

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО / HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTIONDOI: <https://www.doi.org/10.18454/mca.2023.2.33.002>**УСИЛЕНИЕ ПРИЧАЛА БАЗЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ФЛОТА В ПОРТУ АРХАНГЕЛЬСК**

Научная статья

Коршунов А.А.¹, Трифанов А.В.^{2*}, Тутыгин А.С.³^{1, 2, 3} Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

* Корреспондирующий автор (trifanov.a[at]edu.narfu.ru)

Аннотация

Развитие Северного морского пути – одна из стратегических задач Российской Федерации до 2035 года. Для увеличения грузооборота необходимо строительство новых причальных сооружений и максимально эффективно использовать причальный фронт существующих причальных объектов. Многие причалы в настоящий момент нуждаются в реконструкции или капитальном ремонте с целью увеличения эксплуатационных нагрузок, а дальнейшее увеличение грузооборота повлечет еще больше причальных объектов в необходимости усиления. В настоящей работе проведен анализ причин возникновения различных дефектов и аварийных ситуаций. На примере причала Архангельского порта проведена оценка обследуемого причала. Для проверки надежности и безопасности причального сооружения выполнен расчет напряженно-деформированного состояния системы «сооружение – основание» с применением численных методов механики сплошной среды в программно-вычислительном комплексе PLAXIS 3D. Техническое состояние обследуемого причала, согласно результатам обследований, находится в неудовлетворительном состоянии. Моделирование в программно-вычислительном комплексе PLAXIS 3D показали сходимость с результатами технического обследования. Для обеспечения надежности и безопасности дальнейшей эксплуатации причального сооружения предложены решения по усилению причального сооружения.

Ключевые слова: причал, больверк, слабый грунт, аварийность, усиление.**REINFORCING THE BERTH OF THE FLEET MAINTENANCE BASE IN THE PORT OF ARKHANGELSK**

Research article

Korshunov A.A.¹, Trifanov A.V.^{2*}, Tutygin A.S.³^{1, 2, 3} Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

* Corresponding author (trifanov.a[at]edu.narfu.ru)

Abstract

The development of the Northern Sea Route is one of the strategic objectives of the Russian Federation until 2035. To increase cargo turnover, it is necessary to build new berthing facilities and use the berthage of existing ones as efficiently as possible. Many berths are currently in need of reconstruction or major repairs in order to increase operational loads, and the further increase in cargo turnover will involve even more berthing facilities in need of reinforcement. In this work, an analysis of the causes of various defects and emergencies was carried out. On the example of the berth of the Arkhangelsk port, an evaluation of the surveyed berth was made. To check the reliability and safety of the berthing structure, the stress-strain behaviour of the "structure – base" system was calculated using numerical methods of continuum mechanics in the PLAXIS 3D software and computing complex. The technical state of the examined berth, according to the results of the surveys, is in unsatisfactory condition. Modelling in the PLAXIS 3D software and computing complex showed correlation with the results of the technical survey. To ensure the reliability and safety of further operation of the berthing facility, solutions for its reinforcement are proposed.

Keywords: berth, bulwark, weak ground, accident rate, reinforcement.**Введение**

Северный морской путь (СМП) – одно из наиболее важных транспортных направлений. Неотъемлемой частью развития СМП является эффективное использование существующих причальных сооружений. Прогнозируемый рост грузооборота на период 2023 до 2035 года потребует увеличения несущей способности причальных сооружений. Повышение несущей способности причалов может быть выполнено на основе усиления, реконструкции или капитального ремонта сооружения. Решение этих задач способствует обеспечению перегрузочных операций в речных портах Арктической зоны России без увеличения фронта причальных сооружений и в результате приводит к значительному снижению себестоимости перевозки грузов.

Эксплуатация причальных сооружений требует непрерывной и бесперебойной работы, но некоторые причины, которые снижают несущую способность сооружения, вызывают необходимость вывода из эксплуатации причального сооружения частично или полностью. Для того чтобы продолжать работу, необходимо увеличить или сохранить несущую способность. Можно выделить несколько причин потери несущей способности:

- увеличение грузооборота.

На период 2021 года, по сравнению с 2020 периодом, грузооборот Северного морского пути (СМП) увеличился на 6 процентов (рисунок 1) [3].

- слабые грунты.

Как показывает практика Будина А.Я, наиболее существенно влияет на напряженное состояние набережных ползуность грунтов основания. Это особенно ярко проявляется у наиболее распространенных тонкостенных сооружений (больверков) [11].

- природные факторы: весенний паводок, сброс воды, корка льда, переменная во времени температура и влажность воздуха, атмосферные осадки [13].

- швартовка судов.

Нарушает целостность конструкции линии – это бой винтов судов во время швартовки, из-за недостатка воды под днищем которых возникает мощный поток воды, выбивающий и щебень, и бетон из гидротехнических сооружений [13].

- возведение причального сооружения с большим количеством технических ошибок [13].

Срок службы причальных сооружений. В СССР пик гидротехнического строительства начался в 50-х годах XX века. Стране были необходимы новые причальные сооружения для осуществления снабжения и перевозки грузов. Большинство этих гидро-технических объектов было построено в период с 1945 по 1991 годы. Срок физического износа предусмотрен проектом: для металла и дерева – 40 лет, для железобетона – 50 лет. Срок морального износа причалов, работающих в составе специализированных комплексов, рекомендуется назначать в пределах 25-35 лет. Для остальных причальных сооружений срок морального износа рекомендуется приравнивать к сроку физического износа [6].

Наиболее важным является влияние слабых грунтов, которые ведут к уменьшению несущей способности или аварийной ситуации.

В случаях дефектов, вызванных наличием слабого неустойчивого основания, может быть:

1. Изменение наклона относительно проектного положения шпунтовой стенки, выход шпунтин из замков, разрывы, сквозные отверстия, горизонтальное смещение верха заанкеренного больверка, относительный прогиб заанкеренного больверка из стального шпунта.

2. Отклонение от прямой линии в плане на 100 пог. м, разрушение поверхностного слоя бетона, трещины снижение прочности бетона.

В анкерных конструкциях можно отметить, слабое натяжение тяг, уменьшение диаметра тяги и элементов узла крепления тяги к анкерной опоре вследствие коррозии металла.

В анкерных опорах, это поражение коррозией стальных труб и шпунта, использующихся в качестве анкерных опор, снижение прочности железобетонной плиты.

Согласно РД 31.31.38–86, существуют методы усиления такие как, закрепление грунта, устройство оторочки в виде заанкеренного больверка, устройство грунтовых анкеров, устройство оторочки в виде эстакады.

Возможности увеличения несущей способности были рассмотрены на примере причала Архангельского порта.

По результатам обследования технического состояния конструкций сооружения выделяется следующее:

Присутствует наклон (прогиб) 7,8% шпунтовой лицевой стенки, превышающий значения, установленные для предельного состояния более 2% [9]. Это свидетельствует о неработоспособном техническом состоянии шпунтовой стенки (рисунок 1).

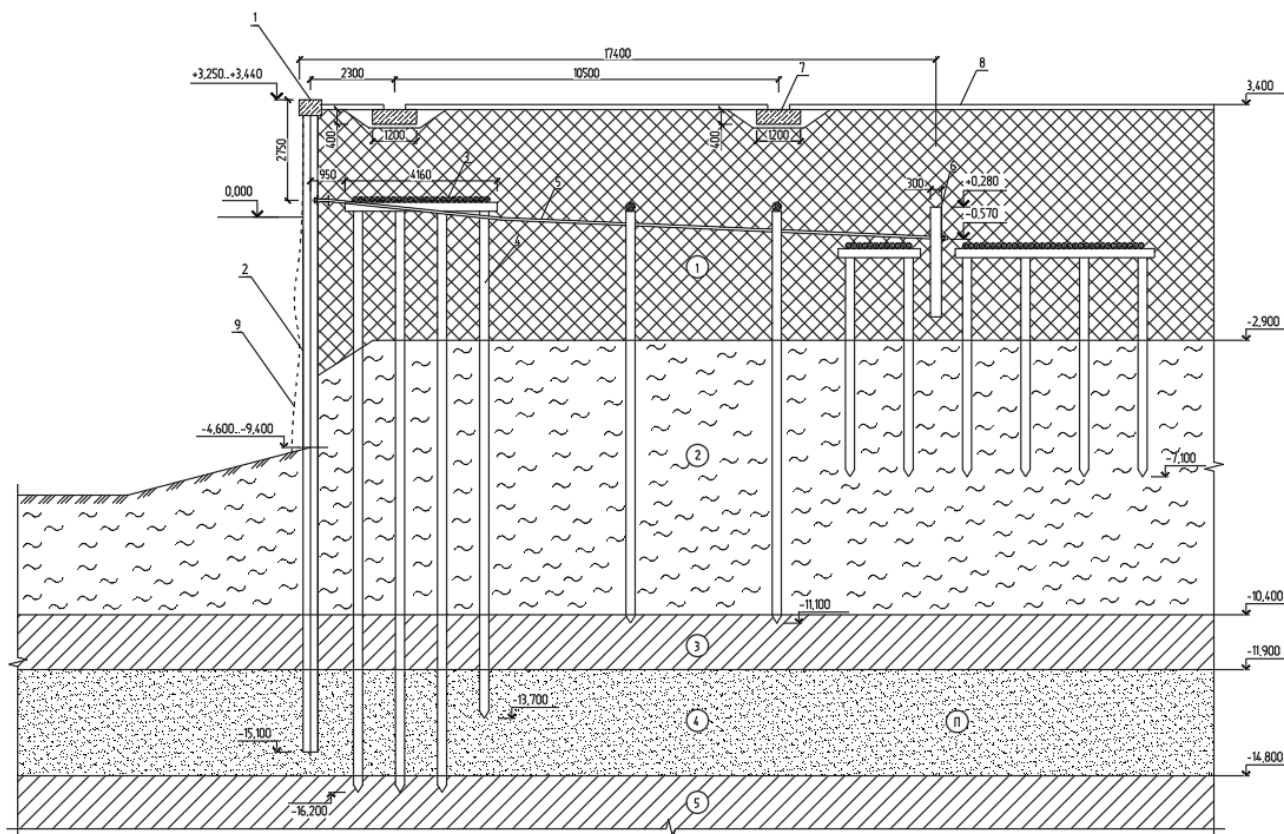


Рис. 1 – Расчетные инженерно-геологические условия, совмещенные с причальным сооружением
1 – монолитный железобетонный оголовок; 2 – лицевая стенка; 3 – разгрузочная платформа; 4 – деревянные сваи;
5 – анкерная тяга; 6 – анкерная опора; 7 – крановый путь; 8 – покрытие; 9 – отклонение лицевой стенки

На монолитном оголовке наблюдаются вертикальные сквозные трещины, отслоение защитного слоя бетона, повреждение кордонных уголков. Анкерные конструкции причала (анкерные тяги и плиты) являются работоспособными. Глубина коррозии составляет 6%, что не превышает норму (более 20% [9]).

Материалы и методы

С целью выяснения причины возникновения отклонения от вертикали лицевой стенки, выполнено численное моделирование в PLAXIS 3D в соответствии с требованиями СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения». Расчеты причального сооружения выполнены по I и II группам предельных состояний, основания назначены по результатам инженерно-геологических изысканий [10], с учетом расчетных физико-механических характеристик грунтов. Физико-механические свойства грунтов представлены в табл. 1.

Для моделирования поведения грунтов основания причального сооружения принята упруго-пластическая модель грунта Mohr-Coulomb (MC) [12]

Таблица 1 – Физико-механические свойства грунтов

номер слоя	Вид грунта	Консистенция	Плотность твердых частиц, г/см ³	Плотность (норм. знач.), г/см ³	Коэф-нт пористости, доли, ед.	Природная влажность, доли, ед.	Вл-сть на границе текуч-ти, доли ед.	Вл-сть на границе пласт-ти, доли ед.	Число пласт-ти, доли ед.	Показ-ль текуч-ти, доли ед.	Угол трения (норм. знач.), град.	Сцепление (норм. знач.), кПа	Модуль деформаций Е, МПа
1	Песок	средней крупности	2,67	2,00	0,3884	0,04	-	-	-	-	23	1	10
2	Ил	текучепла- стичный	2,69	1,78	1,26	0,5	0,5	0,39	0,11	0,95	11,8	10,4	1
3	Суглинок	полутвердый	2,73	2,27	0,39	0,16	0,23	0,15	0,08	0,11	13,5	53,9	4,5
4	Песок	пылеватый	2,68	2,00	0,63	0,21	-	-	-	-	30	4	18
5	Суглинок	полутвердый	2,73	2,18	0,5	0,2	0,27	0,18	0,09	0,16	16,8	91,2	3,2
6	Суглинок	твердый	2,7	2,07	0,52	0,16	0,27	0,19	0,08	-0,38	22,5	90,4	3,3

Элемент типа PLATE (Плита) использован для моделирования шпунтового ограждения, разгрузочной площадки, верхнего строения причального сооружения, а также анкерных железобетонных плит. Поведение конструктивных материалов определяется параметрами элемента.

Для моделирования свай используется элемент типа Embedded beams (Свая). Несущая способность свай определена по СП 24.13330 «Свайные фундаменты». Анкерную тягу моделировали элементом Anchor (Анкер). Железобетонный оголовок и подкрановые пути моделировали элементом Beams (Балки). Все характеристики элементов рассчитаны в соответствии с «Пособием по моделям материалов» [12].

Нормативные нагрузки на причальное сооружение от складированных материалов заданы в соответствии с Паспортом гидротехнического сооружения. Волновые и ледовые нагрузки на причальное сооружение в расчетах не рассматривались.

Конечно-элементная модель причального сооружения представлена на рис. 2.

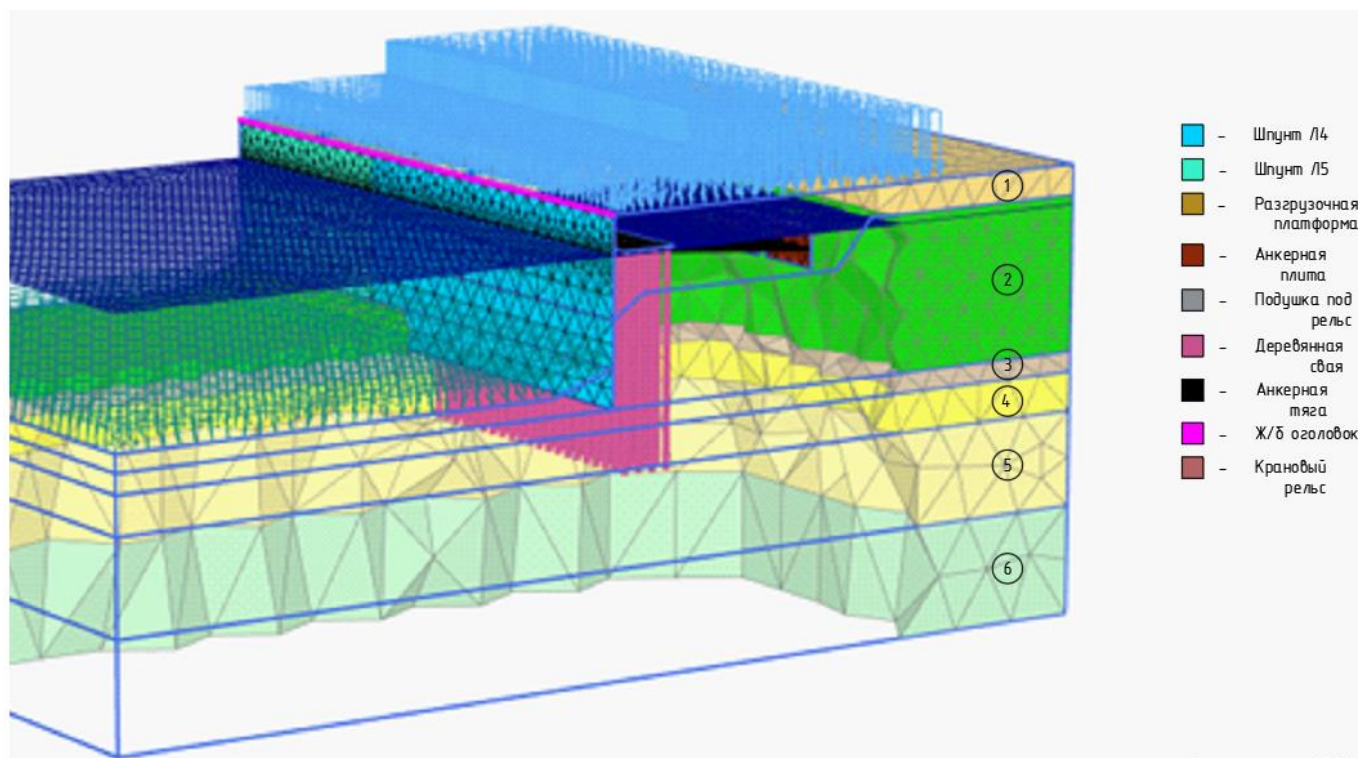


Рис. 2 – Конечно-элементная модель причального сооружения

Примечание: цифрами 1-6 обозначены слои (см. таблицу 1)

Расчеты устойчивости системы «причал-основание» (по I группе предельных состояний) выполнены путем пропорционального уменьшения значений угла внутреннего трения (φ) и удельного сцепления (c) до момента резкого роста расчетных смещений. Достигнутый к моменту разрушения коэффициент снижения прочности количественно равен коэффициенту запаса устойчивости (k_{st}). Деформированная схема причального сооружения (на участке У300...У360) представлена на рис. 3.

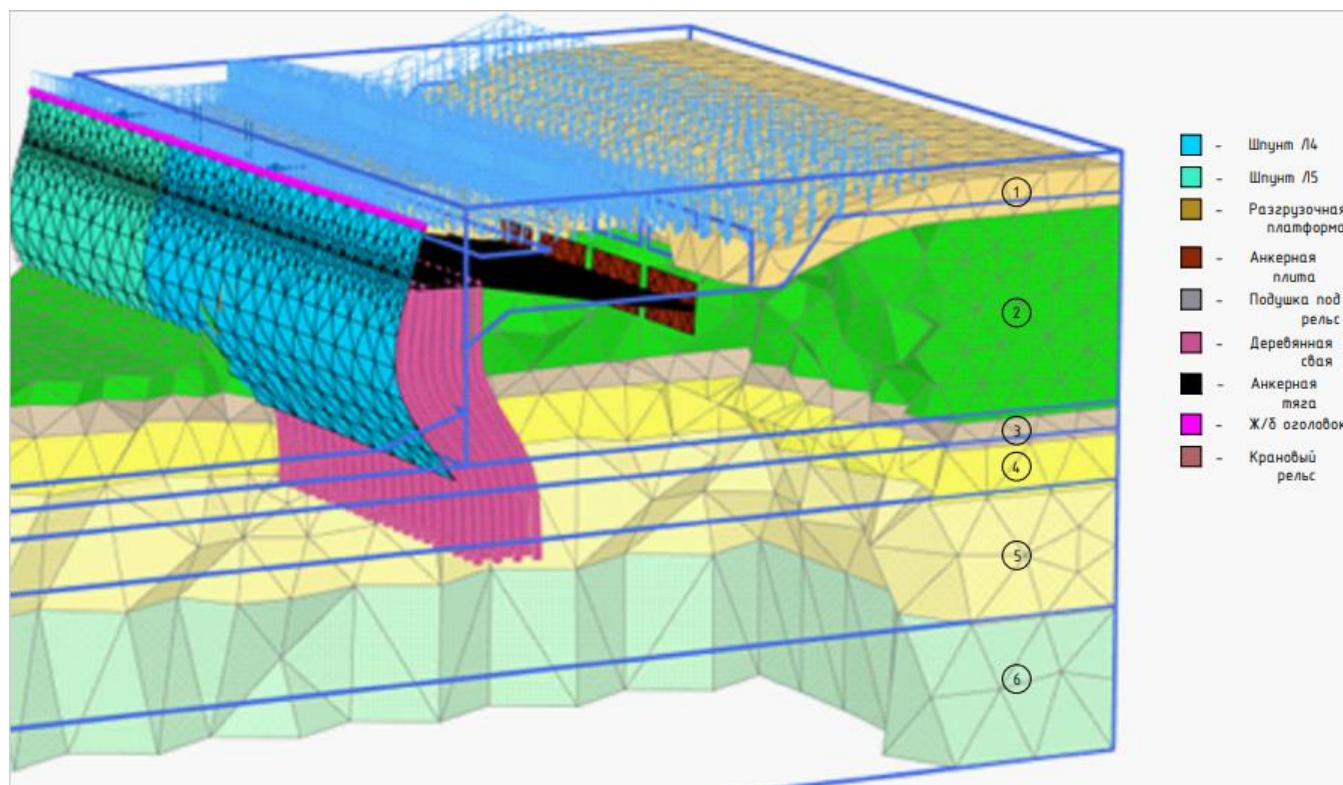


Рис. 3 – Деформированная схема причального сооружения
Примечание: цифрами 1-6 обозначены слои (см. таблицу 1)

Результаты исследования

Результаты численного моделирования показали следующее, что расчетный коэффициент запаса устойчивости причального сооружения составил 1,054, что меньше нормативного коэффициента запаса (Нормативный коэффициент запаса равен 1,15 (п.8.17 [8])). На рис. 4 представлена вероятная призма скольжения в основании сооружения.

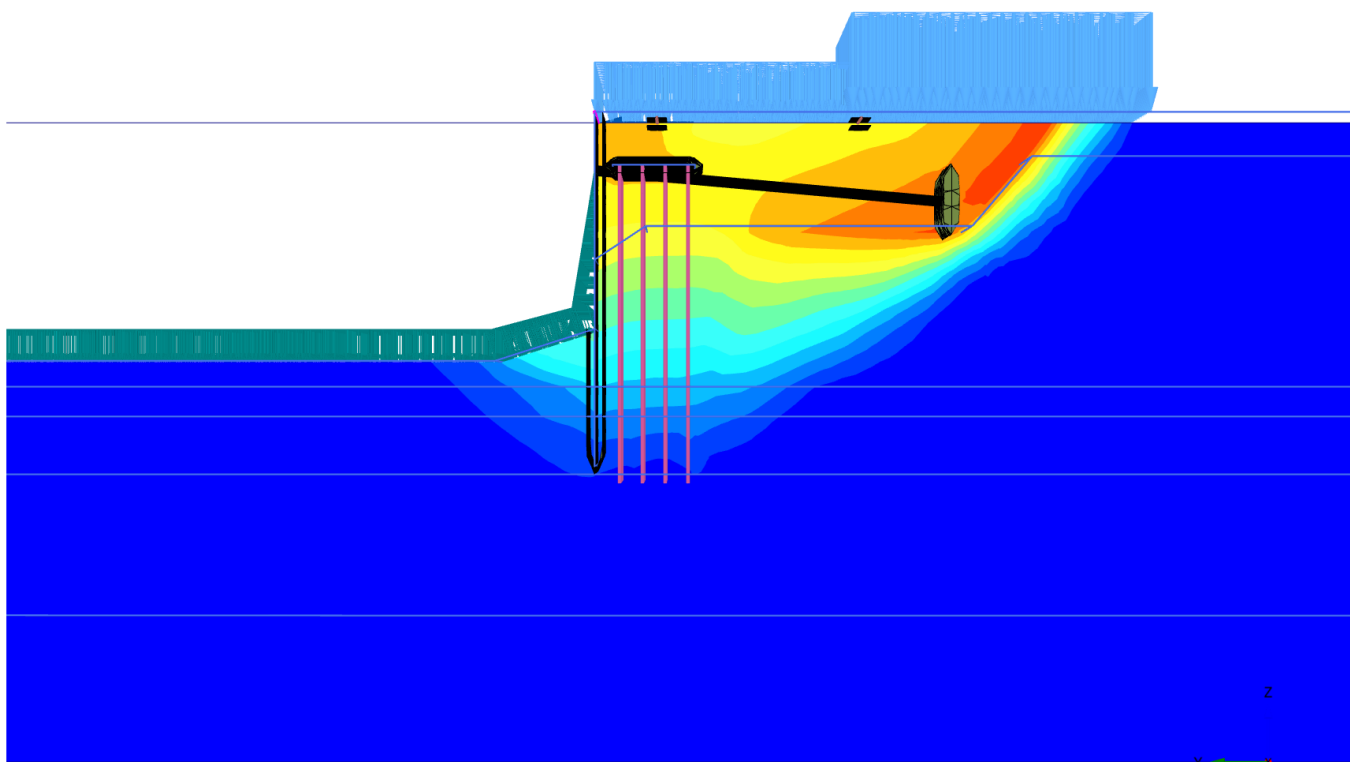


Рис. 4 – Вероятная призма скольжения в основании причального сооружения

Расчет по деформациям (по II группе предельных состояний) выполнен для определения расчетных перемещений системы «причал-основание» и сопоставления их с предельными значениями, гарантирующими нормальные условия эксплуатации сооружения и обеспечивающие его надежность и долговечность.

Расчет по деформациям показал, что расчетное горизонтальное перемещения лицевой стенки причала составило 69 см, расчетный наклон стенки – 3,4%, что превышает значения, которые определяют предельное состояние сооружения. Горизонтальные деформации причального сооружения на стадии эксплуатации представлены на рис. 5, 6.

Результаты технического обследования показали, что лицевая стенка (на участке Y300...Y360) имеет отклонение от вертикали 84 см, наклон составил 7,8%. Таким образом, полученная численная модель причального сооружения достоверно описывает его фактическое напряженно-деформированное состояние.

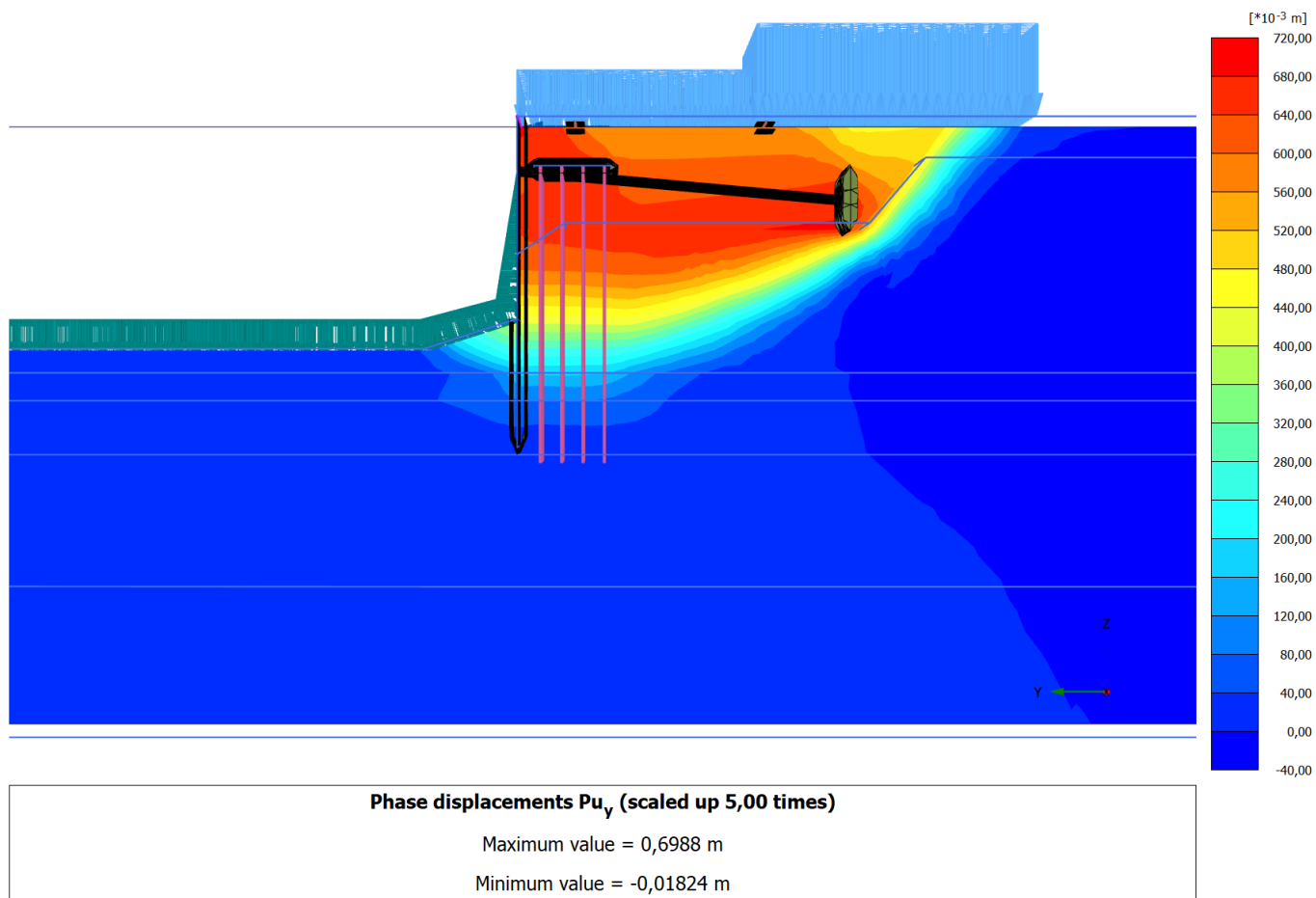


Рис. 5 – Горизонтальные деформации системы «причал-основание» на стадии эксплуатации

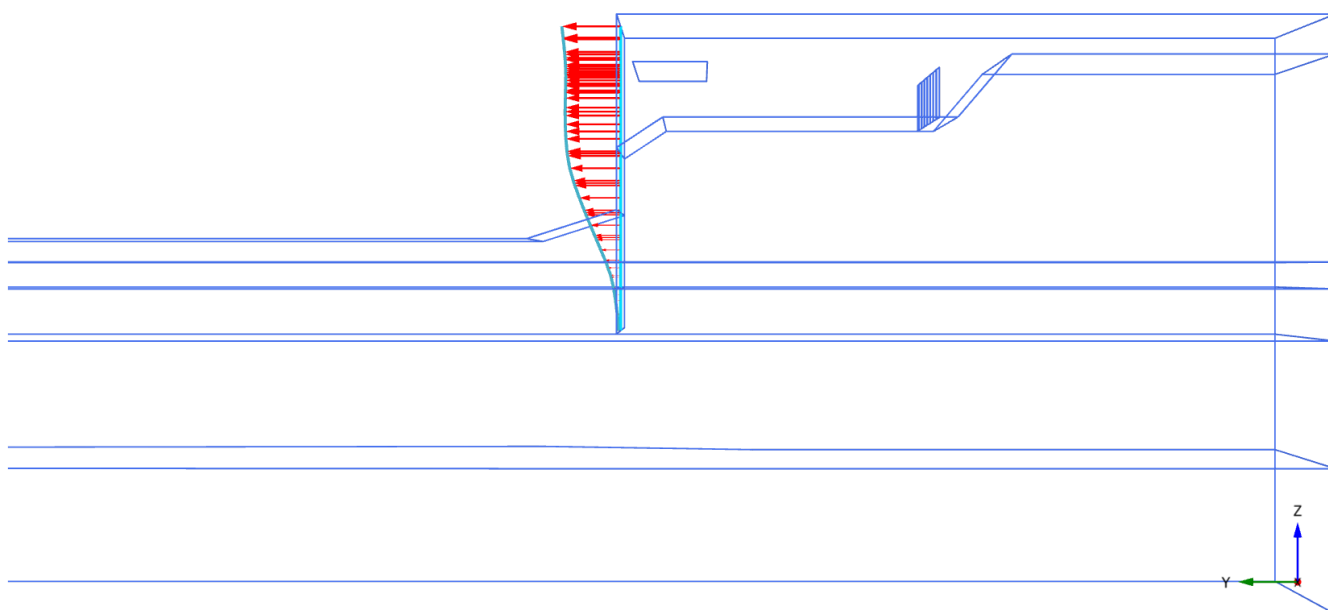


Рис. 6 – Отклонения лицевой стенки от вертикали на стадии эксплуатации

Результаты технического обследования и численного моделирования напряженно-деформированного состояния причала показали, что сооружение не отвечает требованиям, предъявляемым к гидротехническому сооружению по надежности, и требует разработки мероприятий по его усилению.

Заключение и обсуждение

Одной из причин появления больших деформаций отклонения от вертикали лицевой стенки и оголовка причального сооружения является наличие слабых (сильнодеформируемых) суглинистых илов, мощностью 7,5 м, находящихся в текучепластичном состоянии. Как видно на рисунке 5, что анкерные плиты попадают в призму обрушения, тем самым не выполняют свои функции.

Таким образом, для обеспечения надежной эксплуатации причального сооружения необходимо преобразовать (улучшить) свойства слабых (сильнодеформируемых) грунтов в прикормонной зоне акватории и самого причала.

Для обеспечения надежности и безопасности дальнейшей эксплуатации причального сооружения разработаны 2 варианта усиления. Расчетное обоснование выполнено в ПК PLAXIS на основе откалиброванных численных моделей причала.

Вариант 1. Устройство грунтовых анкеров для закрепления верхней части лицевой стенки причального сооружения. Выполнить закрепление сильнодеформируемых грунтов путем применения технологии струйной цементации у лицевой стенки со стороны акватории и тыльной стороны для обеспечения надежного защемления шпунтовой стенки (рис. 7);

Вариант 2. Устройство оторочки в виде заанкеренного больверка с креплением верхней ее части грунтовыми анкерами в прочные грунты. (рис. 8).

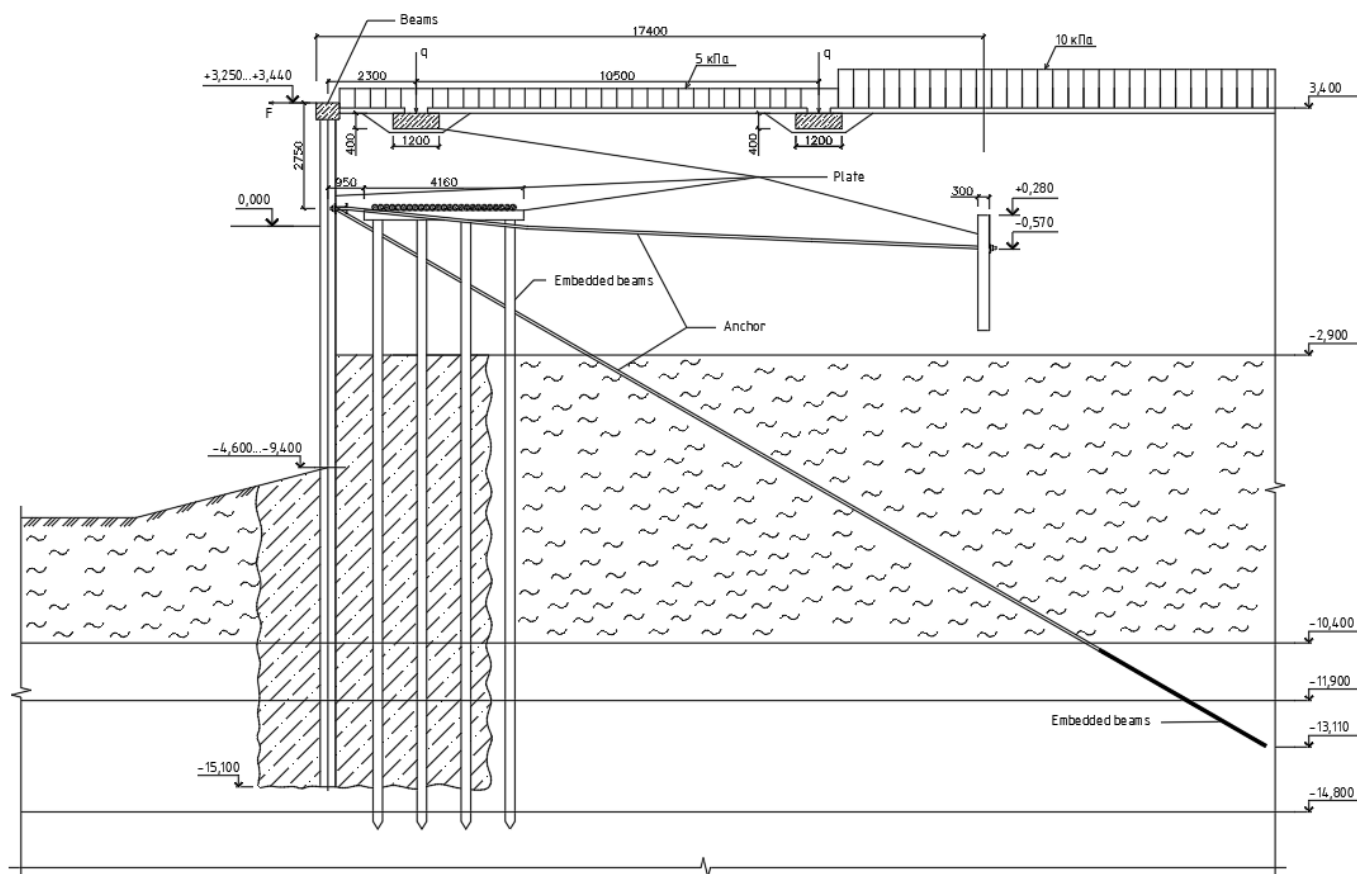


Рис. 7 – Схема усиления по варианту 1

1. Овчинников Н.М. Обзор методов реконструкции причалов типа "больверк" / Н.М. Овчинников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. — 2021. — №1. — С. 98-107.
2. Бик Ю.И. Оценка технического состояния и повышение несущей способности портовых гидротехнических сооружений на реках Сибири: автореф. дис. д-р. техн. наук: 05.23.07 / Ю.И. Бик. — Новосибирск, 1998. — 354 с.
3. Вехи большого пути // Arctic Russia. — URL: <https://arctic-russia.ru/article/gruzooborot-sevmorputi-v-2021-godu-rost-sverkh-ozhidaniy/> (дата обращения: 01.11.2022).
4. План развития Северного морского пути до 2035 года // Правительство России. — URL: <http://static.government.ru/media/files/StA6ySKbBceANLRA6V2sF6wbOKSyxNzw.pdf> (дата обращения: 01.11.2022).
5. Строительные нормы и правила российской федерации, гидротехнические сооружения // ГОСТРФ. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035247> (дата обращения: 30.10.2022).
6. Основные положения расчета причальных сооружений на надежность // Gosthelp.ru. — URL: <https://gosthelp.ru/text/RD31313585Osnovnyepolozhe.html> (дата обращения: 30.10.2022).
7. СП 24.13330.2021 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты» (с изменением N 1, 2): приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14 декабря 2021 г. — № 926/пр.
8. СП 58.13330.2019 «Гидротехнические сооружения. Основные положения»: приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 16.12.2019. — № 811/пр.
9. ГОСТ Р 54523-2011 «Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»: приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25.11.2011. — № 600-ст.
10. Технический отчет по результатам инженерных изысканий в рамках выполнения научно-исследовательских работ по теме «Оценка технического состояния причала базы технического обслуживания флота в порту Архангельск»
11. Будин А.Я. Городские и портовые набережные / А.Я. Будин. — СПб.: Политехника, 2014. — 424 с.
12. Пособие по моделям материалов и научное пособие // PLAXIS. — URL: https://www.plaxis.ru/support/manual_supplement/ (дата обращения: 01.11.2022).
13. Аварийное состояние причальной стенки // Волгоградский речной порт. — URL: <https://www.vrp.ru/news/press-releases/68/> (дата обращения: 01.11.2022).

14. РД 31.31.38–86 «Инструкция по усилению и реконструкции причальных сооружений»: утвержден государственным проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом морского транспорта «СОЮЗМОРНИИПРОЕК».

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ovchinnikov N.M. Obzor metodov rekonstrukcii prichalov tipa "bol'verk" [A Review of methods of reconstruction of piers of "bulwark" type] / N.M. Ovchinnikov // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika [Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanistics]. — 2021. — №1. — P. 98-107 [in Russian]
2. Bik Y.I. Ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya i povysheenie nesushchej sposobnosti portovyh gidrotekhnicheskikh sooruzhenij na rekah Sibiri [Assessment of Technical State and Increasing Bearing Capacity of Port Hydro Technical Structures on the Siberian Rivers]: dis. ... of PhD in Technical Sciences: 05.23.07 / Y.I. Bik. — Novosibirsk, 1998. — 354 p. [in Russian]
3. Vekhi bol'shogo puti [Milestones of the great way] // Arctic Russia. — URL: <https://arctic-russia.ru/article/gruzooborot-sevmorputi-v-2021-godu-rost-sverkh-ozhidaniy/> (accessed: 01.11.2022) [in Russian]
4. Plan razvitiya Severnogo morskogo puti do 2035 goda [Plan of development of Northern sea way till 2035] // Government of Russia. — URL: <http://static.government.ru/media/files/StA6ySKbBceANLRA6V2sF6wbOKSyxNzw.pdf> (accessed: 01.11.2022) [in Russian]
5. Stroitel'nye normy i pravila rossijskoj federacii, gidrotekhnicheskie sooruzheniya [Construction norms and rules of the Russian Federation, hydraulic structures] // GOSTRF. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200035247> (accessed: 30.10.2022) [in Russian]
6. Osnovnye polozeniya rascheta prichal'nyh sooruzhenij na nadezhnost' [Main provisions of calculation of berthing facilities for reliability] // Gosthelp.ru. — URL: <https://gosthelp.ru/text/RD31313585Osnovnyepolozhe.html> (accessed: 30.10.2022) [in Russian]
7. SP 24.13330.2021 «SNiP 2.02.03-85 Svajnye fundamenty» (s izmeneniem N 1, 2): prikaz Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva Rossijskoj Federacii ot 14 dekabrya 2021 g. [SP 24.13330.2021 "SNiP 2.02.03-85 Pile Foundations" (as amended N 1, 2): Order of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation of 14 December 2021]. — № 926 / pr. [in Russian]
8. SP 58.13330.2019 «Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozeniya»: prikaz Ministerstva stroitel'stva i zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva RF ot 16.12.2019 [SP 58.13330.2019 "Hydraulic structures. Main provisions": the order of the Ministry of construction and housing and communal services of the Russian Federation from 16.12.2019]. — № 811/pr [in Russian]
9. GOST R 54523-2011 «Portovye gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya»: prikaz Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 25.11.2011 [GOST R 54523-2011 "Port hydraulic structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition": order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from 25.11.2011]. — № 600-st [in Russian]
10. Technical report on the results of engineering surveys as part of the research work on «Assessment of the technical condition of the pier of the fleet maintenance base in the port of Arkhangelsk»
11. Budin A.Y. Gorodskie i portovye naberezhnye [Urban and port embankments] / A.Y. Budin — SPb.: Polytechnika, 2014. — 424 p. [in Russian]
12. Posobie po modelyam materialov i Nauchnoe posobie [Manual on material models and Scientific Manual] // PLAXIS. — URL: https://www.plaxis.ru/support/manual_supplement/ (accessed: 01.11.2022) [in Russian]
13. Avarijnoe sostoyanie prichal'noj stenki [Emergency condition of the quay wall] // Volgogradskij rechnoj port [Volgograd River Port]. — URL: <https://www.vrp.ru/news/press-releases/68/> (accessed: 01.11.2022) [in Russian]
14. RD 31.31.38–86 «Instrukciya po usileniyu i rekonstrukcii prichal'nyh sooruzhenij» [RD 31.31.38-86 "Instruction on strengthening and reconstruction of berthing facilities"]: approved by State Design and Research Institute of Maritime Transport "SOYUZMORNIIPROEK" [in Russian]