



(18)-0384-1

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ПО БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЮ ПОБЕРЕЖЬЯ АЗОВСКОГО МОРЯ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕНКАМИ ИЗ ЗААНКЕРЕННОГО ШПУНТА РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

В. В. Яркин¹, А. В. Кухарь²

*ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.*

E-mail: ¹yarkinvv@mail.ru, ²kuhar.anna.v@yandex.ru

Получена 09 ноября 2018; принята 23 ноября 2018.

Анотация. В статье рассмотрена проблема берегоукрепления побережья Азовского моря в сложных инженерно-геологических и гидрологических условиях на примере набережной пансионата «Волна» в пгт. Седово. Приведены результаты натурного обследования существующей подпорной стены набережной. Указаны основные причины нарушения ее эксплуатационной пригодности. Предложены несколько вариантов укрепления набережной и выполнен их сравнительный анализ. По результатам численных исследований выбран наиболее оптимальный с точки зрения авторов вариант укрепления.

Ключевые слова: берегоукрепление, шпунт, подпорная стена, сложные инженерно-геологические условия.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РІШЕНЬ З БЕРЕГОУКРІПЛЕННЯ УЗБЕРЕЖЖЯ АЗОВСЬКОГО МОРЯ ВЕРТИКАЛЬНИМИ СТІНКАМИ ІЗ ЗААНКЕРЕНОГО ШПУНТА РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

В. В. Яркін¹, Г. В. Кухар²

*ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.*

E-mail: ¹yarkinvv@mail.ru, ²kuhar.anna.v@yandex.ru

Отримана 09 листопада 2018; прийнята 23 листопада 2018.

Анотація. У статті розглянута проблема берегоукріплення узбережжя Азовського моря в складних інженерно-геологічних та гідрологічних умовах на прикладі набережної пансіонату «Волна» в смт. Седово. Наведено результати натурного обстеження існуючої підпірної стіни набережної. Вказано основні причини порушення її експлуатаційної придатності. Запропоновано кілька варіантів укріплення набережної і виконано їх порівняльний аналіз. За результатами чисельних досліджень обрано найбільш оптимальний з точки зору авторів варіант укріплення.

Ключові слова: берегоукріплення, шпунт, підпірна стіна, складні інженерно-геологічні умови.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOLUTIONS FOR PROTECTION OF THE COAST OF THE SEA OF AZOV BY ANCHORED VERTICAL WALLS OF SHEET PILE OF VARIOUS DESIGNS

Viktor Yarkin¹, Anna Kukhar²

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

E-mail: ¹yarkinvv@mail.ru, ²kuhar.anna.v@yandex.ru

Received 09 November 2018; accepted 23 November 2018.

Abstract. The article discusses the problem of protection of the coast of the Azov Sea in difficult engineering-geological and hydrological conditions on the example seafront of the boarding house «Volna» in the village Sedovo. The results of a survey in-situ of the existing retaining wall of seafront are presented. The main causes of the violation of its operational suitability are indicated. Several options for strengthening the embankment were proposed and their comparative analysis was made. According to the results of numerical studies, the most suitable shore protection option was chosen.

Keywords: shore protection, sheet piling, retaining walls, difficult geotechnical conditions.

Введение

Освоение побережья Азовского моря привело к усилению антропогенных нагрузок на прибрежную зону моря и нарушению сложившегося динамического равновесия между процессами, происходящими в береговой зоне. В итоге развивающиеся процессы абразии берегов приводят к сокращению ширины пляжей и создают угрозу устойчивости берегов и находящихся на них сооружений. В связи с этим мероприятия по берегоукреплению имеют социальное и хозяйственно-экономическое значение, связанное с сохранением рекреационной территории, обеспечением безопасной эксплуатации зданий и сооружений в прибрежной зоне и улучшением экологической ситуации на прилегающей территории [1, 2]. В данной работе рассматриваются решения по берегоукреплению побережья Азовского моря на примере набережной пансионата «Волна» в пгт. Седово. Особенностью рассматриваемого участка являются сложные инженерно-геологические условия, обусловленные наличием в основании слабого подстилающего слоя большой мощности.

Основная часть

Инженерно-геологические условия

В соответствии с [3] геологическое строение площадки представлено сверху вниз следующими инженерно-геологическими элементами: ИГЭ-1 и ИГЭ-2 – насыпные песчаные и крупнообломочные грунты суммарной мощностью от 1,2 до 1,9 м; ИГЭ-3 – намывные песчаные грунты суммарной мощностью от 0,5 до 1,3 м; ИГЭ-4 – сильносжимаемый суглинистый ил в текучем состоянии мощностью от 7 до 8 м; ИГЭ-5 – крупнозернистый песок средней плотности мощностью не менее 5 м. Расчетные характеристики инженерно-геологических элементов приведены в табл. 1.

Конструктивное решение набережной и результаты ее обследования

Набережная пансионата «Волна» выполнена в виде монолитной железобетонной подпорной стены толщиной $\approx 1,5$ м с контрфорсами и примыкающими бунами. Высота переменная и на обследованных участках изменяется от 1,3 м до ≈ 2 м. Основанием подпорной стены

является тонкий слой рыхлого песка (грунт ИГЭ-3), который подстилается слабым суглинистым илом в текучем состоянии. Подпорная стена подкреплена сваями из металлических труб диаметром 159 мм и длиной до 5,2 м, нижние концы которых опираются на слабый грунт ИГЭ-4, что не допускается [4, 5, 1].

Прогрессирующая волновая эрозия песчаного грунта в основании подпорной стены и бун привела к образованию под ними сквозных промоин, а несущая способность свай, опирающихся на текучий слой ила, оказалась недостаточна даже для восприятия нагрузки от собственного веса стены. В результате пять из шести бун были опрокинуты набок, а участок подпорной стены длиной около 36 м полностью разрушен и берег размыт вглубь территории пансионата на расстояние до 30 м (рис. 1).

Сохранившиеся участки подпорной стены имели значительные деформации: прогибы до 80 см на участке длиной около 70 м (рис. 2а) и крен в сторону моря величиной до 0,3 (рис. 2в).

Следствием значительных деформаций подпорной стены (прогибов и перекосов) являлись повреждения в виде трещин и раздроблений

сжатого бетона в местах перегибов, которые усиливались наличием дефектов, допущенных при бетонировании и армировании стены (рис. 2б).

Нарушение сплошности и фрагментация подпорной стены способствовали дальнейшему вымыванию песчаного грунта из основания и прогрессирующему разрушению конструкций подпорной стены.

Основными причинами нарушения эксплуатационной пригодности набережной являются:

- локальная защита побережья;
- неблагоприятные инженерно-геологические условия, не учтенные при возведении набережной;
- ненадлежащий контроль за техническим состоянием существующих берегозащитных сооружений;
- волновая эрозия основания набережной.

Восстановительный ремонт и усиление существующей подпорной стены является не целесообразным в связи с большим количеством дефектов, значительными повреждениями и аварийным состоянием основания, которое не удовлетворяет требованиям расчета по несущей способности [6].

Таблица 1. Расчетные характеристики инженерно-геологических элементов

№	Наименование характеристики	ИГЭ-3	ИГЭ-4	ИГЭ-5
1	Удельный вес грунта, γ , кН/м ³	19,14	18,4	19,41
2	Модуль деформации грунта, E, МПа	12	4	33
3	Удельное сцепление грунта, c, кПа	1	7	1
4	Угол внутреннего трения грунта, ϕ , град.	29	1	27



Рисунок 1. Результаты геодезической съемки рассматриваемого участка набережной.



Рисунок 2. Сохранившийся участок подпорной стены: а – прогиб; б – раздробление бетона сжатой зоны в месте прогиба; в – крен в сторону моря.

Рассмотренные варианты берегоукрепления

Анализ существующих методов берегозащиты показал, что применение активных методов берегозащиты на таком коротком участке размываемого берега неэффективен, так как решая локальную задачу, можно ухудшить общую обстановку в береговой зоне [5, 7, 8, 9].

Существующая застройка и инфраструктура пансионата «Волна» не позволяет выполнить берег откосного типа. Поэтому в качестве основных вариантов берегоукрепления было рассмотрено устройство вертикальной стенки (больверк), выполненной:

- из безанкерного шпунта длиной 11 м, с заглублением в ИГЭ 5 (вариант 1);

- из одноанкерного шпунта длиной 11 м, с заглублением в ИГЭ 5 (вариант 2);
- из одноанкерного шпунта длиной 4 м, с заглублением в ИГЭ 4 (вариант 3);
- из двуханкерного шпунта длиной 4 м, с заглублением в ИГЭ 4 (вариант 4).

При этом рассматривалось применение металлического шпунта [10], а также шпунта из ПВХ профиля [11].

Заглубление в ИГЭ-4 (варианты 3 и 4) выполнялось исключительно с целью создания фильтрационного барьера в слое намывного песка ИГЭ-3, а не для передачи нагрузки на слабый слой грунта ИГЭ-4 [12].

Результаты расчетов

Расчеты устойчивости набережной, укрепленной при помощи шпунтовой стенки различной конструкции, выполнялись численно методом конечных элементов для условий плоской деформации с использованием модели грунтового основания «Кулона-Мора» при помощи геотехнического программного комплекса Plaxis 2D [13, 14, 15], а также аналитически [16] с проверкой устойчивости:

- на поворот вокруг точки крепления анкера;
- на сдвиг по фиксированным поверхностям скольжения;
- на сдвиг анкерной плиты (анкерное усилие принимается из расчета устойчивости лцевой стенки).

Основные результаты расчетов представлены на рис. 3–7 и в табл. 2.

Устойчивость безанкерного (консольного) шпунта длиной 11 м и одноанкерного шпунта длиной 4 м не обеспечивается за счет значительных перемещений соответственно верхнего и нижнего конца шпунта (рис. 3 и 5). Численные значения перемещений, приведенные на рис. 3, 5 и табл. 2, для этих вариантов указаны до момента потери устойчивости.

Принятое конструктивное решение

В качестве окончательного варианта было принято устройство двуханкерной вертикальной стенки длиной 4 м из ПВХ шпунта профиля SP-600 со следующими характеристиками: вес 24 кг/м²; допустимый изгибающий момент 22,42 кН·м/м [11].

Анкеровка шпунта осуществляется траншейными анкерами из анкерных тяг диаметром 20 мм с зацеплением за анкерную плиту АПШ 14 [17], которая располагается в насыпном слое крупнообломочного грунта (рис. 8). Для равномерного распределения анкерных усилий на шпунтовой ряд устанавливаются распределительные пояса из двух швеллеров № 18 [18] с последующим устройством шапочно-го бруса. Для предотвращения размыва грунта у основания шпунта со стороны акватории устраивается упорная призма из камня толщиной 15 см.

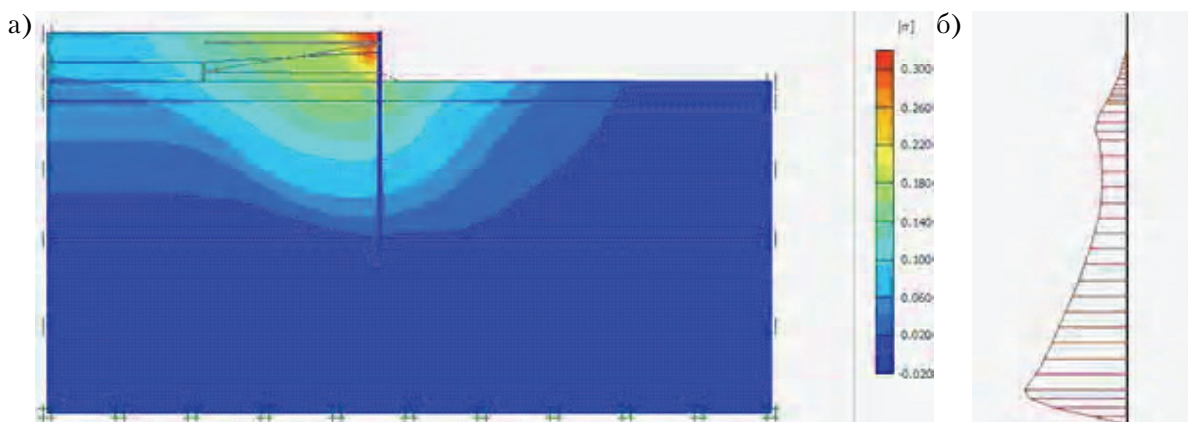


Рисунок 3. Безанкерный шпунт длиной 11 м: а – изополя деформаций; б – эпюра изгибающих моментов в шпунте.

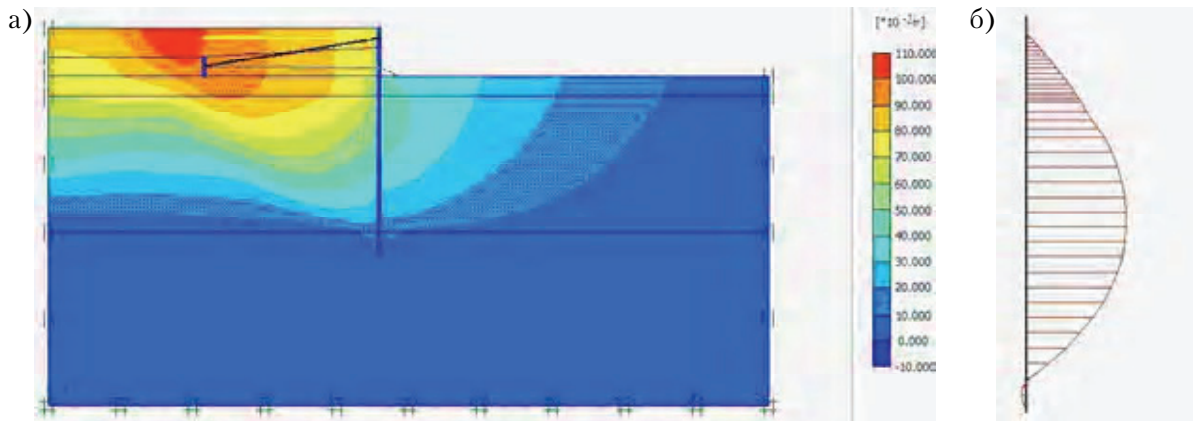


Рисунок 4. Одноанкерный шпунт длиной 11 м: а – изополя деформаций; б – эпюра изгибающих моментов в шпунте.

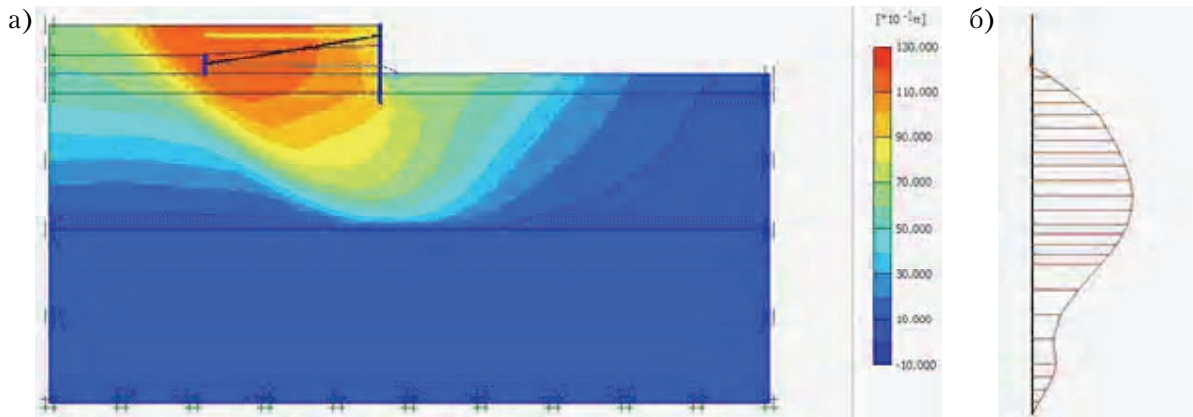


Рисунок 5. Одноанкерный шпунт длиной 4 м: а – изополя деформаций; б – эпюра изгибающих моментов в шпунте.

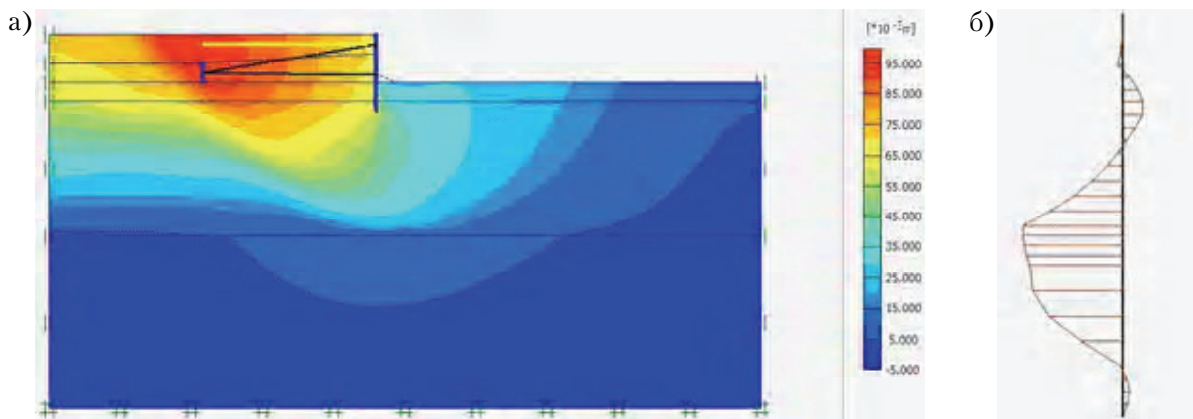


Рисунок 6. Двуханкерный шпунт длиной 4 м: а – изополя деформаций; б – эпюра изгибающих моментов в шпунте.

Таблица 2. Максимальные усилия и перемещения в шпунтовой стенке

Вариант	M_{\max} , кН·м/м	Максимальные перемещения, мм		Устойчивость
		горизонтальные	общие	
1	46,8	>300	>300	нет
2	118,9	47	100	да
3	5,13	>90	>120	нет
4	3,8	48	95	да

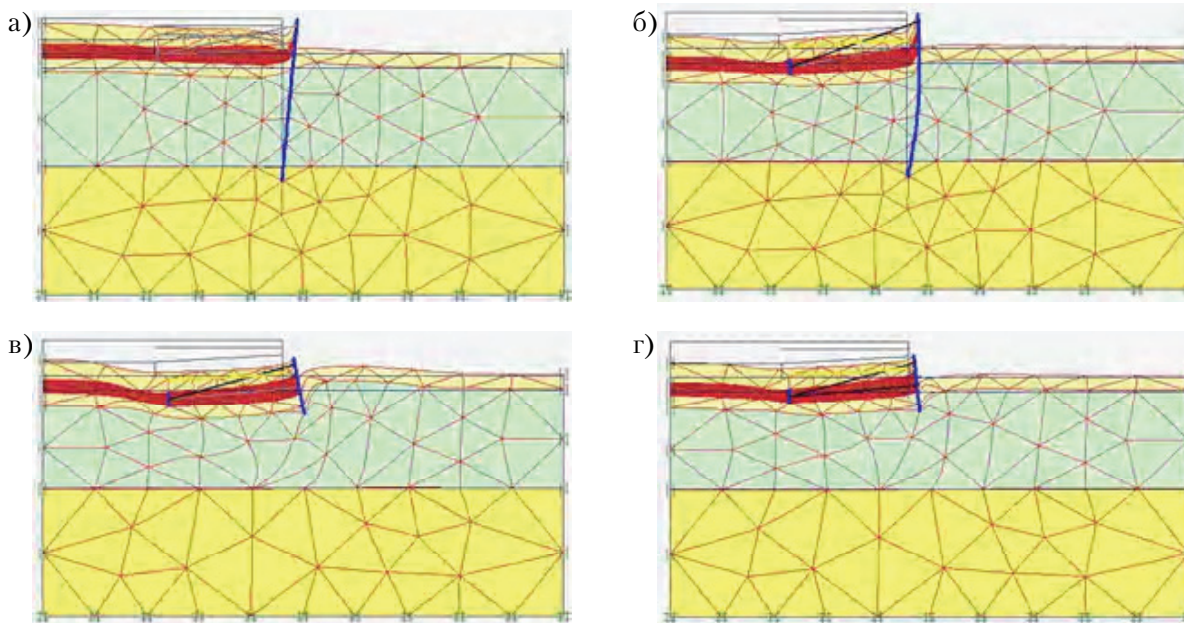


Рисунок 7. Деформированные схемы: а – безанкерного шпунта длиной 11 м; б – одноанкерного шпунта длиной 11 м; в – одноанкерного шпунта длиной 4 м; г – двуханкерного шпунта длиной 4 м.

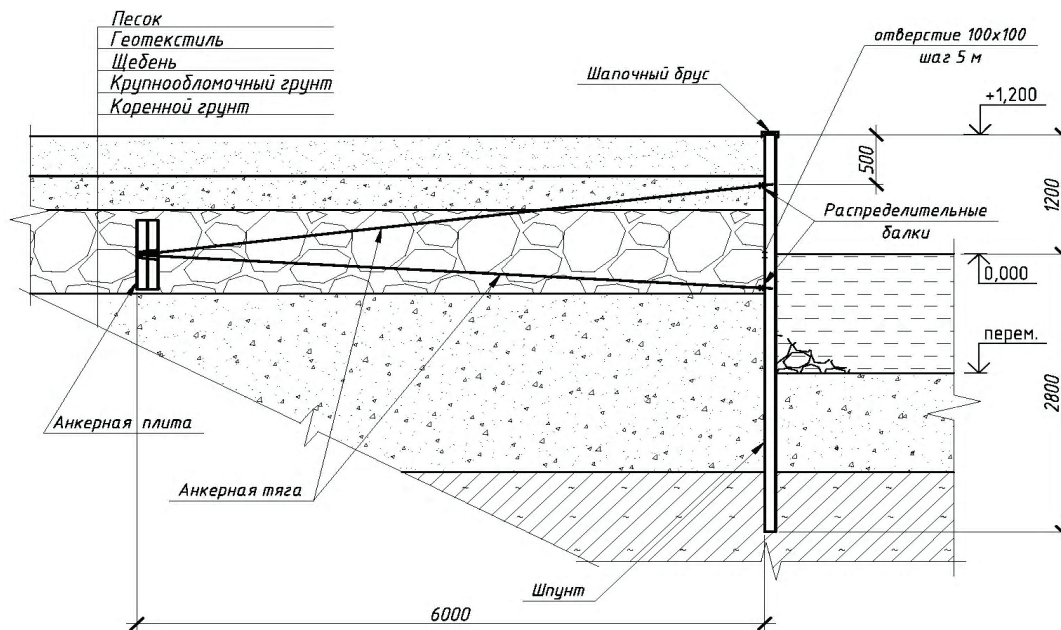


Рисунок 8. Вертикальная стенка длиной 4 м из ПВХ шпунта.

Заключение

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Варианты укрепления безанкерным шпунтом длиной 11 м и одноанкерным шпунтом длиной 4 м не обеспечивают устойчивость набережной.
2. При укреплении набережной одноанкерным шпунтом длиной 11 м или двуханкерным шпунтом длиной 4 м устойчивость обеспечивается, однако в первом случае изгибающий момент в шпунтовой стенке позволяет использовать только металлический шпунт

типа «Ларсен», а во втором случае величина изгибающего момента позволяет применить шпунт из ПВХ профиля.

3. Применение шпунта из ПВХ профиля позволит практически исключить вертикальную нагрузку от собственного веса стены набережной на подстилающий слабый слой грунта.
4. Принятое конструктивное решение двуханкерного шпунта из ПВХ профиля длиной 4 м по сравнению с одноанкерным металлическим шпунтом длиной 11 м позволит получить экономию только на стоимости материалов порядка 9 млн руб.

Литература

1. СП 23.13330.2011. Основания гидротехнических сооружений. – Введ. 2011-05-20. – М.: Минрегион России, 2011. – 110 с.
2. Прокопов, А. Ю. Выбор и обоснование методов берегоукрепления (на примере р. Кубань в г. Краснодаре) / А. Ю. Прокопов, В. А. Лебидко // Известия РГСУ. № 19. 2015. С. 41–48.
3. Отчет об инженерно-геологических изысканиях, выполненных на объекте: «Пос. Седово Новоазовского района» / рук. А. И. Романенко – Донецк: ООО ПКФ «ДАЛЬ». – 2017. – № 30/03.
4. Иванов, П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П. Л. Иванов. – М.: Высш. школа, 1985. – 352 с.
5. Даревский, В. Э. Проектирование сооружений, обеспечивающих устойчивость грунтовых массивов (набережные, берегоукрепление, подпорные стены, защита от оползней и пр.) / В. Э. Даревский, А. М. Романов. – М.: ООО «Издательство Мастер», 2011. – 596 с.
6. Проектирование и устройство фундаментов на намытых песчаных грунтах / С. А. Слюсаренко, Г. П. Степаненко, М. А. Глотова, М. Ф. Новиков и др. – Киев: Будівельник, 1990. – 128 с.
7. Руководство по проектированию береговых укреплений на внутренних водоемах / Гипрокоммунстрой. – М.: Стройиздат, 1984. – 153 с.
8. СП 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. – Взамен ВСН 183-74 «Технические указания по укреплению морских берегозащитных сооружений»; введ. 1997-11-03. – М.: Корпорация «Транстрой», 1998. – 223 с.
9. СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. – Введ. 2017-06-17. – М.: Стандартинформ, 2017. – 97 с.
10. СТО-ГК «Транстрой» 019-2007. Шпунт типа «Ларсен». Применение в транспортном строительстве. – Введ. 2007-04-09. – М.: ООО «Транстройиздат», 2007. – 24 с.

Reference

1. SP 23.13330.2011. The foundations of hydraulic structures. – Enter 2011-05-20. – M.: Ministry of Regional Development of Russia, 2011. – 110 p. (in Russian)
2. Prokopov, A. Yu. The choice and justification of bank protection methods (on the example of the Kuban river in Krasnodar) / A. Yu. Prokopov, V. A. Lebidko // In: *News of the Russian State Social University*. № 19. 2015. P. 41–48. (in Russian)
3. Report on engineering and geological surveys carried out at the facility: «Pos. Sedovo, Novoazovskiy District» / hands. A.I. Romanenko – Donetsk: PKF «DAL» LLC. – 2017. – № 30/03. (in Russian)
4. Ivanov, P. L. Soils and foundations of hydraulic structures / P. L. Ivanov. – M.: Higher. School, 1985. – 352 p. (in Russian)
5. Darevsky, V. E. Design of structures ensuring the stability of soil massifs (embankments, bank protection, retaining walls, protection from landslides, etc.) / V. E. Darevsky, A. M. Romanov. – M.: Publishing House Master, LLC, 2011. – 596 p. (in Russian)
6. Designing and construction of foundations for alluvial sandy soils / S. A. Slyusarenko, G. P. Stepanenko, M. A. Glotova, M. F. Novikov, etc. – Kiev: Budivelnik, 1990. – 128 p. (in Russian)
7. Guidance on the design of coastal fortifications on inland waters / Giprokommunstroy. – M.: Stroizdat, 1984. – 153 p. (in Russian)
8. SP 32-103-97. Design of marine shore protection structures. – Instead of VSN 183-74 «Technical instructions for the strengthening of marine coastal protection facilities»; enter 1997-11-03. – M.: Transstroy Corporation, 1998. – 223 p. (in Russian)
9. SP 277.1325800.2016. Sea shore protection structures. Design rules. – Enter 2017-06-17. – M.: Standardinform, 2017. – 97 p. (in Russian)
10. STO-GK Transstroy 019-2007. Tongue type «Larsen». Application in transport construction. –

11. Шпунтовые сваи из ПВХ марки SP-200, SP-250, SP-600. Правила производства работ / ООО «Ватер Сайд». – 23 с.
12. Budin, A. Ya. Behavior of sheet pile retaining walls in soils susceptible to creep / A.Ya. Budin // *Soil Mech Found Eng*, № 6, 1969. P. 407–411. Access mode: <https://doi.org/10.1007/BF01838275>.
13. Brinkgreve, R. B. J. Plaxis 2D-version 9. Finite Element Code for Soil and RockAnalyses: user manual / R. B. J. Brinkgreve, W. Broere, D. Waterman. – Rotterdam : Balkema, 2019. – 206 p.
14. Day, R. A. Modelling sheet pile retaining walls / R. A. Day, D. M. Potts // *Computers and Geotechnics*, № 15, 1993. P. 125-143. Access mode: [https://doi.org/10.1016/0266-352X\(93\)90009-V](https://doi.org/10.1016/0266-352X(93)90009-V).
15. Dina A. Emarah, Safwat A. Seleem. A numerical study of anchored sheet piles subjected to different types of sandy soils backfill // *HBRC Journal*. Vol. 3, № 14, 2018. pp. 422–430. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2018.03.001>.
16. Будин А. Я. Эксплуатация и долговечность портовых гидротехнических сооружений. – М. : «Транспорт», 1977. – 320 с.
17. Серия 3.504.1-24. Вып. 2. Анкерные сваи АСШ и анкерные плиты АПШ / ЛенморНИИпроект. 1987. – 59 с.
18. Серия 3.504.2-25. Вып. 0. Набережные типа больверк из стального шпунта / ЛенморНИИпроект. 1987. – 36 с.
- Enter 2007-04-09. – М. : Transstroyizdat LLC, 2007. – 24 p. (in Russian)
11. Sheet piles of PVC brand SP-200, SP-250, SP-600. Rules of the production of works / LLC «Water Side». – 23 p.
12. Budin, A. Ya. Behavior of sheet pile retaining walls in soils susceptible to creep / A.Ya. Budin // In: *Soil Mech Found Eng*, № 6, 1969. P. 407–411 Access mode: <https://doi.org/10.1007/BF01838275>.
13. Brinkgreve, R. B. J. Plaxis 2D-version 9. Finite Element Code for Soil and RockAnalyses: user manual / R. B. J. Brinkgreve, W. Broere, D. Waterman. – Rotterdam : Balkema, 2019. – 206 p.
14. Day, R. A. Modelling sheet pile retaining walls / R. A. Day, D. M. Potts // *Computers and Geotechnics*, № 15, 1993. P. 125-143. Access mode: [https://doi.org/10.1016/0266-352X\(93\)90009-V](https://doi.org/10.1016/0266-352X(93)90009-V).
15. Dina A. Emarah, Safwat A. Seleem. A numerical study of anchored sheet piles subjected to different types of sandy soils backfill // In: *HBRC Journal*. Vol. 3, № 14, 2018. pp. 422–430. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2018.03.001>.
16. Budin A. Ya. Operation and durability of port hydraulic structures. – М. : «Transport», 1977. – 320 p. (in Russian)
17. Series 3.504.1-24. Issue 2. Anchor piles of AHSS and anchor plates of APSh / LenmorNIIProekt. 1987. – 58 p. (in Russian)
18. Series 3.504.2-25. Vol. 0. Embankments of type bolvork of steel sheet piling / LenmorNIIProekt. 1987. – 36 p. (in Russian)

Яркин Виктор Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений ГОУ ВПО «Донбасской национальной академии строительства и архитектуры». Научные интересы: взаимодействие зданий и сооружений с неравномерно деформируемым основанием. Строительство и проектирование зданий и сооружений в сложных инженерно и горно-геологических условиях.

Кухарь Анна Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры оснований, фундаментов и подземных сооружений ГОУ ВПО «Донбасской национальной академии строительства и архитектуры». Научные интересы: строительство и проектирование зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях, конструктивные методы защиты зданий и сооружений на карстоопасных территориях, системы для автоматической компенсации деформаций основания.

Яркін Віктор Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри основ, фундаментів і підземних споруд ДООУ ВПО «Донбаської національної академії будівництва і архітектури». Наукові інтереси: взаємодія будівель і споруд з основою, що нерівномірно деформується. Будівництво та проектування будівель і споруд в складних інженерно та горно-геологічних умовах.

Кухар Ганна Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри основ, фундаментів і підземних споруд ДООУ ВПО «Донбаської національної академії будівництва і архітектури». Наукові інтереси: будівництво будівель та споруд в складних горно-геологічних умовах, конструктивні методи захисту будівель і споруд на карстонебезпечних територіях, системи для автоматичної компенсації деформації основи.

Yarkin Viktor – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Basements, Foundations and Underground Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: interaction of buildings and structures with unevenly deformable grounds, construction and design of buildings and structures in difficult geotechnical conditions.

Kukhar Anna – Ph.D. (Engineering), Associate Professor; Basements, Foundations and Underground Structures Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: Scientific interests: construction and design of buildings and structures in complicated engineer_geological conditions, constructive methods of protection of buildings and structures on karst territories, systems for automatic compensation of deformation of the base.