность электродвигателя, кВт	От 1,5 до 30
Напряжение питания, В	380

Таблица 3

Максимальная производительность ленточных конвейеров

Ширина ленты конвейера, мм	Производительность конвейера, т/ч
300–400	До 40–60
500–650	До 100–200
650–800–1000	До 200–300–400

конвейера, а также физико-механических характеристик перемещаемого грунта.

С учетом представленного материала следует практически важный вывод об актуальности вопросов проектирования и строительства заглубленных конструкций фундаментов зданий и сооружений, выполняемых по технологии опускного колодца. Такие решения по сравнению с традиционно применяемыми в настоящее время различными монолитными стенами в грунте имеют преимущества в виде гарантированного качества ограждающих конструкций, возводимых на поверхности грунта. Кроме того, исключается необходимость в устройстве систем крепления стен от горизонтальных смещений в виде балок, грунтовых берм и анкеров и т. п.

Для достижения высоких технико-экономических показателей процесса авторами статьи предложена технология непрерывного транспортирования грунта из внутренней полости колодца при его заглублении посредством

экскаваторов (автопогрузчиков) и ленточных конвейеров. В отличие от традиционно применяемой технологической схемы удаления грунта бадьями краном или грейферными ковшами, которые имеют существенные ограничения в производительности, авторы предлагают по внутренней поверхности стен колодца устанавливать по восходящей траектории наклонные конвейеры, по которым в автоматическом (непрерывном) режиме грунт будет удаляться на поверхность, причем за пределы контура колодца его перемещают специально установленным горизонтальным ленточным конвейером.

Указанная система конвейеров будет наращиваться по мере заглубления колодца в грунт на расчетную глубину. Такое решение позволяет существенно повысить производительность работ в части удаления грунта без применения крупногабаритных строительных машин (башенных кранов, грейферов и т. п.). Предложены методика по определению необходимого количества таких конвейеров отечественного изготовления, схемы их установки на стенке колодца и способ определения их производительности. Кроме того, новое технологическое решение увеличивает вес погружаемой конструкции за счет веса перемещаемой породы, что обеспечивает лучшие показатели заглубления колодца за счет преодоления сил трения по грунту.

Библиографический список

1. Верстов В. В., Гайдо А. Н., Иванов Я. В. Технологии устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий. СПб.: Лань, 2014. 368 с.
2. Шулятьев О. А. Основания и фундаменты высотных зданий. М.: АСВ, 2018. 392 с.
3. Мангушев Р. А., Осокин А. И., Сотников С. Н. Геотехника Санкт-Петербурга. Опыт строительства на слабых грунтах. М.: АСВ, 2018. 386 с.
4. Пат. 2491387 Российская Федерация, МПК7 E02D 29/00. Способ возведения заглубленных сооружений и подземных конструкций зданий / В. В. Верстов, А. Н. Гайдо, А. А. Мотовилова; № 2012107729/03; заявл. 29.02.2012; опубл. 27.08.2013.
5. Гайдо А. Н. Совершенствование технологий погружения опускных колодцев в условиях городской застройки // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2015. № 4 (871). С. 27–32.

6. Даховски Р. Систематизация конструктивно-технологических мероприятий, направленных на совершенствование способа опускного колодца в стесненных условиях. СПб.: СПбГАСУ, 2005. 60 с.

7. Верстов В. В., Даховский Р. Результаты исследований технологических параметров устройства опускных колодцев в стесненных условиях городской застройки // Вестник гражданских инженеров. 2006. № 1 (6). С. 58–61.

8. Ананьев А. А. Особенности проектирования опускных колодцев в грунтовых условиях Санкт-Петербурга // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 5. С. 55–61.

9. Федотов В. А., Алмазов А. Н., Шашков В. А. Исследование технологии погружения и напряженно-деформированного состояния опускного колодца диаметром 66 м, глубиной 68 м при строительстве в грунтовых условиях Ленинграда // Сб. науч. тр. «Технология и оборудование для специальных строительных работ». Л.: ВНИИГС, 1983. С. 38–45.

10. Перлей Е. М., Раюк В. Ф., Раюк В. В., Алмазов А. Н. Свайные фундаменты и заглубленные сооружения при реконструкции действующих предприятий. Л.: Стройиздат, 1989. 176 с.

11. Бут А. Н., Виноградов А. Б., Данилов М. Н. Исследование напряженно-деформируемого состояния железобетонных конструкций подземного паркинга, возводимого по технологии «опускной колодец» // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 2 (65). С. 53–64.

12. Кочерженко В. В., Погорелов И. А., Сулейманов А. Г. Исследование влияния технологических факторов на надежность процесса погружения опускных колодцев // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Белгородский гос. технол. ун-т им. В. Г. Шухова. 2017. С. 102–114.

13. Лапаев В. Н., Терешина М. А., Соколовская О. А. Эффективность применения крутонаклонных конвейеров на угольных разрезах // Рудник будущего. 2010. № 2. С. 75–77.

14. Позынич К. П., Костюченко А. Г., Васильченко Ф. А. Крутонаклонные ленточные конвейеры для доставки горной массы из глубоких карьеров // «Студент года 2017». Сборник статей II Междунар. науч.-практ. конкурса. Пенза: Наука и Просвещение, 2017. С. 72–76.

References

1. Verstov V. V., Gaydo A. N., Ivanov Ya. V. *Tekhnologii ustroystva ograzhdeniy kotlovanov v usloviyakh gorodskoy zastroyki i akvatorii* [Technology of building the shoring of

excavations in urban areas and water areas]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2014, 368 p.

2. Shulyat'ev O. A. *Osnovaniya i fundamenty vysotnykh zdaniy* [Bases and foundations of high rise buildings]. Moscow, ASV Publ., 2018, 392 p.

3. Mangushev R. A., Osokin A. I., Sotnikov S. N. *Geotekhnika Sankt-Peterburga. Opyt stroitel'stva na slabykh gruntakh* [Geotechnical engineering of St. Petersburg. Experience in construction on weak soils]. Moscow, ASV Publ., 2018, 386 p.

4. Verstov V. V., Gaydo A. N., Motovilova A. A. *Sposob vozvedeniya zaglublennykh sooruzheniy i podzemnykh konstruktсий zdaniy* [The method of construction of buried structures and underground structures of buildings]. Patent RF no. 2491387, 2013.

5. Gaydo A. N. *Sovershenstvovanie tekhnologii pogruzeniya opusknykh kolodtsev v usloviyakh gorodskoy zastroyki* [Improving technology of submerging cofferdams in conditions of urban development]. *Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve – Installation and special works in construction*, 2015, no. 4 (871), pp. 27–32.

6. Dakhovski R. *Sistematizatsiya konstruktivno-tekhnologicheskikh meropriyatiy, napravlennykh na sovershenstvovanie sposoba opusknogo kolodtsa v stesnennykh usloviyakh* [Systematization of constructive and technological measures aimed at improving the method of lowering the well in cramped conditions]. St. Petersburg, SPSUACE Publ., 2005, 60 p.

7. Verstov V. V., Dakhovskiy R. *Rezultaty issledovaniy tekhnologicheskikh parametrov ustroystva opusknykh kolodets v stesnennykh usloviyakh gorodskoy zastroyki* [Results of investigation of technological parameters of the device caisson design in conditions of dense urban development]. *Vestnik grazhdesnikkh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2006, no. 1(6), pp. 58–61.

8. Anan'ev A. A. *Osobennosti proektirovaniya opusknykh kolodets v gruntov usloviyakh Sankt-Peterburga* [Features of designing submerging cofferdams in soil in conditions of Saint-Petersburg]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil construction*, 2016, no. 5, pp. 55–61.

9. Fedotov V. A., Almazov A. N., Shashkov V. A. *Issledovanie tekhnologii pogruzeniya i napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya opusknogo kolodtsa diametrom 66 m, glubinoi 68 m pri stroitel'stve v gruntovykh usloviyakh Leningrada* [Study of the submerging technology and stress-strain state of cofferdams with diameter of 66 m, depth of 68 m at construction in Leningrad soil conditions]. *Sb. nauch. tr. «Tekhnologiya i oborudovanie dlya spetsial'nykh stroitel'nykh rabot»* [Coll. of sci. works "Technology and "Technology and equipment for special construction works"]. Leningrad, VNIIGS Publ., 1983, pp. 38–45.

10. Perley E. M., Rayuk V. F., Rayuk V. V., Almazov A. N. *Svaynye fundamenty i zaglublennye sooruzheniya pri rekonstruktsii deystvuyushchikh predpriyatiy* [Pile foundations and buried structures in the reconstruction of existing enterprises]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1989, 176 p.
11. But A. N., Vinogradov A. B., Danilov M. N. *Issledovanie napryazhenno-deformiruemogo sostoyaniya zhelezobetonnykh konstruktsiy podzemnogo parkinga, vozvodimogo po tekhnologii «opusknoy kolodets»* [Study of the stress-strain state of underground reinforced concrete structures erected on the technology of submerging cofferdams]. *Trudy Novosibirskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* [Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Construction]. Novosibirsk, 2017, no. 2 (65), pp. 53–64.
12. Kocherzhenko V. V., Pogorelov I. A., Suleymanov A. G. *Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh faktorov na nadezhnost' protsessa pogruzheniya opusknykh kolodtsev* [Research of the technological factors influence on the reliability of the process of cofferdams' submerging]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V. G. Shukhova* [Proc. of the International scientific and practical conference, Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov]. Belgorod, 2017, pp. 102–114.
13. Lapaev V. N., Tereshina M. A., Sokolovskaya O. A. *Ehffektivnost' primeneniya krutonaklonnykh konveyerov na ugol'nykh razrezakh* [Efficiency of application of steeply inclined conveyors in coal mines]. *Rudnik budushchego – Mine of the future*, 2010, no. 2, pp. 75–77.
14. Pozynich K. P., Kostyuchenko A. G., Vasilchenko F. A. *Krutonaklonnye lentochnye konveyery dlya dostavki gornoy massy iz glubokikh kar'erov* [Steeply inclined belt conveyors to deliver the rock mass out of deep pits]. *Sb. nauch.tr. «Student goda 2017. Sbornik statey II Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo konkursa* [Coll. of sci. works "Student of the year 2017". Collection of articles of the II Int. sci. – pract. seminar]. Penza, Nauka i prosveshchenie Publ., 2017, pp. 72–76.