



Научная статья

УДК 626.34

doi: 10.55186/25876740\_2023\_66\_4\_424

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИВНЕОТВОДЯЩИХ СООРУЖЕНИЙ НИЗКОНАПОРНОЙ ПЛОТИНЫ В УСЛОВИЯХ БЫСТРОЙ СРАБОТКИ УРОВНЯ ПАВОДКОВЫХ ВОД

**М.А. Бандурин, И.А. Приходько, А.Ю. Вербицкий**Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

**Аннотация.** Обеспечение устойчивости откоса насыпных гидротехнических сооружений при возрастающих природных и техногенных катастрофах с учетом изменения климатических и сейсмических условий является первостепенной задачей для специалистов проектных и эксплуатирующих организаций. В настоящее время, несмотря на повышенный интерес к оползневым факторам, информации о том, как размеры дренажных устройств, расположенных в области низового клина дамбы, могут повлиять на устойчивость ее откоса в случае быстрой сработки уровня паводковых вод, по-прежнему недостаточно. С целью анализа влияния размера дренажных устройств дамбы на устойчивость ее откоса при возможной сработке уровня проведены численные исследования в плоской постановке. Выполненное математическое моделирование позволило оценить нарушения устойчивости откоса дамбы за счет быстрой сработки уровня паводковых вод и определить влияние размера дренажа. Анализ результатов моделирования показал, что в сценарии с быстрой сработкой уровня воды в реке после прохождения пика паводка устойчивость откоса, обращенного в сторону реки, уменьшается. Поровое давление в верхнем бьефе насыпи уменьшается с увеличением размера дренажа низового клина, в это же время в нижнем бьефе оно увеличивается. При увеличении размера дренажа значения коэффициента устойчивости откоса возрастают. Выявленные в процессе математического моделирования факторы, влияющие на устойчивость дамбы в зависимости от длины дренажа в области низового клина, можно использовать в прогнозных целях для оценки их надежности.

**Ключевые слова:** математическое моделирование устойчивости, разрушение откосов дамбы, быстрая сработка уровня паводковых вод

**Благодарности:** исследование выполнено при поддержке РФФИ и Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № 22-17-20001.

Original article

## EVALUATION OF THE OPERATION PARAMETERS OF STORM DISCHARGE FACILITIES OF A LOW-PRESSURE DAM UNDER THE CONDITIONS OF A FAST DROP OF THE FLOOD WATER LEVEL

**M.A. Bandurin, I.A. Prikhodko, A.Yu. Verbitsky**Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin,  
Krasnodar, Russia

**Abstract.** Ensuring slope stability of embankment hydraulic structures under increasing natural and manmade disasters, taking into account changing climatic and seismic conditions, is a paramount task for specialists of design and operating organizations. At present, despite of increased interest in landslide factors, there is still insufficient information about how the size of drainage devices located in the area of downstream wedge of dam may influence its slope stability in case of rapid drawdown of flood water level. In order to analyse the influence of the size of drainage devices on the slope stability in case of a possible level failure, a numerical study was carried out in the plane formulation. The mathematical modelling performed made it possible to estimate the disturbance of the dam slope stability due to rapid flood water level drawdown and to determine the impact of the drainage size. Analysis of the simulation results showed that in the scenario of rapid drawdown of water level in the river after passing the flood peak, the stability of the slope facing the river is reduced. The pore pressure in the upstream side of the embankment decreases as the drainage size of the downstream wedge increases, while at the same time it increases in the downstream side. As the drainage size increases, the values of the slope stability coefficient increase. The factors that influence dam stability depending on drainage length in the area of downstream wedge revealed in the process of mathematical modelling can be used for forecasting purposes to assess their reliability.

**Keywords:** mathematical modelling of stability, failure of dam slopes, rapid drawdown of floodwater levels

**Acknowledgments:** the research was carried out with the financial support of the Russian Foundation and the Kuban Science Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 22-17-20001.

**Введение.** Нынешняя мировая цивилизация накопила богатейший опыт строительства грунтовых дамб. Земляные дамбы в странах Индии, Китае, на Ближнем Востоке строились еще за 5000 лет до н.э. Вероятно, одна из первых дамб построена в Египте за 4000 лет до н.э. Дамбы для защиты территорий от затопления строились в Месопотамии за 3000 лет до н.э. Однако первые научно обоснованные подходы к расчету дамб были предложены только в середине XIX века. К сожалению, на протяжении тысячелетней истории эксплуатации грунтовых дамб изобиловала катастрофами различного характера и масштаба.

При проектировании ограждающих дамб особое внимание уделяется вопросам обеспечения устойчивости откосов. Причиной этого является тот факт, что при допущении ошибок в проектировании насыпной дамбы значительно возрастает риск ее разрушения, результатом которого может стать масштабная катастрофа [1]. Дренаж низового клина в составе насыпной дамбы является тем элементом, который требует тщательного изучения на проектно-конструкторских этапах в зависимости от предполагаемых эксплуатационных условий [2]. При проектировании земляных дамб, в числе многочисленных факторов, фильтрация остается крайне важным

параметром, который следует внимательно исследовать и строго контролировать [3]. Внимание к контролю над данной характеристикой обусловлено тем, что чрезмерная фильтрация через тело дамбы представляет существенную угрозу ее устойчивости и в конечном итоге приводит к ее разрушению. Под действием как гидростатического, так и гидродинамического давления воды возможно расструктурирование грунта тела дамбы, что часто приводит к образованию явлений суффозии. Движение материала (грунта), то есть внутренняя эрозия, вызванная просачиванием, является основной причиной прорыва насыпных гидротехнических сооружений [4].



В этой связи крайне важной является оценка скорости фильтрации воды в теле и основании дамбы.

Закон Дарси иллюстрирует поразительную по своей простоте зависимость между скоростью фильтрации (объем за единицу времени) через определенную область ( $A=uz$ , измеряется перпендикулярно направлению потока) и величинами, которые в настоящее время поддаются измерению, а именно, коэффициент фильтрации ( $K$ ) и гидравлический градиент (обозначается  $i$  и рассчитывается как разность напора между двумя точками,  $\Delta H$ , деленная на расстояние между точками,  $\Delta l$ ,  $i=\Delta H/\Delta l$ ).

Величину  $K$ , являющуюся показателем способности материалов тела дамбы проводить водный поток, можно получить в результате любого из множества полевых или лабораторных испытаний. Обычно считается, что полевые испытания, проводимые на месте, дают наиболее приближенные значения  $K$ . Для целей данной работы достаточно признать, что значения  $K$ , полученные в результате любых испытаний, могут пространственно различаться в зависимости от масштаба испытаний. В условиях активных химических или микробиологических процессов в материале тела дамбы  $K$  может существенно изменяться с течением времени. В силу этого, точно установить значение  $K$  представляется затруднительным, поэтому принято считать, что в расчетах по закону Дарси коэффициент фильтрации является источником наибольшей погрешности.

Уравнение скорости фильтрации имеет следующий вид [7]:

$$V = Ki,$$

где  $V$  — скорость фильтрации;  $K$  — коэффициент фильтрации пористой среды;  $i$  — гидравлический градиент (градиент напора).

В насыпных дамбах целесообразно предусматривать дренаж, поскольку он предупреждает размыв низового откоса, отводит фильтрационную воду, проходящую через тело дамбы в нижний бьеф, что уменьшает заложение низового откоса и повышает его устойчивость [5]. Следует отметить, что в случае, если фильтрация через насыпь затруднена, вода изыщет новый путь или будет накапливаться, что приведет к опасным явлениям вымывания грунта и неустойчивости откоса к оползанию. При этом на эффективность дренажа низового клина в значительной степени влияют такие параметры, как форма, расположение и, что особенно важно, его размер. В настоящее время, как ни парадоксально, информации о потенциальном влиянии размеров дренажных устройств низового клина на показатели устойчивости откоса насыпной дамбы в условиях быстрой сработки уровня паводковых вод по-прежнему недостаточно.

В связи с этим авторы поставили своей целью провести серию экспериментов, связанных с численным моделированием и изучением потенциального влияния размеров дренажных устройств низового клина на показатели устойчивости откоса однородной насыпной дамбы в условиях быстрой сработки уровня паводковых вод. Для оценки коэффициента устойчивости (FS) откосов применялись комбинированные методы численного моделирования фильтрации и предельного (пластического) равновесия (LEM — Limit Equilibrium Method). Применяемые методы предельного равновесия (Бишопа, Ямбу, Спенсера, Morgenштерн-Прайса) допускают, что массив грунта над поверхностью скольжения

Таблица 1. Характеристики материала тела дамбы  
Table 1. Characteristics of dam body material

Характеристики грунта	Условное обозначение	Единицы измерения	Значения
Объемная влажность	$\theta_1$	%	43
Коэффициент сжимаемости	$M_v$	м <sup>2</sup> /кН	$2 \times 10^{-4}$
Насыщенная гидравлическая проводимость	$K_\phi$	м/с	$1 \times 10^{-6}$
Остаточная влажность	$\theta_2$	%	5.5
Удельный вес грунта	$\gamma$	кН/м <sup>3</sup>	20
Сила сцепления	$c'$	кН/м <sup>2</sup>	5
Угол внутреннего трения	$\phi'$	градусы	25

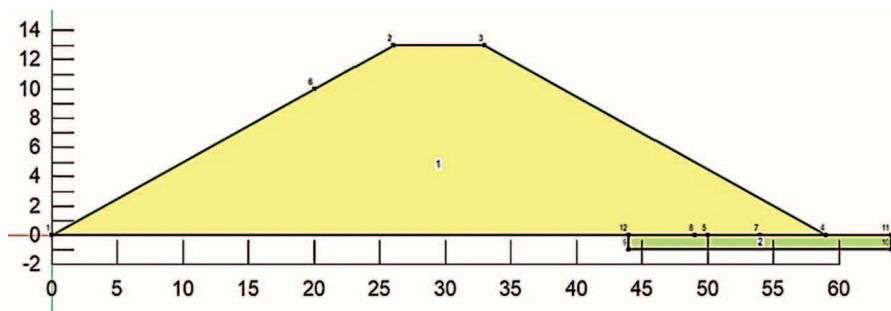


Рисунок 1. Общая геометрия дамбы  
Figure 1. Overall geometry of the dam

делится на блоки (разделяющие плоскости между блоками всегда вертикальны). Двумерное моделирование (2D) выполнялось с учетом ряда упрощений (идеализации геометрии и свойств материала, из которого состоит дамба). В процессе моделирования были исследованы три схемы (5 м, 10 м и 15 м) дренажа низового клина дамбы. Кроме того, в GeoStudio (распространенный специализированный пакет продуктов для геотехнического моделирования) выполнялось моделирование по двум сценариям оценки устойчивости откоса дамбы, обращенного к реке, при понижении уровня воды после паводка: скорость сработки в наихудшем варианте (моментальная) и 5-дневная (более реалистичный). Начальный момент сработки соответствует глубине 10 м. Таким образом, проделанная работа является первым этапом масштабного всестороннего исследования этой проблемы. Кроме того, обсуждаемая тематика представляется важной как в плане фундаментальных научных исследований, так и в прикладных аспектах, обусловленных прогнозом развития опасных гидрологических явлений, особенно в свете глобального изменения климата и их влияния на насыпные ГТС.

**Материалы и методы.** Описание методов моделирования было осуществлено с использованием GeoStudio. Были проведены численные анализы методом конечных элементов — Finite Element Modeling (МКЭ, FEM) с целью изучения влияния размеров дренажа низового клина и скорости фильтрации на показатели устойчивости откоса насыпной дамбы. В процессе были учтены три варианта, определяемые типоразмером дренажа низового клина. Численное моделирование было проведено с использованием программного обеспечения GeoStudio (GeoStudio 2018 R2 v9.1.1.16749). Для анализа фильтрации и устойчивости откосов использовались пакеты SEEP/W и SLOPE/W программы GeoStudio модуля GeoSlope соответственно. Метрическая система: длина в метрах,

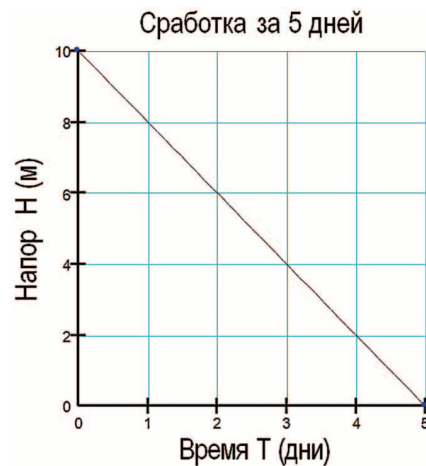


Рисунок 2. Функция напора воды для 5-дневного темпа сработки уровня  
Figure 2. Water head function for 5-day water level ramp

сила — в килоньютонах, давление — в килопаскалях, прочность — в килопаскалях, влияние воды считается равным 9,807 кН/м<sup>3</sup>. В целях упрощения визуального анализа X и Y масштабы различны.

Геометрические параметры насыпной дамбы следующие: ширина дамбы понизу 59 м; ширина дамбы по гребню 7 м; высота дамбы 13 м; максимальный подпорный горизонт воды 10 м; заложение откосов  $m$  1:2; длина дренажа низового клина 5, 10, 15 м соответственно. Дамба расположена на водонепроницаемом основании. Характеристики материала тела дамбы представлены в таблице 1, во избежание любой вариативности и с целью отразить эффект от изменения размеров дренажной системы у низового клина насыпи параметры материала дамбы были постоянными для всех анализируемых случаев.



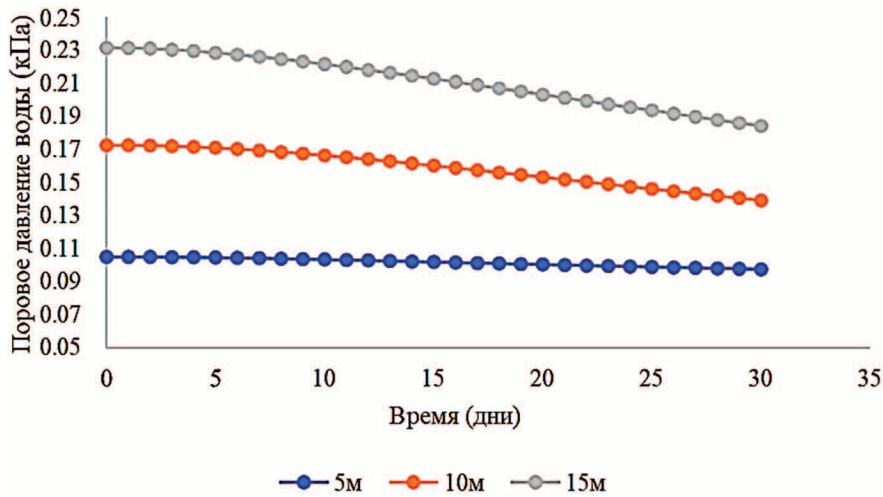


Рисунок 3. Поровое давление воды в области низового клина дамбы  
Figure 3. Pore water pressure in the area of the downstream wedge dam

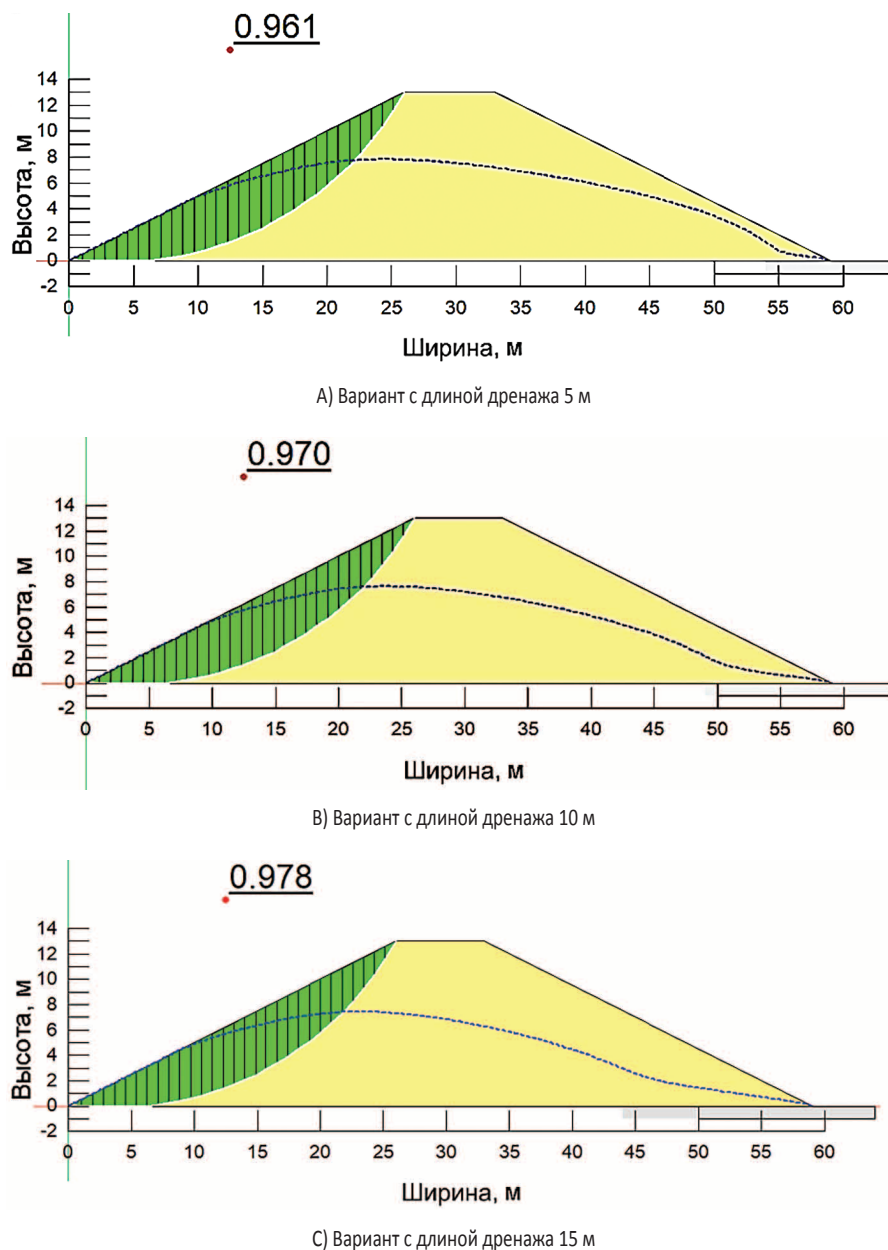


Рисунок 4. Определение коэффициента устойчивости и наиболее опасной поверхности скольжения  
Figure 4. Determination of the stability coefficient and the most dangerous sliding surface

В диалоговом окне Analysis Settings выбран метод Spencer с соответствующей функцией Half-sine function. Последовательность точек и ход их построения указана на рисунке 1. В диалоговом окне KeyIn Material Properties выбраны два типа грунта с функцией Mohr-Coulomb и добавлены описания.

В качестве наихудшего сценария при снижении уровня воды был использован тип граничного условия, при котором реализовано ее резкое снижение (моментальная сработка), впоследствии этот период был увеличен до 5 дней (рис. 2).

**Результаты и обсуждение.** С использованием комбинации метода конечных элементов и численного моделирования успешно выполнен анализ фильтрации и устойчивости откоса. По результатам анализа фильтрации установлено, что по мере увеличения размера дренажа поровое давление в области низового клина возрастает. На рисунке 3 видно, что при длине дренажа 15 м поровое давление выше, чем при длине 10 и 5 м. В противоположной области низового клина нижнего бьефа поровое давление в районе верхнего бьефа дамбы уменьшается с увеличением размера дренажа.

По результатам анализа устойчивости откоса установлено, что изменение размера дренажа в области низового клина также влияет на коэффициент устойчивости. Из рисунка 4 следует, что при длине дренажа 15 м коэффициент устойчивости несколько больше в сравнении с 10- и 5-метровыми дренажами. Размер дренажа 5 м обеспечил минимальный коэффициент устойчивости — 0,961, 10 м — 0,970 и 15 м — 0,978 соответственно.

Из рисунка 5 следует, что коэффициент устойчивости стремительно снижался в период сработки с постепенным увеличением после ее завершения. Наименьшие значения коэффициента устойчивости были достигнуты к четвертым суткам сработки.

В таблице 2 приведены максимальные и минимальные значения коэффициента устойчивости при мгновенной и 5-дневной сработке. Из обоих вариантов сработки следует, что значения коэффициента устойчивости возрастают с увеличением длины дренажа в области низового клина.

**Выводы.** Проведено исследование потенциального влияния длины дренажа в области низового клина на устойчивость откоса насыпной дамбы при резком снижении уровня воды. На основании полученных результатов было установлено, что поровое давление в верхнем бьефе насыпи уменьшается с увеличением размера дренажа, в это же время в нижнем бьефе оно увеличивается. При увеличении длины дренажа значения коэффициента устойчивости откоса возрастают. Полученные результаты показали, что между длиной дренажа в области низового клина и коэффициентом устойчивости существует взаимосвязь в случае, если земляное сооружение подвергается воздействию полной сработки уровня паводковых вод. Таким образом, в период экстремального спада воды в реке вероятно обрушение откосов дамбы, обращенных в сторону реки. Этот факт необходимо учитывать при разработке дренажа, а также при проектировании новой системы дамб.



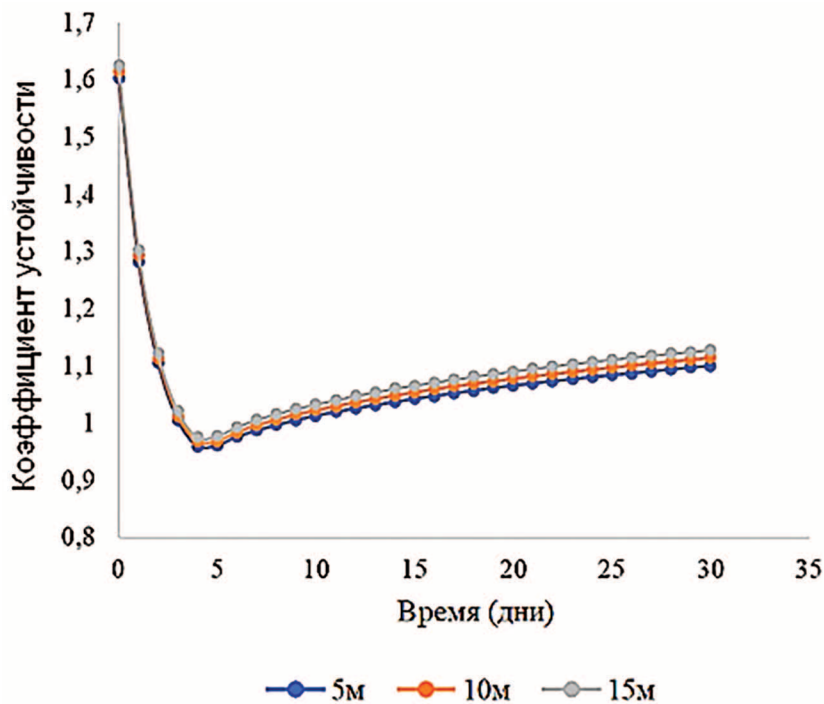


Рисунок 5. Динамика изменения значений коэффициента устойчивости с течением времени  
Figure 5. Dynamics of sustainability coefficient values over time

Таблица 2. Максимальный и минимальный коэффициенты устойчивости при мгновенной и 5-дневной сработке  
Table 2. Maximum and minimum stability coefficients for instantaneous and 5-day operation

Скорость сработки	Длина дренажа в области низового клина	Коэффициенты устойчивости	
		max	min
Мгновенная	5 м	1,603	0,799
	10 м	1,614	0,805
	15 м	1,626	0,811
5 дней	5 м	1,603	0,959
	10 м	1,614	0,968
	15 м	1,626	0,976

**Список источников**

1. Бандурин М.А., Волосухин В.А., Гумбаров А.Д., Приходько И.А. Мониторинг безопасности водопроводящих сооружений оросительных рисовых систем юга России при возрастающих климатических изменениях. М.: ООО «Русайнс», 2022. 194 с.  
 2. Bandurina, I.P., Rudenko, A.A., Bandurina, I.P., Prikhodko, I.A. (2022). Reducing the Anthropogenic Impact of Natural Risks on Small Rivers in the South of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Virtual, Online, January 10-12, 2022*. Virtual, Online, p. 042037. doi: 10.1088/1755-1315/988/4/042037  
 3. Bandurina, I.P., Bandurina, M.A., Prikhodko, I.A. (2022). Application of a Software and Hardware Complex to Improve the Operational Reliability of Water Pipelines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Virtual, Online, January 10-12, 2022*. Virtual, Online, p. 052075. doi: 10.1088/1755-1315/988/5/052075  
 4. Bandurina, M.A., Prikhodko, I.A., Bandurina, I.P., Rudenko, A.A. (2022). Analysis of Impact of Urbanization Development on the Deterioration of Ecological State of Rivers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Virtual, Online, January 10-12, 2022*. Virtual, Online, p. 042044. doi: 10.1088/1755-1315/988/4/042044  
 5. Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Евтеева И.Д. Имитационное моделирование устойчивости оградительных дамб реки Псекупс в условиях возрастающих статических и сейсмических воздействий // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 5 (389). С. 459-463. doi: 10.55186/25876740\_2022\_65\_5\_459  
 6. Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Комсюкова Я.А. Эффективность мониторинга техниче-

ского состояния противопаводковой системы в водохозяйственном комплексе нижней Кубани в условиях возрастающих статических и сейсмических воздействий // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6 (390). С. 573-579. doi: 10.55186/25876740\_2022\_65\_6\_573  
 7. Бондаренко В.Л., Ылясов А.И., Волосухин В.А. и др. Природно-технические системы в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем. 2-е изд., доп. Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2022. 300 с.  
 8. Бондаренко В.Л., Волосухин В.А., Ылясов А.И. и др. Основы использования и развития класса природно-технических систем в использовании водных ресурсов: территории бассейновых геосистем / Министерство сельского хозяйства РФ; Донской государственный аграрный университет; Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова; Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова. Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2022. 371 с.  
 9. Бондаренко В.Л., Волосухин В.А., Ылясов А.И. и др. Научно-методологические основы использования водных ресурсов в южных регионах России: территории бассейновых геосистем / Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО «ДГАУ». Новочеркасск: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет», 2021. 348 с.

10. Кантаржи И.Г., Губина Н.А., Гусаров Р.Н. Воздействие длинных волн на береговые гидротехнические сооружения // Гидротехническое строительство. 2021. № 2. С. 48-52.  
 11. Рыскулбеков А.Ж., Абдиманапов Б.Ш., Боранкулова Д.М. Гидротехнические сооружения: состояние, опасность, последствия // Bulletin d'EUROT ALENT-FID JIP. Editions du JIPTO. 2013. Т. 5. С. 69-73.  
 12. Карпенчук И.В., Стриганова М.Ю., Махмудов Э.М. Детерминированная модель возникновения волны вытеснения и методы оценки ее поражающего воздействия на гидротехнические сооружения // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2012. № 2 (32). С. 99-103.  
 13. Кутуев М.Д., Суянтбекова И.А. О задачах моделирования техногенных воздействий на гидротехнические сооружения // Наука и новые технологии. 2008. № 7-8. С. 27-29.  
 14. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Анализ влияния волновых нагрузок на гидротехнические сооружения // Природообустройство. 2018. № 4. С. 8-14. doi: 10.26897/1997-6011/2018-4-8-14  
 15. Суянтбекова И.А. Влияние сейсмических воздействий на гидротехнические сооружения // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2017. № 3 (57). С. 136-141.  
 16. Община Е.Н. Гидротехнические сооружения как важный элемент противозерозионной системы // Бюллетень Ставропольского научно-исследовательского института сельского хозяйства. 2014. № 6. С. 146-150.  
 17. Максимов В.В., Фомин А.Н. Моделирование наката одиночной волны на защитные гидротехнические сооружения // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. 2014. № 2. С. 33-37.

**References**

1. Bandurina, M.A., Volosukhin, V.A., Gubarov, A.D., Prikhod'ko, I.A. (2022). *Monitoring bezopasnosti vodoprovodyashchikh sooruzhenii orositel'nykh risovykh sistem yuga Rossii pri vozrastayushchikh klimaticheskikh izmeneniyakh* [Monitoring of the safety of water supply facilities of irrigation rice systems in the South of Russia with increasing climatic changes]. Moscow, Rusains LLC, 194 p.  
 2. Bandurina, I.P., Rudenko, A.A., Bandurina, I.P., Prikhodko, I.A. (2022). Reducing the Anthropogenic Impact of Natural Risks on Small Rivers in the South of Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Virtual, Online, January 10-12, 2022*. Virtual, Online, p. 042037. doi: 10.1088/1755-1315/988/4/042037  
 3. Bandurina, I.P., Bandurina, M.A., Prikhodko, I.A. (2022). Application of a Software and Hardware Complex to Improve the Operational Reliability of Water Pipelines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Virtual, Online, January 10-12, 2022*. Virtual, Online, p. 052075. doi: 10.1088/1755-1315/988/5/052075  
 4. Bandurina, M.A., Prikhodko, I.A., Bandurina, I.P., Rudenko, A.A. (2022). Analysis of Impact of Urbanization Development on the Deterioration of Ecological State of Rivers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Virtual, Online, January 10-12, 2022*. Virtual, Online, p. 042044. doi: 10.1088/1755-1315/988/4/042044  
 5. Volosukhin, V.A., Bandurina, M.A., Prikhod'ko, I.A., Evteeva, I.D. (2022). Imitatsionnoe modelirovanie ustoychivosti ograditel'nykh damb reki Psekups v usloviyakh vozrastayushchikh statcheskikh i seismicheskikh vozdeystvii [Simulation modeling of the stability of the protective dams of the Psekups river in conditions of increasing static and seismic impacts]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 5 (389), pp. 459-463. doi: 10.55186/25876740\_2022\_65\_5\_459  
 6. Volosukhin, V.A., Bandurina, M.A., Prikhod'ko, I.A., Komsyukova, Ya.A. (2022). Effektivnost' monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya protivopavodkovoi sistemy v vodokhozyaistvennom komplekse nizhei Kubani v usloviyakh vozrastayushchikh statcheskikh i seismicheskikh vozdeystvii [Effectiveness of monitoring the technical condition of the flood control system in the water management complex of the lower Kuban in conditions of increasing static and seismic impacts]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 6 (390), pp. 573-579. doi: 10.55186/25876740\_2022\_65\_6\_573





7. Bondarenko, V.L., Ylyasov, A.I., Volosukhin, V.A. i dr. (2022). *Prirodno-tekhnicheskie sistemy v ispol'zovanii vodnykh resursov: territorii basseinovyykh geosistem* [Natural and technical systems in the use of water resources: territories of basin geosystems]. Novocherkassk, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, 300 p.

8. Bondarenko, V.L., Volosukhin, V.A., Ylyasov, A.I. i dr. (2022). *Osnovy ispol'zovaniya i razvitiya klassa prirodno-tekhnicheskikh sistem v ispol'zovanii vodnykh resursov: territorii basseinovyykh geosistem* [Fundamentals of the use and development of the class of natural and technical systems in the use of water resources: territories of basin geosystems]. Novocherkassk, South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, 371 p.

9. Bondarenko, V.L., Volosukhin, V.A., Ylyasov, A.I. i dr. (2021). *Nauchno-metodologicheskie osnovy ispol'zovaniya vodnykh resursov v yuzhnykh regionakh Rossii: territorii basseinovyykh geosistem* [Scientific and methodological foundations of the use of water resources in the southern regions of Russia: territories of basin geosystems]. Novocherkassk, Novocherkassk Engineering and Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, Don State Agrarian University, 348 p.

10. Kantarzhii, I.G., Gubina, N.A., Gusarov, R.N. (2021). *Vozdeistvie dlinnykh voln na beregovyye gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [The impact of long waves on coastal hydraulic

structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical construction], no. 2, pp. 48-52.

11. Ryskulbekov, A.Zh., Abdimanapov, B.Sh., Borankulova, D.M. (2013). *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya: sostoyaniye, opasnost', posledstviya* [Hydraulic structures: condition, danger, consequences]. *Bulletin d'EUROT ALENT-FID JIP. Editions du JIPTO*, vol. 5, pp. 69-73.

12. Karpenchuk, I.V., Striganova, M.Yu., Makhmudov, E.M. (2012). *Determinirovannaya model' vozniknoveniya volny vytesneniya i metody otsenki ee porazhayushchego vozdeistviya na gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Deterministic model of the occurrence of the displacement wave and methods for assessing its damaging effects on hydraulic structures]. *Chrezvychaynye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya* [Emergency situations: prevention and liquidation], no. 2 (32), pp. 99-103.

13. Kutuev, M.D., Suyunbekova, I.A. (2008). *O zadachakh modelirovaniya tekhnogennykh vozdeistviy na gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [On the problems of modeling technogenic impacts on hydraulic structures]. *Nauka i novyye tekhnologii* [Science and new technologies], no. 7-8, pp. 27-29.

14. Zharnitskii, V.Ya., Andreev, E.V. (2018). *Analiz vliyaniya volnovykh nagruzok na gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Analysis of the influence of wave loads on hydraulic

structures]. *Prirodobustroystvo* [Environmental engineering], no. 4, pp. 8-14. doi: 10.26897/1997-6011/2018-4-8-14

15. Suyunbekova, I.A. (2017). *Vliyaniye seismicheskikh vozdeistviy na gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [The influence of seismic impacts on hydraulic structures]. *Vestnik Kyrgyzskogo gosudarstvennogo universiteta stroitel'stva, transporta i arkhitektury im. N. Isanova* [Bulletin of the Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov], no. 3 (57), pp. 136-141.

16. Obshchiya, E.N. (2014). *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya kak vazhnyi element protivoehozionnoi sistemy* [Hydraulic structures as an important element of an anti-erosion system]. *Byulleten' Stavropol'skogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sel'skogo khozyaystva*, no. 6, pp. 146-150.

17. Maksimov, V.V., Fomin, A.N. (2014). *Modelirovaniye nakata odinochnoi volny na zashchitnye gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Modeling of a single wave roll on protective hydraulic structures]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizaina. Seriya 1. Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical sciences], no. 2, pp. 33-37.

#### Информация об авторах:

**Бандурин Михаил Александрович**, доктор технических наук, доцент, Заслуженный изобретатель Российской Федерации, декан факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, [chepura@mail.ru](mailto:chepura@mail.ru)

**Приходько Игорь Александрович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, [prihodkoigor2012@yandex.ru](mailto:prihodkoigor2012@yandex.ru)

**Вербицкий Артем Юрьевич**, магистрант факультета гидромелиорации, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6930-2662>, [artem.verbitsk@yandex.ru](mailto:artem.verbitsk@yandex.ru)

#### Information about the authors:

**Mikhail A. Bandurin**, doctor of technical sciences, associate professor, Honored inventor of the Russian Federation, dean of the faculty of hydro-reclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0986-8848>, [chepura@mail.ru](mailto:chepura@mail.ru)

**Igor A. Prihodko**, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of construction and operation of water facilities, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4855-0434>, [prihodkoigor2012@yandex.ru](mailto:prihodkoigor2012@yandex.ru)

**Artem Yu. Verbitsky**, master student of the faculty of hydro-reclamation, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6930-2662>, [artem.verbitsk@yandex.ru](mailto:artem.verbitsk@yandex.ru)

✉ [prihodkoigor2012@yandex.ru](mailto:prihodkoigor2012@yandex.ru)



# ПроПротейн

Форум и экспо

+7 (495) 585-5167 | [info@proprotein.org](mailto:info@proprotein.org) | [www.proprotein.org](http://www.proprotein.org)

## Форум и выставка по производству и использованию новых пищевых протеинов: растительные заменители мяса, культивируемое мясо, насекомые как еда.

**Форум является уникальным специализированным событием отрасли в России и СНГ и пройдет 21 сентября 2023 в отеле Холидей Инн Лесная в Москве**

### Возможности для рекламы:

Выбор одного из спонсорских пакетов Форума позволит Вам заявить о своей компании, продукции и услугах, и стать лидером быстрорастущего рынка.

