

УДК 627.5

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ УСТОЙЧИВОСТИ ВНУТРЕННИХ БРОВОК ОГРАДИТЕЛЬНЫХ ДАМБ ВОЛГО-КАСПИЙСКОГО МОРСКОГО СУДОХОДНОГО КАНАЛА

Гоголев Алексей Евгеньевич¹, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений

e-mail: gsp.nn@mail.ru

Милицын Дмитрий Алексеевич¹, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений

e-mail: miltsinda@mail.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Одной из причин высокой заносимости ложа Волго-Каспийского морского судоходного канала является размыв внутренних бровок оградительных дамб в морской части. В статье приводятся предложения по повышению устойчивости откосов оградительных дамб и снижению их размыва с целью повышения безопасности судоходства на канале.

Ключевые слова: оградительные дамбы, устойчивость откоса, Волго-Каспийский морской судоходный канал.

PROPOSALS FOR INCREASING THE STABILITY OF THE INNER EDGES OF THE PROTECTIVE DAMS OF THE VOLGA-CASPIAN SEA SHIPPING CANAL

Alexey E. Gogolev¹, Ph.D (Eng), Associate Professor of the Department of Waterway and Hydraulic Structures

e-mail: gsp.nn@mail.ru

Dmitry A. Miltsin¹, Ph.D (Eng), Associate Professor of the Department of Waterway and Hydraulic Structures

e-mail: miltsinda@mail.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. One of the reasons for the high sediment load on the bed of the Volga-Caspian Sea Shipping Canal is the erosion of the inner edges of the protective dams in the marine part. The article presents proposals for increasing the stability of the slopes of protective dams and reducing their erosion in order to improve the safety of navigation on the canal.

Keywords: protective dams, slope stability, Volga-Caspian Sea Shipping Canal.

Волго-Каспийский морской судоходный канал (ВКМСК) является важной частью международного транспортного коридора «Север-Юг» и имеет стратегическое значение для перевозки грузов в Каспийском бассейне [1]. При этом обеспечение судоходных глубин на канале является сложной и дорогой задачей в связи с целым рядом факторов, основными из которых является высокая заносимость ложа ВКМСК [2-5] и понижение среднего уровня Каспийского моря [6].

Морская часть канала на участке до 152 км судового хода имеет практически сплошную обваловку в виде оградительных дамб, расположенных по обеим бровкам. Дамбы сооружены из местных материалов в результате формирования отвала грунта, выполненного при ремонтном дноуглублении на канале, и частично закреплены растительностью.

Средние отметки верха территории дамб-отвалов на 130-140 км судового хода составляют от «-26,0» до «-27,0» м БС, максимальные на отдельных отвалах до «-24,2» м БС. На участке ниже 147 км отметки верха дамб ниже и в среднем составляют «-28,5» м БС при осредненном уровне ординара «-29,0» м БС. Средняя ширина дамб при уровне воды, близком к ординару, составляет 400-600 м.

Практически сплошная обваловка канала по обеим бровкам на участке до 145-150 км с.х. в целом справляется со своей задачей защиты судоходной трассы от наносов, сгонно-нагонных и волновых явлений со стороны открытого моря (преимущественно с восточной стороны), однако при этом формирует ряд новых дополнительных проблем для судоходства и эксплуатационного персонала ФГУП «Росморпорт». В частности, внутренние откосы дамб обвалования не имеют креплений, а сами дамбы сложены по большей части из местных грунтов, разработанных при ремонтном дноуглублении канала. Даже без учета высоких скоростей воды в русле морской части ВКМСК и отсутствии серьезных штормовых волнений во внутренней части ложа канала, откосы дамб подвергаются постоянному размыву. Переработка внутренних откосов приводит к насыщению потока воды наносами и дальнейшей аккумуляцией их ниже по течению канала. Дополнительным фактором, влияющим на переработку откосов, является их малое фактическое заложение, которое на отдельных участках в подводной части не превышает 1:3,5-1:4 и формирует неустойчивое состояние внутреннего откоса дамб с постепенным оползанием его в ложе канала.

Для исследования вопроса устойчивости внутреннего откоса оградительных дамб, разрушение которого наиболее негативным образом сказывается на заносимости канала, было выполнено расчетное обоснование необходимого заложения откоса.

В качестве исходных данных для расчета устойчивости принято поперечное сечение морской части канала на 144 км (рисунок 1), которое является типовым для участка ВКМСК с обваловкой ограждающими дамбами и расположено вблизи действующего водомерного поста №4 на 145 км с.х.

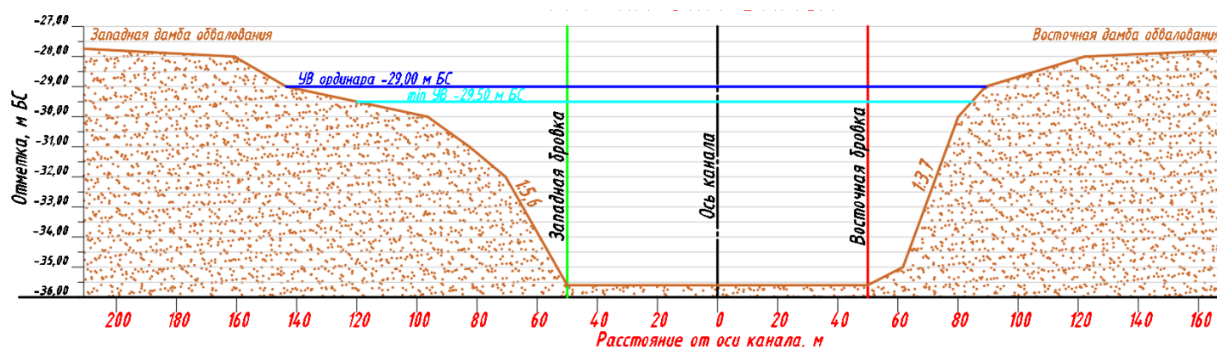


Рисунок 1 – Поперечное сечение ВКМСК на 144 км с.х.

В рассматриваемом поперечном сечении минимальное заложение внутренних откосов ограждающих дамб в подводной части составляют для восточной бровки 1:3,7, а для западной 1:5,6.

Анализ данных гидрологических измерений уровня воды по г/п №4 (о. Искусственный) за последние 15 лет показывает, что минимальный наблюдаемый уровень воды составлял «-29,50» м БС, максимальный уровень воды «-26,30» м БС, отметка ординара на рассматриваемом участке составляет «-29,00» м БС.

Поскольку ограждающие дамбы сформированы путем намыва из местных грунтов, то для расчета приняты характеристики наиболее слабого инженерно-геологического элемента с точки зрения обеспечения устойчивости откоса из представленных в ИГИ – песка пылеватого.

Расчет проводится в выбранном поперечном сечении для внутреннего откоса восточной дамбы обвалования, поскольку заложение откоса у нее меньше, чем на западной дамбе обвалования.

При расчете устойчивости откоса рассматриваем плоскую задачу, полагая, что обрушение откоса может произойти по некоторой заранее заданной поверхности, которую принимаем в виде дуги окружности (круглоцилиндрическая поверхность скольжения). Расчет проводится методом весового давления Р. Чугаева по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения.

Поскольку из большого количества возможных поверхностей обрушения откоса необходимо определить такую, которой соответствует минимальный коэффициент устойчивости, расчет целесообразно вести с использованием автоматизированного программного комплекса. Расчетная схема откоса представлена на рисунке 2.

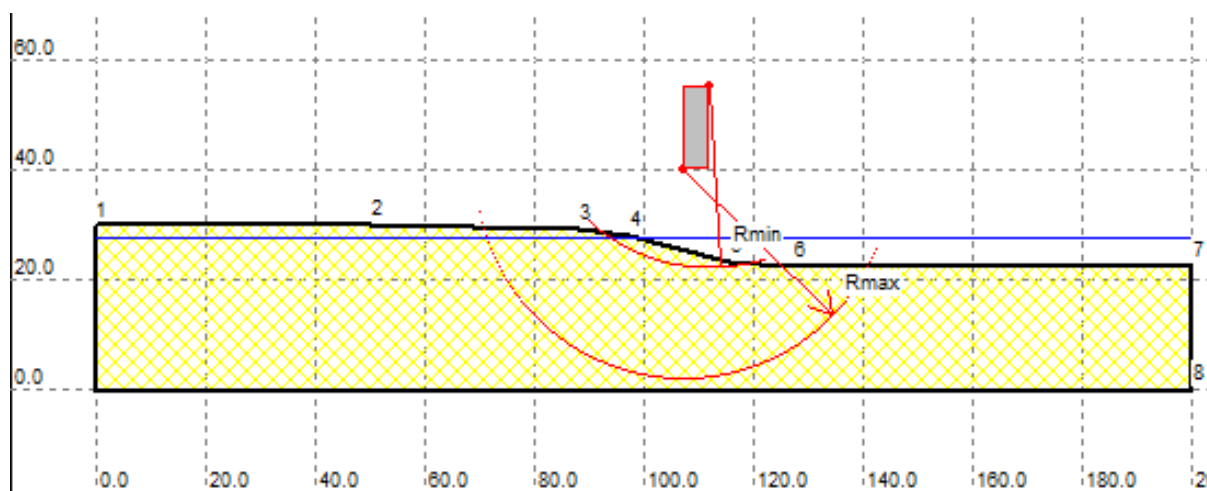


Рисунок 2 – Расчетная схема к устойчивости откоса дамбы обвалования

По результатам расчета общий коэффициент устойчивости откоса при минимальном заложении 1:3,7 составляет 0,51, что указывает на необеспечение требуемой устойчивости. Даже без учета дополнительного волнового и ледового воздействия подводный откос внутренней бровки ограждающей дамбы может быть подвержен обрушению или частичному оползанию грунта в ложе канала.

Для определения минимально необходимого для обеспечения устойчивости заложения откоса внутренней бровки канала были проведены дополнительные расчеты с учетом возможного уполаживания ограждающей дамбы (рисунок 3).

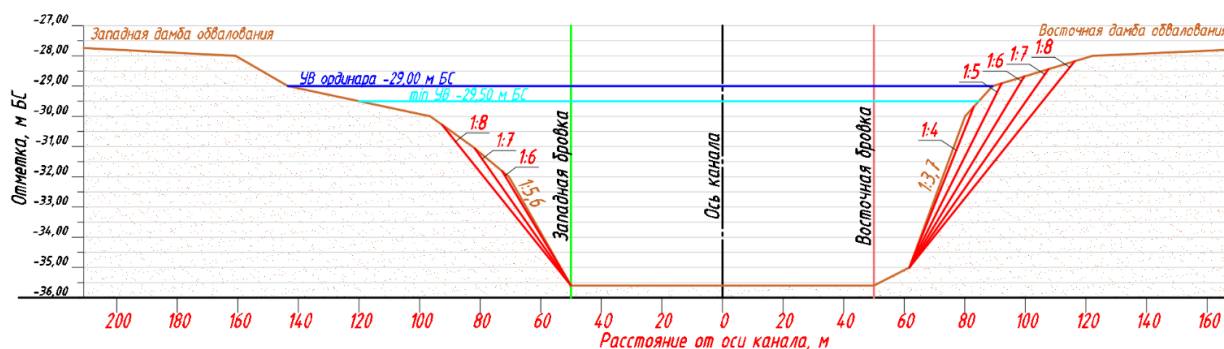


Рисунок 3 – Поперечное сечение ВКМСК на 144 км с.х. с учетом подрезки откосной части ограждающих дамб по ряду заложений откоса

Результаты расчета коэффициента устойчивости в зависимости от проектного заложения бровки показаны в таблице 1. Помимо расчета устойчивости в таблице 1 приведены сведения по удельному объему выемки грунта на один погонный метр дамбы, необходимому для обеспечения соответствующего заложения откоса. Данные определялись на основании рисунка 3 по восточной бровке, как имеющей изначально наименьшее заложение откоса.

Таблица 1 – Устойчивость внутренней бровки канала на 144 км с.х.

№	Заложение откоса бровки	Коэффициент устойчивости	Объем выемки на 1 погонный метр дамбы, м ³
1	1:3,67 (существующий)	0,51	-
2	1:4	0,59	4,3
3	1:5	1,11	21,2
4	1:6	1,28	36,2
5	1:7	1,63	56,9
6	1:8	2,30	79,3

В соответствии с приложением Б СП 58.13330.2019 [7] морские берегоукрепительные сооружения, береговые укрепления, струнаправляющие и наносоудерживающие дамбы независимо от типа грунта основания имеют III класс ответственности сооружений. При этом в соответствии с назначением и условиями эксплуатации морские оградительные сооружения и гидротехнические сооружения каналов, оградительные и причальные сооружения морских портов имеют класс I-III в зависимости от объема навигационного грузооборота. Рассматриваемые оградительные дамбы в морской части ВКМСК относятся к акватории морского порта Оля, который согласно данным ФГУП «Росморпорт» имеет пропускную способность порядка 4,5 млн тонн в год. Таким образом, для оградительных дамб по объему навигационного грузооборота морского порта в диапазоне от 1,5 до 6 млн тонн в год может быть принят II класс ответственности ГТС.

Для наивысшего II класса ответственности (по назначению сооружения) ГТС минимальный коэффициент устойчивости откоса дамб составляет 1,2.

В соответствии с данными расчета (рисунок 4) минимальное заложение внутреннего откоса ограждающих дамб из условия обеспечения устойчивости с учетом класса ГТС должно составлять не менее 1:5,5. При этом в п.1.7 паспорта Волго-Каспийского морского судоходного канала указано, что заложение откосов прорези на морской части канала должно быть принято 1:8 как для левой, так и для правой бровок. Устойчивость откоса прорези для проектного заложения 1:8 согласно расчету обеспечена: коэффициент устойчивости, рассчитанный для поперечного сечения на 144 км с.х., составляет 2,30.

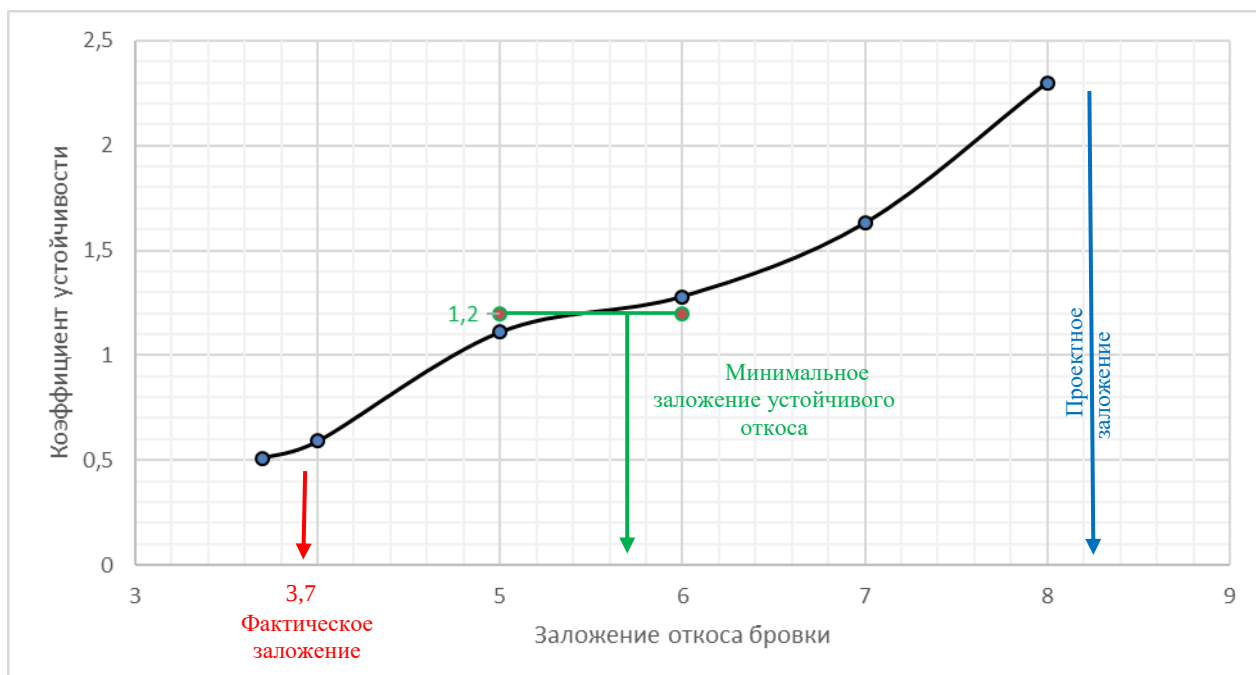


Рисунок 4 – Зависимость устойчивости откоса ограждающей дамбы от заложения откоса

Таким образом, в качестве одного из мероприятий по снижению заносимости канала в работе предлагается уположивание внутренних откосов существующих ограждающих дамб на морской части канала до заложения 1:8 в соответствии с требованиями паспорта ВКМСК с перемещением разработанного грунта на внешние кромки дамб в границы выделенных отвалов донного грунта. Это позволит повысить устойчивость откосов дамб и снизить величину их размыва даже с учетом воздействия негативных факторов в виде высоких скоростей течения, волновых и ледовых воздействий на неукрепленный откос. Объем работ по подрезке внутренних откосов до проектного заложения 1:8 предварительно оценивается в ~80,0 тысяч м³ на один погонный километр дамбы.

Список литературы:

1. Гончарова, Н. В., & Уртминцев, Ю. Н. (2025). Обоснование комбинированных транспортно-логистических схем доставки минеральных удобрений через терминалы портов МТК «Север-Юг». Научные проблемы водного транспорта, (84), 196-212. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi84.627>
2. Воронина Ю.Е., Ситнов А.Н., Шестова М.В. Анализ русловых переформирований и причин деформаций, вызывающих затруднения для судоходства на участке большого колена ВКМСК // Труды 10-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна» («ВОЛГА-2025»). Выпуск 8.- г. Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2025. – URL: http://вф-река-море.рф/ECO/2025/PDF_ECO/eco31.pdf (дата обращения: 16.06.2026)
3. Липатов И.В. Динамика перемещения поля взвешенных наносов на участке 140-156 км Каспийского канала // Труды 10-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна» («ВОЛГА-2025»). Выпуск 8.- г. Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2025. – URL: http://вф-река-море.рф/ECO/2025/PDF_ECO/eco38.pdf (дата обращения: 16.06.2026)
4. Ситнов А.Н., Шестова М.В., Воронина Ю.Е. Укрупненная оценка современного состояния русловых деформаций и дноуглубительных работ и их влияние на обеспечение

судоходных условий Волго-Каспийского морского судоходного канала и участка р.Волга от о.п. Стрелецкое до истока рукава Бахтемир (3029 – 3063,7 км) // Труды 10-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна» («ВОЛГА-2025»). Выпуск 8.- г. Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2025. – URL: http://вф-река-море.рф/ECO/2025/PDF_ECO/eco41.pdf (дата обращения: 16.06.2026)

5. Шестова М.В. Анализ научно-технической информации по обеспечению условий судоходства на Волго-Каспийском морском судоходном канале // Труды 10-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна» («ВОЛГА-2025»). Выпуск 8.- г. Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2025. – URL: http://вф-река-море.рф/ECO/2025/PDF_ECO/eco42.pdf (дата обращения: 16.06.2026)

6. Ситнов А.Н., Шестова М.В., Воронина Ю.Е. Исследование причин изменения уровня воды Каспийского моря и оценка влияния его на судоходные глубины Волго-Каспийского морского судоходного канала // Труды 10-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна» («ВОЛГА-2025»). Выпуск 8.- г. Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2025. – URL: http://вф-река-море.рф/ECO/2025/PDF_ECO/eco40.pdf (дата обращения: 16.06.2026)

7. СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения.

