

УДК 627.2:519.6

**РАЗВИТИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОГО ХАБА: КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ ПРИЧАЛЬНОГО ФРОНТА В ЦЕЛЯХ ИНТЕГРАЦИИ ОЭЗ «КУЛИБИН» В
МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНТЕЙНЕРНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ****Кочкурова Наталия Викторовна¹**, доцент, кандидат технических наукe-mail: kochkurovanataly@mail.ru**Власов Дмитрий Михайлович¹**, магистрантe-mail: dmitrij.vlasov14@yandex.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются инженерно-технические и проектные решения, направленные на развитие мультимодального хаба в рамках расширения особой экономической зоны (ОЭЗ) «Кулибин». Ключевая проблема — недостаточная глубина акватории перед причалом, расположенным у берега, что делает подход судов невозможным без конструктивных изменений инфраструктуры. Представленные в статье результаты обоснования усиления существующей стенки заанкерванным больверком подтверждают возможность достижения проектных глубин, установленных для мультимодального хаба города Бор.

Ключевые слова: мультимодальный хаб, порт-хаб, оторочка, одноанкерный больверк, численное моделирование, реконструкция.

**DEVELOPMENT OF A MULTIMODAL HUB: CONSTRUCTIVE SOLUTIONS FOR
THE BERTHING FRONT IN ORDER TO INTEGRATE THE KULIBIN SEZ INTO
INTERNATIONAL CONTAINER TRANSPORTATION****Natalia V. Kochkurova¹**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciencese-mail: kochkurovanataly@mail.ru**Dmitry M. Vlasov¹**, Master's Degree studente-mail: dmitrij.vlasov14@yandex.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses engineering, technical and design solutions aimed at the development of a multimodal hub within the framework of the expansion of the Kulibin special Economic Zone (SEZ). The key problem is the insufficient depth of the water area in front of the berth located near the shore, which makes the approach of ships impossible without constructive changes to the infrastructure. The results presented in the article substantiate the reinforcement of the existing wall with an anchored bolwerk confirm the possibility of achieving the design depths set for the multimodal hub of the city of Bor.

Keywords: multimodal hub, port hub, rim, single-tank firework, numerical modeling, reconstruction.

Современная логистика и международная торговля предъявляют повышенные требования к скорости, надежности и экономической эффективности грузоперевозок. Одним из ключевых ответов на эти вызовы является создание мультимодальных портов (хабов) – транспортно-перегрузочных узлов, обеспечивающих бесшовную стыковку нескольких видов транспорта: морского, речного, железнодорожного и автомобильного.

В настоящее время в Российской Федерации реализуется масштабная программа по строительству сети таких портов-хабов. Эта инициатива связана с переориентацией экспортно-импортных потоков на новые глобальные маршруты. Ключевую роль в новой логистической архитектуре играет Международный транспортный коридор (МТК) «Север – Юг», который призван обеспечить кратчайшее сообщение между странами Балтики, Прикаспийского региона, Ирана, Индии и государствами Персидского залива. В рамках этого тренда являются актуальными проекты по созданию новых мультимодальных хабов на Волге, Дону и Каспии.

Одним из самых перспективных проектов такого рода является расширение Особой экономической зоны (ОЭЗ) «Кулибин» в Нижегородской области. Согласно решению Правительства РФ, в состав ОЭЗ включается новая территория на берегу Волги в городе Бор (117,7 га) под строительство многофункционального мультимодального хаба. Прогнозируемый контейнерооборот порта достигнет 100 тыс. TEU в год, а общий грузопоток – около 1 млн тонн различной номенклатуры (включая продукцию химической промышленности, металлообработки и машиностроения).

Однако успешная интеграция ОЭЗ «Кулибин» в международные контейнерные перевозки невозможна без конструктивных решений для причального фронта будущего хаба. Он имеет главную проблему – невозможность швартовки грузовых судов непосредственно у кордона, суда останавливаются на расстоянии 15 метров от причалов. Это связано с тем, что причальная стенка, проектировалась на отметку НПУ Чебоксарского водохранилища, равную 68мБС, однако сейчас уровень воды реки Волга не достигает до сооружения. Достижение указанной отметки в перспективе не планируется. Углубление дна перед причальной стенкой без предварительного усиления сооружения приведёт к потере его устойчивости. Следовательно, для полноценной эксплуатации причалов в работе порта необходимо реализовать конструктивные решения по усилению гидротехнического сооружения.

Главной целью усиления сооружения является достижение необходимой глубины перед ним. У существующего сооружения глубина погружения шпунта в основание составляет 7м. Исходя из осадки расчетных контейнеровозов и необходимых запасов под их днищем необходимо углубить дно перед сооружением на 4,5м. Таким образом, остаточной глубины погружения шпунта 2,5м недостаточно для обеспечения его устойчивости (рисунок 1).



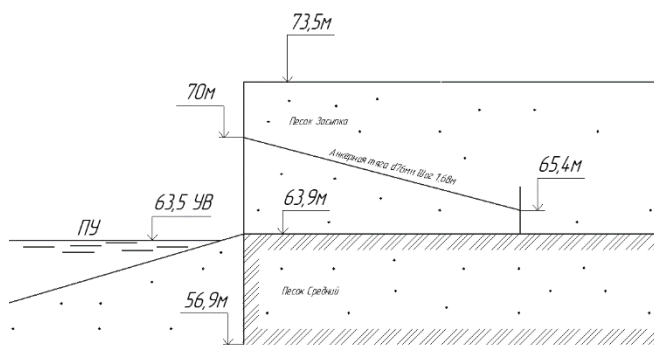


Рисунок 1 – Современное состояние причальной стенки

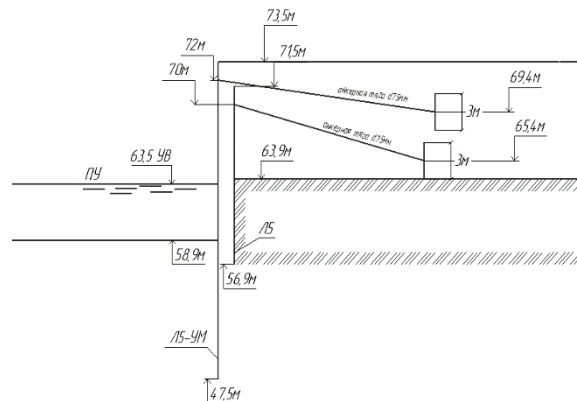


Рисунок 2 – Схема усиления сооружения

Некоторые методы усиления причальных сооружений приведены в РД 31.31.38-86 «Инструкции по усилению и реконструкции причальных сооружений», а также в работах разных авторов, например [1-3]. Согласно анализу возможных методов усиления больверка, в качестве основного варианта принято устройство оторочки. Данный метод является классическим решением и полностью соответствует техническим характеристикам и условиям эксплуатации рассматриваемого сооружения.

В рамках настоящего исследования применяются современные методы автоматизированного проектирования, основанные на численном моделировании. Данный подход обеспечивает высокую скорость получения решений для сложных задач и соответствует современным требованиям к инженерному анализу [2, 4].

Оторочка в виде заанкеренного больверка располагается перед существующей стенкой в 1,5 м от нее. Верх существующего шпунта срезается на 2 м до отметки 71,5 мБС для осуществления анкеровки оторочки (рисунок 2). При проектировании конструкции оторочки возник ряд вопросов, для решения которых был применен вариативный подход с анализом полученных результатов и поиском оптимального решения:

- необходимость устройства связывающих анкеров между двумя стенками;
- поиск оптимальной глубины погружения шпунта оторочки;
- подбор профиля шпунта оторочки;
- подбор размеров и положения анкерных плит оторочки.

Расчетное обоснование параметров и конструктивных особенностей оторочки выполнялось на основе численного моделирования в 3D постановке методом конечных элементов по первой группе предельных состояний. Результативными критериями выступали максимальные и минимальные изгибающие моменты, анкерные усилия, возникающие в элементах конструкции. Модель сооружения приведена на рисунке 3.

Было проведено исследование в виде серии расчетов с вариацией параметров оторочки.

Для исследования необходимости устройства связывающих анкеров между двумя стенками моделировалось сооружение без анкеров и с анкерами разных диаметров (50, 75 и 100 мм). Анкеры располагались в двух уровнях по высоте сооружения на отметках 69,5 и 65,5 мБС. Шпунт принимался идентичным существующему. Результаты расчета приведены в таблице 1 и графически изображены на рисунке 4.

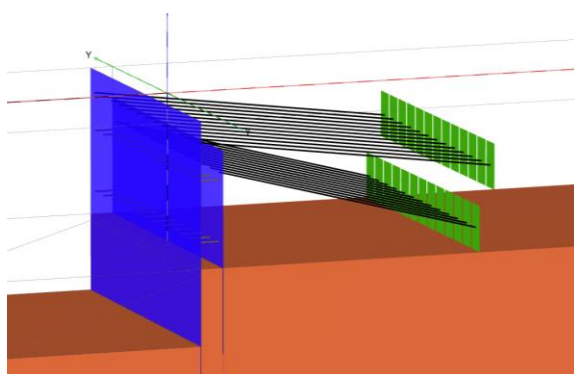


Рисунок 3 – Модель сооружения

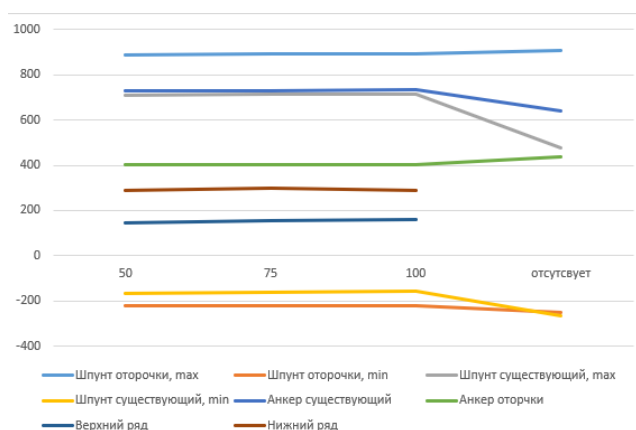


Рисунок 4 – Графики зависимости изгибающих моментов и анкерных реакций от параметров анкеров между оторочкой и существующей стенкой

Анализ результатов расчётов показывает, что увеличение диаметра связывающих анкеров не приводит к существенному изменению прочностных параметров сооружения: эффект находится в пределах погрешности инженерных расчётов (не превышает 3–5%). При этом наблюдается неравномерное распределение усилий между пролётной и защемлённой частями конструкции: максимальные изгибающие моменты фиксируются в пролёте конструкций; минимальные — в зоне защемления. Пролётные части конструкций оказываются излишне нагруженными: на них приходится 80 % общей нагрузки.

При отсутствии связывающих анкеров наблюдается значительное снижение изгибающего момента в пролёте существующей стенки с 709 до 476 кНм (на 33%) и перераспределение в защемлённую часть. Усилие в анкерной тяге существующей стенки также снижается на 12 % — с 729 кН до 638 кН.

В целом значения изгибающих моментов в шпунте оторочки значительно превышают предельные моменты в оторочке на 25% (предельный изгибающий момент 710,9 кНм), а в существующей стенке менее 1% при использовании связывающих анкеров и не превышает предельный при их отсутствии.

Поиск оптимальной глубины погружения шпунта оторочки был произведен при его заглублении от 8,5 до 11,4м. Графики зависимости изгибающих моментов и анкерных реакций от величины заглубления шпунта оторочки показаны на рисунке 5.

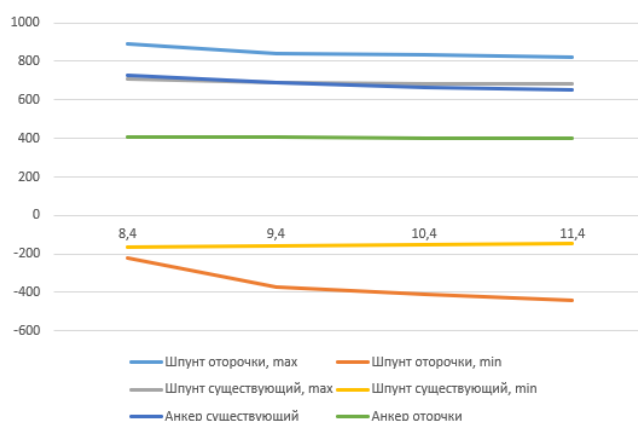


Рисунок 5 – Графики зависимости изгибающих моментов и анкерных реакций от величины заглубления шпунта оторочки

Увеличение заглубления шпунта оторочки существенно снижает изгибающий момент в шпунте оторочки (на 8%) и приводит к значительному перераспределению нагрузки между пролетной и защемленной частью. В шпунте существующей стенки изгибающие моменты также снижаются, однако не происходит перераспределения нагрузки между пролетной и защемленной частью шпунта. Нагрузки высоки и превышают предельные значения.

Увеличение заглубления шпунта оторочки приводит к снижению анкерной реакции в анкерах существующей стенки и не влияет на реакции в анкерах оторочки.

Подбор размеров анкерных плит оторочки, а именно их высоты, выполнялся при ее изменении с 3 до 6м. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты расчета влияния увеличения высоты анкерных плит

Высота анкерной плиты оторочки, м	Изгибающий момент		Анкерная реакция			
	Шпунт оторочки, кН·м (max/min)	Шпунт существующей стенки, кН·м (max/min)	Анкер существующей стенки, кН	Анкер оторочки, кН	Верхний ряд дополнительных анкеров, кН	Нижний ряд дополнительных анкеров, кН
3,0x1,5	819/-439	685/-148	654	402	117	279
4,0x1,5	818/-444	683/-155	667	381	127	286
5,0x1,5	815/-446	678/-157	671	379	130	289
6,0x1,5	813/-447	668/-159	675	378	133	292

Данные таблицы 3 показывают, что увеличение высоты анкерной плиты оторочки приводит к незначительному снижению изгибающего момента в пролете (на 1%) и увеличению в защемлении (на 2%) шпунта оторочки. В шпунте существующей стенки также изменения незначительны. Такое же влияние прослеживается в анкерах: у существующей стенки усилие увеличивается на 3%, в анкерах оторочки уменьшается на 6%.

При замене профиля шпунта Л5 на более жёсткий Л5-УМ, изгибающий момент в шпунте оторочки снизился (таблица 4) в пролете на 9%, в защемлении на 5%. Однако произошел рост изгибающего момента в шпунте существующей стенки на 7% в пролете и на 10% в защемлении. Анкерные реакции увеличились в анкерах существующей стенки на 4% и в анкерах оторочки незначительно снизились.

Таблица 4. Результаты расчета влияния профиля шпунта оторочки

Профиль шпунта оторочки	Изгибающий момент		Анкерная реакция			
	Шпунт оторочки, кН·м (max/min)	Шпунт существующей стенки, кН·м (max/min)	Анкер существующей стенки, кН	Анкер оторочки, кН	Верхний ряд дополнительных анкеров, кН	Нижний ряд дополнительных анкеров, кН
Л5	818/-444	683/-155	667	381	127	286
Л5-УМ	748/-423	732/-170	696	379	108	314
Л5-УМ (без доп.)	776/-503	496/-272	630	409	-	-

Вышеперечисленные расчеты выполнены при наличии связывающих анкеров между существующей стенкой и оторочкой. Однако результаты этих расчетов показывают превышение расчетными усилиями в конструкциях их предельных значений. Поэтому

рассмотрен третий вариант – замена профиля шпунта оторочки для конструкции без связывающих анкеров между существующей стенкой и оторочкой (Л5 УМ бездоп).

По данным таблицы 4 видно, что отсутствие дополнительных анкеров существенно разгружает существующее сооружение. Изгибающий момент в шпунте оторочки увеличился на 3,74%, но остается ниже предельного значения (835 кН·м) с запасом 7,6%. Соотношение между пролетной и защемленной частью составляет 65%. В шпунте существующей стенки изгибающий момент снизился на 32% и соотношение между пролетной и защемленной частью составляет 55%. Усилие в анкер оторочки выросло на 8%, но остается в пределах допуска. Усилие в анкер существующей стенки снизилось на 9,5%.

Выводы

По итогам всех выполненных расчётов сформирована рекомендуемая схема усиления. Она включает новый шпунт профиля Л-5УМ, глубину заглубления 11,4 метра, отсутствие дополнительных анкеров между шпунтами и железобетонные плиты размером 3,0 на 1,5 метра. Именно эта комбинация обеспечивает наилучшее соотношение между перемещениями, изгибающими моментами и анкерными реакциями из всех рассмотренных альтернатив.

Численное моделирование позволяет провести сравнительный анализ восьми схем усиления и выбрать оптимальную. Оторочка в виде заанкерowanego больверка подтвердила свою эффективность для данного сооружения. Наличие дополнительных анкеров приводит к росту усилий в конструкции. Максимальный положительный эффект достигается за счёт двух факторов: увеличения глубины забивки шпунта и смены профиля на более жёсткий. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании реконструкции причальных сооружений в аналогичных инженерно-геологических и эксплуатационных условиях.

Список литературы:

1. Овчинников, Н.М. Обзор методов реконструкции причалов типа "больверк" [Текст] / Н.М. Овчинников // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. — 2021. — №1. — С. 98-10.
2. Коршунов, А. А. Усиление причала базы технического обслуживания флота в порту Архангельск [Текст] / А. А. Коршунов, А. В. Трифанов, А. С. Тутыгин // Современное строительство и архитектура. — 2023. — № 2(33). — С. 11-20. — DOI 10.18454/mca.2023.2.33.002. — EDN NBCRZU.
3. Кадина, А. А. Накопленный опыт реконструкции и усиления причальных сооружений типа тонкой стенки [Текст] / А. А. Кадина. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2025. — № 22 (573). — С. 101-104. — URL: <https://moluch.ru/archive/573/126127> (дата обращения: 14.05.2026)
4. Ситнов, А. Н. Изменение напряженно-деформированного состояния причальных портовых сооружений под действием различных факторов [Текст] / А. Н. Ситнов, Н. В. Кочкурова // Транспорт. Горизонты развития : Труды 1-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород - Новосибирск, 25–28 мая 2021 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО "ВГУВТ"), 2021. – С. 55. – EDN USUNRX.

