

Для цитирования: Жуков К. Ю., Левченко А.А., Поцепня К.Н. Оценка эффективности применения дополнительных удерживающих устройств для повышения устойчивости шпунтовых свай, изготовленных из поливинилхлорида. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46 (1): 160-168. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-1-160-168

For citation: Zhukov K. Y., Levchenko A. A., Potsepnya K. N. Assessment of the efficiency of the use of additional holding devices to improve the stability of sheet piles made of polyvinylchloride. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (1): 160-168. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-1-160-168

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК: 539.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-1-160-168

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УДЕРЖИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ШПУНТОВЫХ СВАЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Жуков К.Ю.¹, Левченко А.А.², Поцепня К.Н.³

¹ООО «Таежный Кислород»,

¹660093, г. Красноярск, ул. Академика Вавилова, 2, Россия,

^{2,3}ГК «ТехПолимер»,

^{2,3}660016, г. Красноярск ул. Матросова, 10Д, Россия,

¹e-mail: kirillsiber@yandex.ru, ²e-mail:nastyshka_l@mail.ru, ³e-mail hueberq@mail.ru

Резюме. Цель. В данной статье рассматриваются варианты дополнительных удерживающих устройств для подпорных конструкций, изготовленных из полимерных шпунтов. Вопрос повышения устойчивости полимерных шпунтовых свай играет одну из ключевых ролей в проектировании и строительстве сооружений с применением данного вида материала. В статье приведено сравнение двух вариантов удерживающих устройств и сравнение их с неукрепленным вариантом на примере выемки одинаковой глубины. **Метод.** Расчеты проводятся методами Кулона-Мора, реализованными в программном комплексе GEO5 модуль «Ограждение котлованов – анализ». **Результат.** Полученные расчеты показали возможность применения обоих типов удерживающих устройств в подпорных конструкциях из полимерных шпунтов. **Вывод.** Расчеты показали эффективность обоих методов при их использовании в качестве дополнительных удерживающих устройств для подпорных конструкций с использованием поливинилхлоридных шпунтов. Вариант с установкой опорной трубы позволяет несколько снизить деформацию шпунтовой конструкции, но при этом у него отсутствует возможность регулировки вертикального положения стенки, которая присутствует в варианте с анкерной системой за счет приваривания резьбовых шпилек к концам металлических тяг, либо использования талрепов.

Ключевые слова: шпунт, поливинилхлорид, подпорные стены, повышение устойчивости

BUILDING AND ARCHITECTURE

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF THE USE OF ADDITIONAL HOLDING DEVICES TO IMPROVE THE STABILITY OF SHEET PILES MADE OF POLYVINYLCHLORIDE

*Kirill Y. Zhukov*¹, *Anastasia A. Levchenko*², *Kirill N. Potsepnaya*³

¹LLC Taiga Oxygen,

^{1,2}Academician Vavilov Str., Krasnoyarsk 660093, Russia,

^{2,3}GC «TehPolimer»,

^{2,3}10D Matrosova Str., Krasnoyarsk 660016, Russia,

¹e-mail: kirillsiber@yandex.ru, ²e-mail: nastyshka_1@mail.ru, ³e-mail: hueberq@mail.ru

Abstract Objectives. This article discusses options for additional restraints for support structures made from polymer dowels. The issue of increasing the stability of polymer sheet piles plays a key role in the design and construction of facilities using this type of material. The article compares two variants of the restraining devices and compares them with the non-reinforced version using the example of a notch of the same depth. **Methods.** The calculations are carried out by the Coulomb-Mohr methods implemented in the GEO5 software package module "Pit Fencing - Analysis. **Result.** The obtained calculations showed the possibility of using both types of restraints in retaining structures made of polymer dowels. **Conclusion.** Calculations have shown the effectiveness of both methods in their use as additional restraints for supporting structures using PVC dowels. The variant with the installation of the support pipe allows to slightly reduce the deformation of the sheet pile structure, but it does not have the ability to adjust the vertical position of the wall, which is present in the variant with the anchor system by welding the threaded rods to the ends of the metal braces or using talreeps.

Keywords: sheet piling, PVC, retaining walls, increasing stability

Введение. Подпорные конструкции на основе полимерных шпунтовых свай на сегодняшний день являются одной из наиболее перспективных технологий. Использование шпунтов, изготовленных из поливинилхлорида, началось в начале 60-х годов 20 века в США. Основными преимуществами использования полимерных шпунтов, по сравнению с металлическим шпунтом Л5, являются:

1. Удельный вес 1 м^2 в 2.8 раза меньше;
2. Стоимость 1 м^2 в 3.5-4 раза ниже;
3. Полная стойкость к коррозии.

К недостаткам следует отнести более низкую несущую способность.

Постановка задачи. Для компенсации этого недостатка следует предусматривать дополнительные удерживающие устройства (анкерные системы, опорные конструкции, и т.п.), которые принимают на себя основные нагрузки от грунта и позволяют осуществлять устройство подпорных конструкций большой высоты.

Методы исследования. Объектом исследования принята подпорная конструкция с высотой консоли 3,5 м. (рис. 1, 2).

В статье рассмотрены два варианта дополнительных удерживающих устройств для шпунтовых конструкций.

1. Анкерные системы, представляющие из себя гибкие тяги, соединяющие шпунтовую стену через распределительный пояс к якорям, погруженным в грунт на расстоянии от стены.
2. Анкерные трубы, располагаемые непосредственно перед, либо, за поверхностью шпунта, физико-механические характеристики которого, представлены в табл. 1.

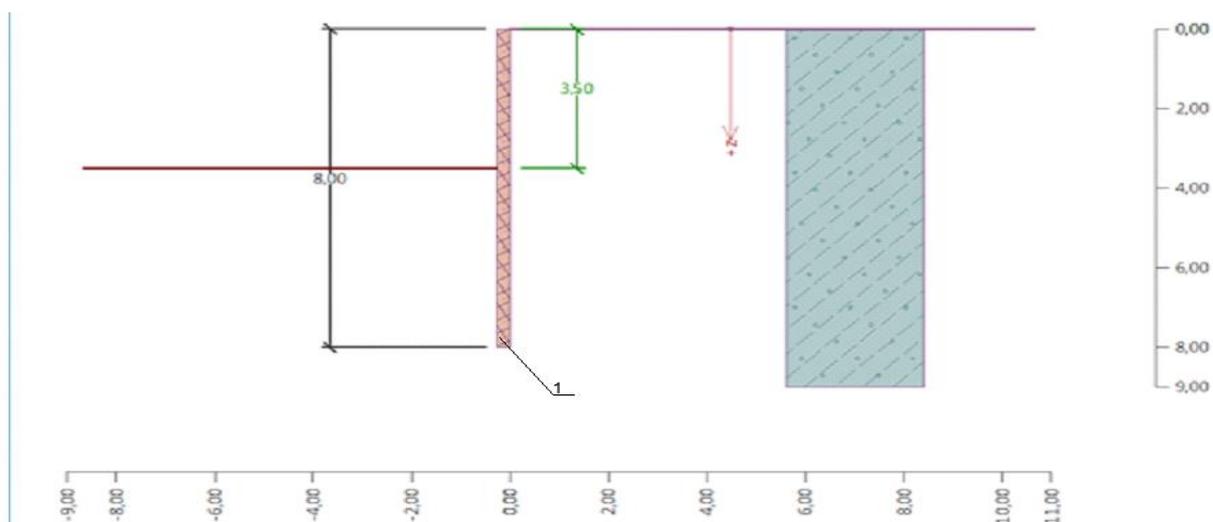


Рис. 1. Расчетная схема конструкции шпунтовой подпорной стенки
 Fig. 1. Design scheme for sheet pile retaining wall

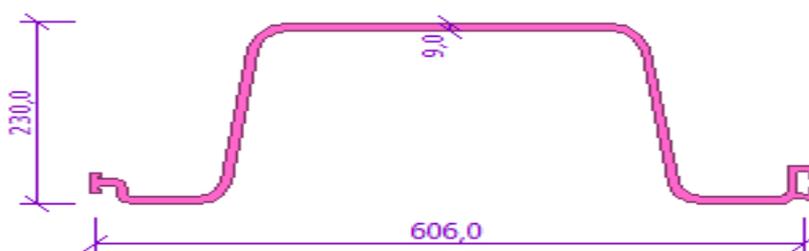


Рис. 2. Поперечное сечение полимерного шпунта
 Fig. 2. Cross section of polymer sheet pile

Таблица 1. Физико-механические характеристики полимерного шпунта
 Table 1. Physico-mechanical characteristics of the polymer sheet pile

Показатель Indicator	Значение Value
Площадь сечения, м ² Section area, m ²	9471 * 10 ⁻²
Модуль упругости, МПа Modulus of elasticity, MPa	2600
Модуль Гука, МПа Hooke's module, MPa	1653
Момент сопротивления сечения, см ³ The moment of resistance of the section, cm ³	1014
Максимально допустимый момент, кН*м Maximum allowable moment, kN * m	23,68
Максимально допустимое значение поперечной силы, кН Maximum allowable value of shear force, kN	23,65

В качестве грунта был принят суглинок полутвердый со следующими физико-механическими характеристиками (табл.2):

Таблица 2. Физико-механические характеристики грунта
 Table 2. Physical and mechanical characteristics of the soil

Показатель Indicator	Значение Value
Удельный вес, кН/м ³ Specific weight, kN / m ³	18,00
Удельное сцепление, кПа Specific grip, kPa	15,00
Угол внутреннего трения, град Angle of internal friction, hail	25,00

Расчеты проведены в программном комплексе GEO5 модуль «Ограждение котлованов – анализ».

В качестве методики определения активного и пассивного воздействия грунта применяется теория Кулона-Мора согласно [1].

Анализ устойчивости шпунтовой конструкции включает в себя:

1. Определение деформации конструкции;
2. Определение экстремумов поперечных сил и моментов.

Максимально допустимое отклонение верхней кромки шпунта определяется в соответствии с ОДМ 218.2.092-2018.

$$\Delta = 0.01 * h \quad (1)$$

где h- полная длина шпунта.

При полной длине шпунта 8500мм допустимое отклонение составляет 8.5мм.

Обсуждение результатов. Расчет устойчивости шпунтовой конструкции. В качестве эталона был принят вариант без дополнительного укрепления для последующего сравнения с ним укрепленных конструкций (рис. 3).

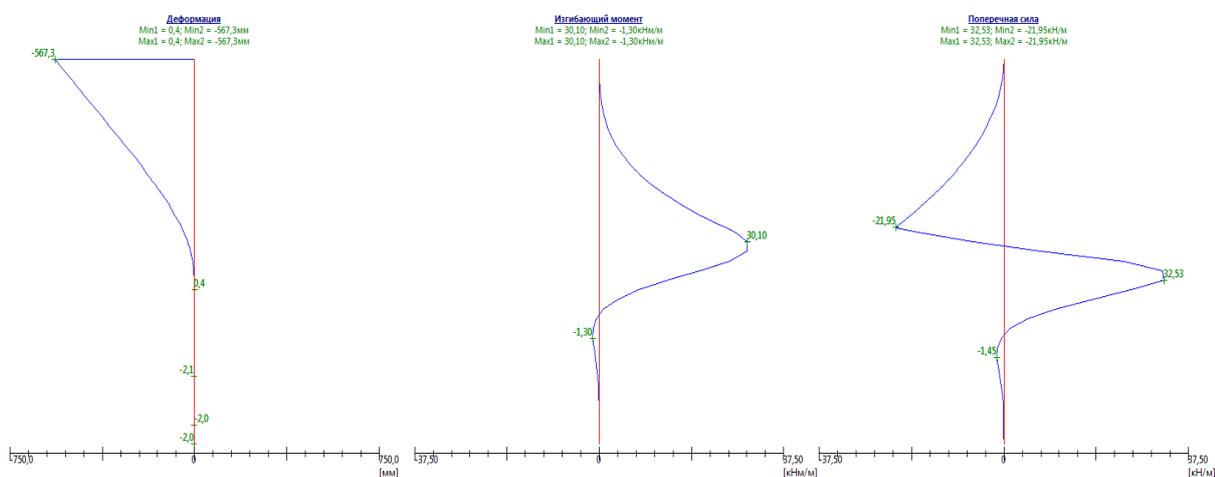


Рис. 3. Эпюры деформации, изгибающего момента и поперечной силы без удерживающих устройств

Fig. 3. Diagrams of deformation, bending moment and shear force without holding devices

Таблица 3. Результаты расчета неукрепленной конструкции

Table 3. The results of the calculation of unfortified structure

Показатель Indicator	Значение Value
Отклонение, мм Deviation, mm	567,3 > 8,5
Изгибающий момент, кН*м Bending moment, kN * m	30,1 > 23,68
Поперечная сила, кН Shear force, kN	32,53 > 23,65

Так как полученное значение отклонения существенно превышает допустимое, необходимо применение дополнительных удерживающих устройств.

Моделирование вариантов удерживающих устройств в модуле «Ограждение котлованов-анализ» осуществляется путем добавления опоры с заданными степенями свободы (рис.4-9).

В случае варианта с гибкими тягами добавляется опора с возможностью поворота, но жестко закрепленная от смещения. В случае опоры непосредственно за стенкой, происходит жёсткое защемление опоры. Отметка погружения и шаг опор в обоих случаях одинаковы.

Таблица 4. Результаты расчета конструкции с анкерной системой

Table 4. The results of the design calculation with anchor system

Показатель Indicator	Значение Value
Отклонение, мм Deviation, mm	7,4 < 8,5
Изгибающий момент, кН*м Bending moment, kN * m	4,61 < 23,68
Поперечная сила, кН Shear force, kN	10,57 < 23,65

Сравнивая полученные значения с допустимыми (табл.4), делаем вывод, что конструкция устойчива.

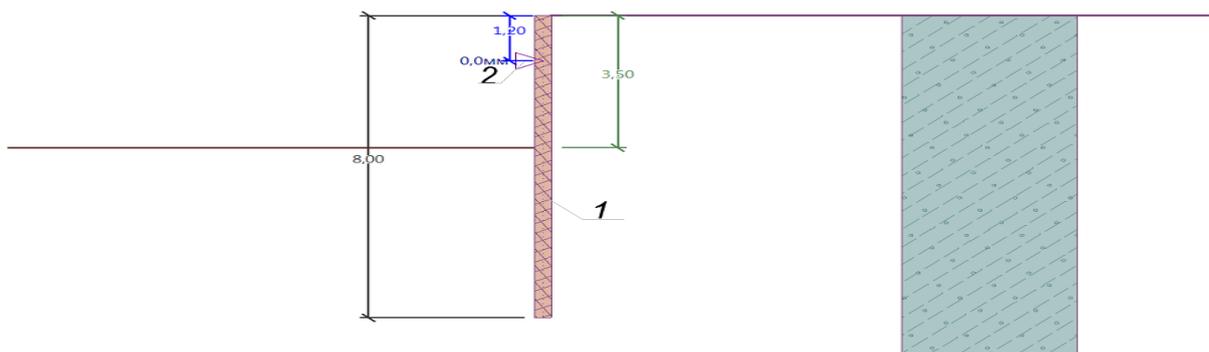


Рис. 7. Расчетная схема конструкции шпунтовой подпорной стенки с опорной трубой
Fig. 7. Design scheme for sheet pile retaining wall with support pipe

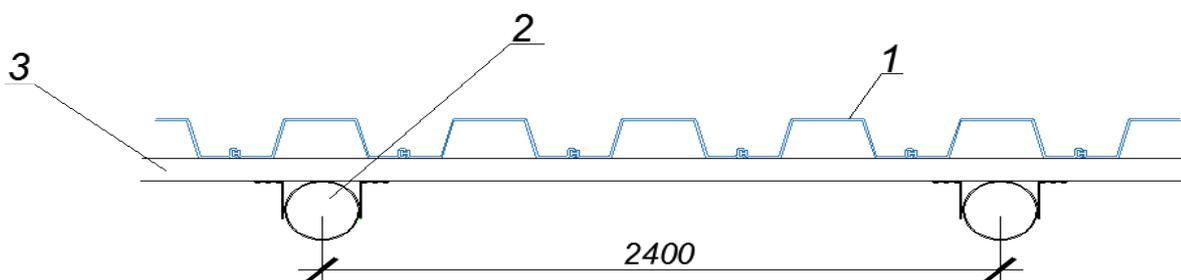


Рис. 8. Конструкция шпунтовой подпорной стенки с опорной трубой
Fig. 8. The construction of sheet pile retaining wall with support pipe

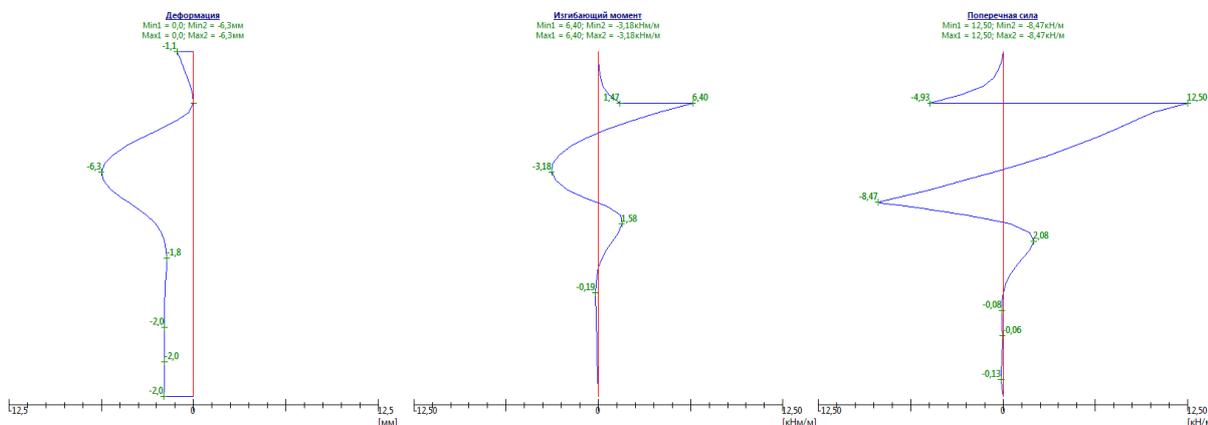


Рис. 9. Эпюры деформации, изгибающего момента и поперечной силы с опорной трубой в качестве жесткой опоры

Fig. 9. Diagrams of deformation, bending moment and shear force with a support pipe as a rigid support

Таблица 5. Результаты расчета конструкции с опорной трубой

Table 5. The results of the design calculation with the support pipe

Показатель Indicator	Значение Value
Отклонение, мм Deviation, mm	6,3 < 8,5
Изгибающий момент, кН*м Bending moment, kN * m	6,40 < 23,68
Поперечная сила, кН Shear force, kN	12,50 < 23,65

Обсуждение результатов. Расчеты (табл. 3-5) показали эффективность обоих методов при их использовании в качестве дополнительных удерживающих устройств для подпорных конструкций с использованием поливинилхлоридных шпунтов.

Вариант с установкой опорной трубы позволяет несколько снизить деформацию шпунтовой конструкции, но при этом у него отсутствует возможность регулировки вертикального положения стенки, которая присутствует в варианте с анкерной системой за счет приваривания резьбовых шпилек к концам металлических тяг, либо использования талрепов.

Вывод. Выбор типа удерживающей конструкции необходимо делать в зависимости от наличия свободного пространства, материалов и пожеланий заказчика.

Библиографический список:

1. Алексеев С.И., Хисамов Р.Р. Трение грунта о вертикальную стенку и его влияние на работу основания в шпунтовой обойме// Общетехнические задачи и пути их решения, 2014, №4. стр. 79-87.
2. Конюхов Д.С., Свиридов А.И, Расчет технологических деформаций существующих зданий в процессе изготовления ограждающих конструкций котлованов// Вестник МГСУ, 2011, №5. – стр. 99-103.
3. Корчагин Е.А., Вишняков И.Н. Зависимость характеристик больверков от метода расчета// Вестник МГСУ, 2010, №4. стр. 198-201.
4. Кириллов В.М., Романов П.Л. Сравнение отечественных и европейских методик расчета больверков// Журнал университета водных коммуникаций, 2008, №3. – стр. 190-193
5. Сливцев К.В. Натурные наблюдения за деформациями ограждающих конструкций опытного котлована и грунтового массива//Известия ПГУПС, 2008, №3. – стр. 249-258
6. Левачев С.Н., Халецкий В.С. Анкерные и якорные устройства в гидротехническом строительстве// Вестник МГСУ, 2010, №5. стр. 58-67
7. Серова Е.А., Чунюк Д.Ю. Качественный анализ составляющих геотехнического риска при строительстве подземных и заглубленных сооружений// Вестник МГСУ, 2010, №4. стр. 136-142
8. Мирсаяпов И.Т., Хасанов Р.Р. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния гибких ограждений с распоркой в процессе поэтапной разборки грунта// Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета, 2011, №2. стр. 129-135
9. Каюмов Р.А., Шакирзянов Ф.Р. Моделирование поведения и оценка несущей способности системы тонкостенная конструкция – грунт с учетом ползучести и деградации грунта// Ученые записки Казанского университета. Серия Физико-математические науки, 2011, №4. стр. 68-74
10. Раскутин А.Е. Российские полимерные композитные материалы нового поколения, их освоение и внедрение в перспективных разрабатываемых конструкциях// Авиационные материалы и технологии, 2017, №1. – стр. 349-366
11. Дмитриева К.В. Расчет жесткой стенки в упругой весомой полуплоскости// Наука и техника, 2016, №6. – стр. 493-503
12. Тищенко А.И., Чертов В.В. Новое решение анкеровки причальных стен типа “больверк”//Мелиорация и водное хозяйство. Современные проблемы мелиорации земель и пути их решения, 2013. – стр. 127-134
13. Vaars S.V. Design of sheet pile installation by vibration// Geotechnical and geological engineering, 2004, №3. – стр. 391-400
14. Ma J., Berggren B.S., Stille H., Hintze S. Deformation of anchor-sheet pile wall retaining system at deep excavations in soft soils overlying bedrock// Geotechnical special publication, 2010, - стр. 126-131
15. Верстов В.В., Филиппов Е.Н. Обоснование рациональных видов воздействий при погружении в грунт полимерного шпунта// Вестник гражданских инженеров, 2011, №4. – стр. 74-81
16. Клейн Г.К. Расчет подпорных стены// Ярославль, Главполиграфпром, 1964. – 196 стр.
17. Бухарцев В.Н., Волков Е.Н. Оценка устойчивости шпунтовых стен// Транспортное строительство, 2014, №8. – стр. 27-30
18. Рязанов В.С., Чесноков А.М. Влияние расположения анкера на определение рационального варианта шпунтовой стенки// Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия: Технологическая, 2013, №1. –стр. 407-412
19. Меньшиков Е.А., Румянцев И.А. Применение композитного шпунта в гидротехническом строительстве// Прочность, ползучесть и разрушение строительных и машиностроительных материалов и конструкций.

труды Международной молодежной научной конференции, посвящённой 55- летию РУДН, 2014, - стр. 184-190

20. Li Z.Y., Deng Z.W., Study of dynamic response rule of prestressed anchor sheet-pile wall// Yantuli xue, 2010, №2, - стр. 645-648

References:

1. Alekseev S.I., Hisamov R.R. Trenie grunta o vertikal'nyuyustenku i ego vliyaniye na rabotu osnovaniya v shpuntovoj obojme. Obshche tekhnicheskie zadachi i puti ih resheniya, 2014, №4. - str. 79-87. [Alekseev S.I., Hisamov R.R. Ground friction on the vertical wall and its influence on the work of the foundation in the sheet piling. General technical problems and their solutions 2014, №4. - p. 79-87 (in Russ.)]
2. Konyukhov D.S., Sviridov A.I. Raschet tekhnologicheskikh deformatsiy sushchestvuyushchih zdaniy v processe izgotovleniya ograždayushchih konstrukcij kotlovanov. Vestnik MGSU, 2011, №5. - str. 99-103. [Konyukhov D.S., Sviridov A.I. Calculation of technological deformations of existing buildings in the process of manufacturing walling pits. Vestnik MGSU, 2011, №5. - p. 99-103. (in Russ.)]
3. Korchagin E.A., Vishnyakov I.N. Zavisimost' harakteristik bol'verkov ot metod rascheta. Vestnik MGSU, 2010, №4. - str. 198-201 [Korchagin E.A., Vishnyakov I.N. The dependence of the characteristics of the bolwoks on the calculation method. Vestnik MGSU, 2010, №. 4. - p. 198-201 (in Russ.)]
4. Kirillov V.M., Romanov P.L. Sravneniye otechestvennykh i yevropeyskikh metodik rascheta bol'verkov// Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy, 2008, №3. str. 190-193 [Kirillov V.M., Romanov P.L. Comparison of domestic and European methods for calculating Bolwoks. Journal of the University of Water Communications, 2008, №3. - p. 190-193 (in Russ.)]
5. Slivec K.V. Naturnye nablyudeniya za deformatsiyami ograždayushchih konstrukcij o pytnogokotlovanii gruntovogo massiva. Izvestiya PGUPS, 2008, №3. - str. 249-258 [Slivets K.V. Field observations of deformations of the enclosing structures of an experimental excavation and a soil mass. News of PGUPS, 2008, №3. - p. 249-258 (in Russ.)]
6. Levachev S.N., Haleckij V.S. Ankernye i yakornye ustrojstva v gidrotekhnicheskostroitel'stve. Vestnik MGSU, 2010, №5. - str. 58-67 [Levachev S.N., Khaletsky V.S. Anchor and anchor devices in hydraulic engineering construction. Vestnik MGSU, 2010, №5. - p. 58-67 (in Russ.)]
7. Serova Ye.A., Chunyuk D.YU. Kachestvennyy analiz sostavlyayushchikh geotekhnicheskogo riska pri stroitel'stve podzemnykh i zaglublennykh sooruzheniy// Vestnik MGSU, 2010, №4. - str. 136-142 [Serova, EA, Chunyuk, D.Yu. Qualitative analysis of the components of geotechnical risk in the construction of underground and buried structures. Vestnik MGSU, 2010, №4. - p. 136-142 (in Russ.)]
8. Mirsayapov I.T., Khasanov R.R. Eksperimental'nyye issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gibkikh ograždений s rasporkoy v protsesse po etapnoy razborki grunta// Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta, 2011, №2. - str. 129-135 [Mirsayapov I.T., Khasanov R.R. Experimental studies of the stress-strain state of flexible fences with a spacer in the process of phased disassembly of the soil. News of Kazan State University of Architecture and Civil Engineering, 2011, №2. - p. 129-135 (in Russ.)]
9. Kayumov R.A., Shakirzyanov F.R. Modelirovaniye povedeniya i otsenka nesushchey sposobnosti sistemy tonkostennaya konstruktsiya - grunt s uchetom polzuchesti i degradatsii grunta// Uchenyye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya Fiziko-matematicheskiye nauki, 2011, №4. - str. 68-74 [Kayumov R.A., Shakirzyanov F.R. Behavior modeling and assessment of the carrying capacity of a thin-walled system — ground with allowance for creep and soil degradation. Uchenyye zapiski Kazan University. Series Physics and Mathematics, 2011, №4. - p. 68-74 (in Russ.)]
10. Raskutin A.Ye. Rossiyskiye polimernyye kompozitnyye materialy novogo pokoleniya, ikh osvoeniye i vnedreniye v perspektivnykh razrabatyvayemykh konstruktsiyakh// Aviatsionnyye materialy i tekhnologii, 2017, №1. - str. 349-366 [Raskutin A.E. Russian polymer composite materials of a new generation, their development and implementation in promising developed structures. Aviation materials and technologies, 2017, №1. - p. 349-366 (in Russ.)]
11. Dmitriyeva K.V. Raschet zhestkoy stenki v uprugoy vesomoy poluploskosti// Nauka i tekhnika, 2016, №6. - str. 493-503 [Dmitriyeva K.V. Calculation of a rigid wall in the elastic weighing half-plane. Science and technology, 2016, №6. - p. 493-503 (in Russ.)]
12. Tishchenko A.I., Chertov V.V. Novoye resheniye ankerovki prichal'nykh sten tipa "bol'verk"// Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. Sovremennyye problemy melioratsii zemel' i puti ikh resheniya, 2013. - str. 127-134 [Tishchenko A.I., Chertov V.V. New solution for anchoring of bolovka-type quay walls. Melioration and Water Economy. Modern problems of land reclamation and their solutions, 2013. - p. 127-134 (in Russ.)]
13. Baars S.V. Design of sheet pile installation by vibration. Geotechnical and geological engineering, 2004, №3. - p. 391-400
14. Ma J., Berggren B.S., Stille H., Hintze S. Deformation of anchor-sheet pile wall retaining system at deep excavations in soft soils overlying bedrock. Geotechnical special publication, 2010, - p. 126-131
15. Verstov V.V., Fillipov E.N. Obosnovaniye racional'nykh vidov vozdeystviy pri pogruzhenii v grunt polimernogo shpunta. Vestnik grazhdanskih inzhenerov, 2011, №4. - str. 74-81 [Verstov V.V., Fillipov E.N. Justification of rational

- types of impacts when immersed in the soil of a polymer sheet pile. Bulletin of Civil Engineers, 2011, №4. - p. 74-81 (in Russ.)]
16. Kleyn G.K. Raschet podpornykh steny// Yaroslavl', Glavpoligrafprom, 1964. – 196 str. [Klein G.K. Calculation of retaining walls. Yaroslavl, Glavpoligrafprom, 1964. - 196 p. (in Russ.)]
 17. Buharcev V.N., Volkov E.N. Ocenka ustojchivosti shpuntovykh sten. Transportnoe stroitel'stvo, 2014, №8. – str. 27-30 [Bukhartsev V.N., Volkov E.N. Evaluation of the stability of sheet pile walls. Transport Construction, 2014, №8. p. 27-30 (in Russ.)]
 18. Ryazanov V.S., Chesnokov A.M. Vliyaniye raspolzheniya ankera na opredeleniye ratsional'nogo varianta shpuntovoy stenki// Trudy Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnologicheskaya, 2013, №1. str. 407-412 [Ryazanov V.S., Chesnokov A.M. The influence of the location of the anchor on the definition of a rational variant of the sheet pile wall. Proceedings of the Volga State Technological University. Series: Technological, 2013, №1. - p. 407-412 (in Russ.)]
 19. Men'shikov E.A., Rumyantseva I.A. Primeneniye kompozitnogo shpunta v gidrotekhnicheskom stroitel'stve// Prochnost', polzuchest'irazrusheniyesroitel'nykhimashinostroitel'nykhmaterialovikonstruktsiytrudyMezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchonnoy 55- letiyu RUDN, 2014, - str. 184-190 [Menshikov E.A., Rumyantseva I.A. The use of composite tongue in hydraulic engineering construction. Durability, creep and destruction of building and engineering materials and structures works of the International Youth Scientific Conference dedicated to the 55th anniversary of RUDN, 2014, - p. 184-190 (in Russ.)]
 20. LiZ.Y., DengZ.W., Studyofdynamicrosponserule of prestressed anchor sheet-pile wall// Yantulixue, 2010, №2, - p. 645-648

Сведения об авторах:

Жуков Кирилл Юрьевич – инженер проектировщик.

Левченко Анастасия Андреевна – инженер проектировщик.

Поцепня Кирилл Николаевич – специалист научно технического обеспечения.

Information about authors:

Zhukov Kirill Y. – Design Engineer.

Anastasia A. Levchenko – Design Engineer.

Kirill N. Potsepnya – Specialist in scientific and technical support.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 14.02.2019.

Принята в печать 21.03.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 14.02.2019.

Accepted for publication 21.03.2019.