

2.1.6. Гидротехническое строительство

Оригинальная статья

УДК 502/504: 626.814(470.620)

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59

БЕЗОПАСНОСТЬ СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ДОЛИНЫ РЕКИ ПСЕКУПС С УЧЕТОМ ИЗМЕНИВШИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ

ВОЛОСУХИН ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ [✉], д-р техн. наук, профессор
director@ibgts.ru

БАНДУРИН МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ, д-р техн. наук, доцент,
декан факультета гидромелиорации
shepura@mail.ru

ПРИХОДЬКО ИГОРЬ АЛЕКСАНДРОВИЧ [✉], канд. техн. наук, доцент,
заведующий кафедрой
prihodkoigor2012@yandex.ru

ВЕРБИЦКИЙ АРТЕМ ЮРЬЕВИЧ, студент 1 курса магистратуры
trd.uncle@yandex.ru

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина; 350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, Россия

Использованы геофизические исследования оградительной плотины долины р. Псекупс, позволившие уточнить границы инженерно-геологических элементов грунтов, определить динамические свойства плотины и основания, которые использованы при расчете оградительной плотины на сейсмические нагрузки. Следует отметить, что уровень воды в Краснодарском водохранилище существенно меняется в течение года. Минимальное значение его приходится, как правило, на осенне-зимний период, а максимальное – на весенний период. Это существенно влияет на величину фильтрационного расхода через тело оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс и на положение кривой депрессии. Основная цель исследований – обосновать устойчивость оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс после продолжительной эксплуатации и в связи с увеличением нормативной сейсмичности территории. Установлено, что расхождение одного из первых приближенных методов расчета устойчивости откосов по В. Фелениусу с выполненными в ходе проведенного исследования находится в пределах ошибки исходных данных, полученных в полевых условиях. Выполнено сопоставление результатов расчета с помощью программного комплекса, с использованием четырех наиболее признанных в научных, проектных и строительных организациях России методов: метода Крея, метода Терцаги, метода ВНИИГ, метода Можевитинова и метода по СП 39.13330.2012.

Ключевые слова: водохозяйственный комплекс, устойчивость оградительной плотины, Краснодарское водохранилище, климатические изменения, математическое моделирование

Формат цитирования: Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Вербицкий А.Ю. Безопасность сооружений инженерной защиты долины реки Псекупс с учетом изменившихся во времени нагрузок и воздействий // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 52-59. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59.

© Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Вербицкий А.Ю., 2022

Original article

SAFETY OF ENGINEERING PROTECTION FACILITIES OF THE PSEKUPS RIVER VALLEY, TAKING INTO ACCOUNT TIME-VARYING LOADS AND IMPACTS

VOLOSUKHIN VICTOR ALEKSEEVICH[✉], *doctor of technical sciences, professor*
director@ibgts.ru

BANDURIN MIKHAIL ALEKSANDROVICH, *doctor of technical sciences, associate professor, dean of the faculty of hydro reclamation*
chepura@mail.ru

PRIKHODKO IGOR ALEKSANDROVICH[✉], *candidate of technical sciences, associate professor, head of the department of construction and operation of water management facilities*
prihodkoigor2012@yandex.ru

VERBITSKY ARTEM YURIEVICH, *student of the 1st MA course*
trd.uncle@yandex.ru

Kuban state agrarian university named after I.T. Trubilin; 350044, Krasnodar, Kalinina str.13., Russia

The article uses geophysical studies of the protective dam of the valley of the river Psekups, which made it possible to clarify the boundaries of engineering-geological soil elements and determine the dynamic properties of the dam and foundation, which were used in the calculation of the barrier dam for seismic loads. It should be noted that the water level in the Krasnodar reservoir varies significantly throughout the year; its minimum value, as a rule, occurs in the autumn-winter period, and the maximum – in the spring, this significantly affects the value of seepage flow through the body of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the river Psekups and on the position of the depression curve. The main purpose of the work is to substantiate the stability of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the river Psekups after a long operation and due to an increase in the normative seismicity of the territory. It is established that the discrepancy of one of the first approximate methods for calculating the stability of slopes according to V. Felenius with those performed in the course of the study are within the error of the initial data obtained in the field a comparison of the calculation results using a software package using the four most recognized methods in scientific, design and construction organizations in Russia – the Cray method, the Terzaghi method, the VNIIG method, the Mozhevitinov method and the method according to SP 39.13330.2012 -was carried out.

Keywords: *water management complex, barrier dam stability, Krasnodar reservoir, climate change, mathematical modeling*

Format of citation: *Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Verbitsky A.Yu. Safety of the engineering protection facilities of the Psekups river valley taking into account time-varying loads and impacts // Prirodobustrojstvo. – 2022. – No. 5. – P. 52-59. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-52-59.*

Введение. На территории Республики Адыгея расположены дамбы обвалования и берегоукрепительных сооружений, входящие в систему противопаводковой защиты Нижней Кубани [1-3], протяженностью 60 км. Отличительная особенность оградительных дамб Юга России – отсутствие установленной в них контрольно-измерительной аппаратуры в период строительства, что не позволяет оценить их реальное напряженно-деформированное состояние. Обследование таких сооружений проводится, как правило, визуально и не в период сложных работ сооружения при наихудших сочетаниях постоянных, временных, кратковременных и особых нагрузок и воздействий [4, 7].

В связи со значительным периодом эксплуатации (30-40 и более лет)

сооружений III и IV классов, увеличением нормативной сейсмичности территории согласно СНКК 22-301-2000 (приложение Б по ОСП-97-С – 1%) сейчас, в 2022 г., она составляет 8 баллов [5]. Также, в связи с возрастающим стоком рек (по данным Росгидромета расход рек малой обеспеченности юга России к 2030 г. возрастет на 14% по сравнению с 2000 г.), актуальным и своевременным является проведение расчетных исследований устойчивости длительно эксплуатирующихся оградительных дамб Краснодарского водохранилища, в том числе в долине реки Псекупс, с учетом изменившихся сейсмических воздействий, на основе современных методов расчета, с использованием программного комплекса «УСТОЙЧИВОСТЬ», для обеспечения

надежности и в то же время – экономичности проектных решений [6-8].

Основная цель исследований – выполнение расчетного обоснования устойчивости оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс после 40 лет ее эксплуатации и в связи с увеличением нормативной сейсмичности территории [9-11].

Материалы и методы исследований. Исследуемый участок инженерной защиты долины р. Псекупс расположен на левом берегу Краснодарского водохранилища в 4,0-8,5 км от основной грунтовой плотины. Общая протяженность оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине реки Псекупс составляет 5,7 км. Характеристика плотины: коэффициент $m_n = 3,5$; высота $h_{max} = 11,5$ м; ширина гребня – 8 м; отметка верха (абсолютная) – 37,2 м. Крепление дамбы железобетонными плитами $h = 16-25$ см верхнего откоса с задернованным нижним откосом $m_n = 3,5$ (рис. 1) [12, 13].



Рис. 1. Оградительная плотина инженерной защиты долины р. Псекупс (фото авторов, сентябрь 2022 г.)

Fig. 1. Barrier dam of engineering protection of the valley of the r. Psekups (the author's photo, September 2022)

Расчет устойчивости оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс выполнен с использованием программного комплекса «УСТОЙЧИВОСТЬ» [14, 15].

С целью научного обоснования наименьших значений запасов устойчивости откосов плотины на статические и сейсмические нагрузки взяли два расчетных случая:

♦ I вариант. Уровень воды в Краснодарском водохранилище на НПУ = 32,75, сейсмичность – по СН КК 22-301-2000 «Строительство в сейсмических районах Краснодарского края» и СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах».

♦ II вариант. Уровень воды в Краснодарском водохранилище находится на уровне ФУ = 35,23, сейсмические нагрузки отсутствуют.

Все расчеты выполнены для 8 створов (II-II', ПК 6 + 2,15; III-III', ПК 13 + 00; IV-IV',

ПК 20 + 30,48; V-V', ПК 26 + 00,35; VI-VI', ПК 32 + 21,61; VII-VII', ПК 40 + 3,49; VIII-VIII', ПК 49 + 93,09; IX-IX', ПК 56 + 65,13). Расчет откосов оградительной дамбы Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс осуществлялся методами Крея, Терцаги, ВНИИГ (усовершенствованный метод Терцаги, метод ВНИИГ-Терцаги), методом, рекомендованным в СП 39.13330.2012 (для круглоцилиндрических поверхностей сдвига).

Нами использованы данные отчета о натурных геофизических исследованиях оградительной плотины долины р. Псекупс [16], позволившие уточнить границы инженерно-геологических элементов грунтов и определить динамические свойства плотины и основания, которые использованы при расчете оградительной плотины на сейсмические нагрузки [17].

На рисунке 2 представлено изображение дамбы. Будем считать, что тело дамбы состоит из идеально сыпучего грунта с уложенным верховым откосом α .

Вес частицы $F = mg$ раскладываем на две составляющие (нормальную N к линии откоса АВ и касательную T) и учитываем, что на верховом откосе дамбы расположена твердая частица.

В расчетах придерживаемся условия того, что сила T стремится сдвинуть части к подножью откоса, но ей будет противодействовать сила трения T' пропорционально нормальному давлению, то есть

$$T' = f \cdot N = tg\phi \cdot N,$$

где $f = tg\phi$ является коэффициентом трения.

Проектируя действующие силы на грань АВ, имеем:

$$T - T' = 0; F \cdot \sin \alpha - tg\phi \cdot N = 0;$$

$$F \cdot \sin \alpha - tg\phi \cdot F \cdot \cos \alpha = 0.$$

Отсюда

$$tg\alpha = tg\phi.$$

В итоге получим

$$\alpha = \phi.$$

В результате установлено равенство между углами внутреннего трения грунта и откосом сыпучих грунтов. Такой угол называется углом естественного откоса [2].

Согласно методике [3] в наших исследованиях по безопасности сооружений инженерной защиты долины реки Псекупс, с учетом изменившихся во времени нагрузок и воздействий, принимаем угол $\alpha = \phi_1 = 18^\circ$, то есть $m_n = ctg\phi_1 = ctg18^\circ = 3,0$, $m_n = 3,0$.

На обоснование устойчивого угла верхового и низового откосов влияют как угол естественного откоса (ϕ), так и сцепление (c).

Уравнение Ш. Кулона:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi,$$

где c – удельная сила сцепления, σ – нормальное напряжение, ϕ – угол трения, τ – касательная напряжения.

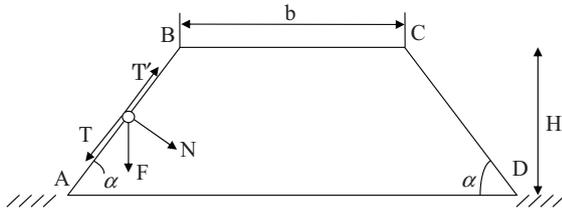


Рис. 2. Дамба из идеально сыпучего грунта
Fig. 2. A dam made of perfectly loose soil

В грунтовом массиве одновременно возникает семейство поверхностей предельного равновесия, по которой возможен сдвиг, и задача заключается в отыскании наиболее опасной.

Приведем решение задачи для огражденной дамбы Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс для двух створов: для максимальной высоты плотины $H = 11,5$ м: для расчетного створа II – II' (ПК 6 + 2,5).

Исходные данные приняты по материалам натуральных исследований плотины.

Расчет для створа с максимальной высотой дамбы:

$$H = 11,5 \text{ м.}$$

Коэффициент запаса устойчивости откоса:

$$k = 1,0, \gamma = 20,1 \text{ кН/м}^3;$$

$$c_1 = 27 \text{ кПа}, \phi_1 = 18^\circ.$$

Расчетные параметры:

$$b = \operatorname{tg} \phi_1 = \operatorname{tg} 18^\circ = 0,3249; d = c = 27 \text{ кПа};$$

$$\zeta_0 = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi_1}{c} \right) = \operatorname{tg}^2 36^\circ = 0,5278;$$

$$P_0 = \frac{2d}{\sqrt{\zeta_0}} = \frac{2 \cdot 27}{\sqrt{0,5278}} = 74,32 \text{ кПа};$$

$$h_0 = \frac{P_0}{\gamma} = \frac{74,32}{20,1} = 3,698 \text{ м};$$

$$H_0 = \frac{H - h_0 \zeta_0}{1 - \zeta_0} = \frac{11,5 - 3,698 \cdot 0,5278}{1 - 0,5278} = 20,22 \text{ м};$$

$$\zeta = \zeta_0 \left(1 - \frac{h_0}{H_0} \right) = 0,5278 \left(1 - \frac{3,698}{20,22} \right) = 0,4313;$$

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{1 - \zeta}{2\sqrt{\zeta}} = \frac{1 - 0,4313}{2\sqrt{0,4313}} = 0,4329; m = \operatorname{ctg} \omega = 2,30.$$

Откос будет устойчивым при $m = 2,30$, что является близким к рекомендациям строительных норм 1962 г.

Расчет для створа II-II' (ПК 6 + 2,5):

$$H_0 = \frac{H - h_0 \cdot \zeta_0}{1 - \zeta_0} = \frac{6,76 - 3,698 \cdot 0,5278}{1 - 0,5278} = 10,18 \text{ м};$$

$$\zeta = \zeta_0 \left(1 - \frac{h_0}{H} \right) = 0,5278 \left(1 - \frac{3,698}{10,18} \right) = 0,3362;$$

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{1 - \zeta}{2\sqrt{\zeta}} = \frac{1 - 0,3362}{2\sqrt{0,3362}} = 0,5724; m = \operatorname{ctg} \omega = 1,75.$$

Получена величина устойчивого откоса при коэффициенте запаса, составляющая 1,0.

Из приведенного следует, что расхождение одного из первых приближенных методов расчета устойчивости откосов В. Фелениуса (1927 г.) с самыми последними (2022 г.) численными расчетами находится в пределах ошибки исходных данных, полученных в полевых условиях.

Результаты и их обсуждение. Следует обратить внимание на одну особенность при сопоставлении результатов расчета. Используя тот или иной метод расчета устойчивости, необходимо найти минимальное значение коэффициента запаса устойчивости откоса. Это требует проведения расчетов для минимум 5-7 случаев («ручной» счет) или же от 500 до 1000 при расчете на ЭВМ.

На рисунке 3 представлено сопоставление результатов расчета с помощью программного комплекса «УСТОЙЧИВОСТЬ», с использованием четырех наиболее признанных в научных, проектных и строительных организациях России методов: Крея, Терцаги, ВНИИГ и метода по СП 39.13330.2012.

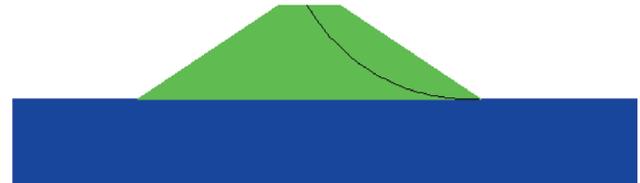


Рис. 3. Расчет минимального коэффициента устойчивости низового откоса плотины методом Крея (Бishop): $k_{\min} = 1,3401$

Fig. 3. Calculation of the minimum coefficient of stability of the downstream slope of the dam by the Cray (Bishop) method $k_{\min} = 1.3401$

Фактические отметки отличаются от проектных. Так, в расчетном створе ПК 6 + 2,15 отметка верха плотины составляет 37,68; в створе ПК 20 + 30,48-37,11; в створе ПК 32 + 21,61-37,29; в створе ПК 40 + 3,49-37,22; в створе ПК 49 + 93,09-37,39; в створе ПК 56 + 65,13-37,33.

Заложение верхового откоса:

по разрезу II-II' $m_b = 3,2$;

по разрезу III-III' $m_b = 3,1$;

по разрезу IV-IV' $m_b = 3,6$;
 по разрезу V-V' $m_b = 3,5$;
 по разрезу VI-VI' $m_b = 3,6$;
 по разрезу VII-VII' $m_b = 3,6$.
 Заложение низового откоса:
 по разрезу II-II' $m_n = 3,0$;
 по разрезу III-III' $m_n = 3,3$;
 по разрезу IV-IV' $m_n = 3,9$;
 по разрезу V-V' $m_n = 4,2$;
 по разрезу VI-VI' $m_n = 3,8$;
 по разрезу VII-VII' $m_n = 4,9$.

Существенно изменяется высота ограждающей дамбы Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс. В программный комплекс «УСТОЙЧИВОСТЬ» вводились параметры расчетных створов, геологическое строение плотины и основания по результатам натурных инженерно-геодезических работ.

На рисунке 4 представлены расчетные схемы для варианта I.

В результате бурения 16 скважин диаметром 132 мм глубиной до 25 м буровой установкой УГБ-1ВС отобрано 50 монолитов с ненарушенной структурой и 24 пробы

с нарушенной структурой. В результате лабораторных исследований проведено 6 определений, включающих в себя полный комплекс физико-механических свойств грунтов с компрессией и срезом по нормативным документам, и 41 определение, включающее в себя сокращенный комплекс вычисления физико-механических свойств грунтов со срезом.

Проведенные лабораторные исследования позволили выделить 9 инженерно-геологических элементов (ИГЭ) грунтов и получить нормативные и расчетные значения (при $\alpha_{II} = 0,85$ и $\alpha_I = 0,95$) параметров физико-механических свойств глинистых и песчаных грунтов.

На рисунке 5 представлены примеры ввода физико-механических свойств грунтов по разрезу II-II', разбитие сечений на расчетные подобласти, рисунку, приведены расчетные схемы для варианта II.

На рисунках 6-11 представлены примеры расчета устойчивости ограждающей дамбы Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс различными методами: Крея, Терцаги, ВНИИГ-Терцаги, Можевитинова.



Рис. 4. Результаты ввода грунтов для первого расчетного случая в расчетном сечении ограждающей плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс

Fig. 4. The results of soil input for the first design case in the design section of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the r. Psekups



Рис. 5. Результаты ввода грунтов для второго расчетного случая в расчетном сечении ограждающей плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс

Fig. 5. The results of soil input for the second design case in the design section of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the r. Psekups

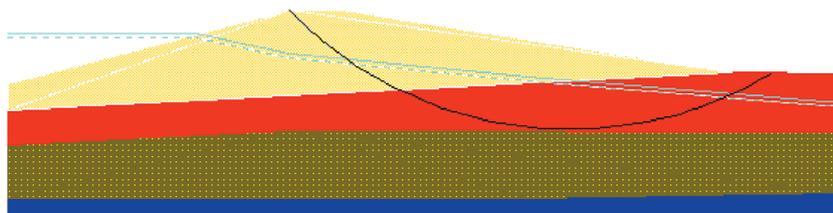


Рис. 6. Результаты расчета устойчивости низового откоса ограждающей плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс в расчетном сечении II-II' по методу Крея (Бishopa)

Fig. 6. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the r. Psekups in design section II-II' according to the Cray (Bishop) method

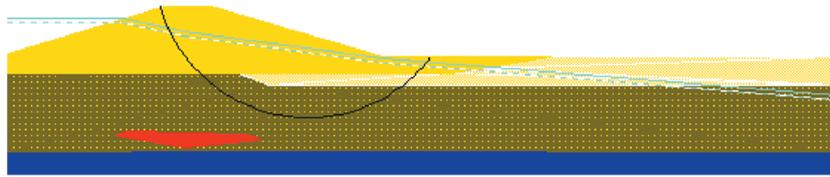


Рис. 7. Результаты расчета устойчивости низового откоса оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс в расчетном сечении III-III' по методу Терцаги

Fig. 7. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the r. Psekups in the calculated section III-III' according to the Terzaghi method

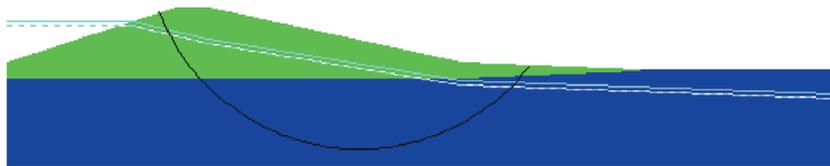


Рис. 8. Результаты расчета устойчивости низового откоса оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс в расчетном сечении V-V' по методу ВНИИГ-Терцаги

Fig. 8. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the river. Psekups in the calculated section V-V' according to the VNIIG-Terzaghi method

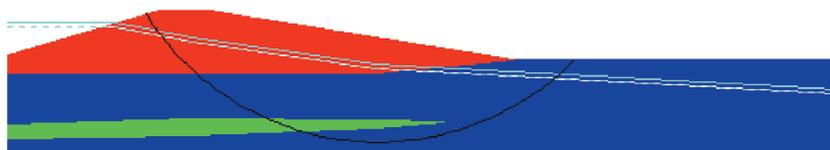


Рис. 9. Результаты расчета устойчивости низового откоса оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс в расчетном сечении VI-VI' по методу СП 39.13330.2012, по соотношению моментов сил

Fig. 9. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the river. Psekups in the calculated section VI-VI' according to the method of SP 39.13330.2012 according to the ratio of the moments of forces

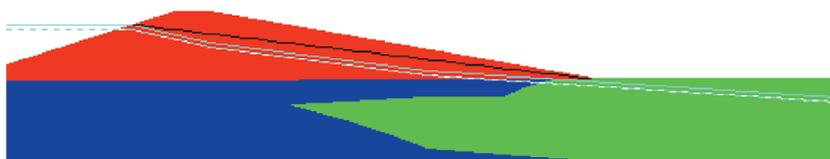


Рис. 10. Результаты расчета устойчивости низового откоса оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс в расчетном сечении IV-IV' по методу Можевитинова

Fig. 10. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the river. Psekups in the calculated section IV-IV' according to the Mozhevitinov method

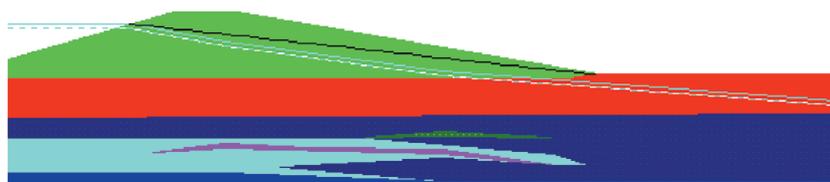


Рис. 11. Результаты расчета устойчивости низового откоса оградительной плотины Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс в расчетном сечении IX-IX' по методу СП 39.13330.2012, по соотношению сил

Fig. 11. The results of the calculation of the stability of the downstream slope of the protective dam of the Krasnodar reservoir in the valley of the river. Psekups in the calculated section IX-IX' according to the method of SP 39.13330.2012 according to the ratio of forces

Выводы

Выполнены расчеты более 100 тыс. расчетных случаев устойчивости откосов оградительной дамбы Краснодарского водохранилища в долине р. Псекупс в 8 расчетных створах на статические и сейсмические нагрузки.

Проведенные численные исследования противоположной системы Нижней Кубани с использованием современных методов расчета: Крея, Терцаги, ВНИИГ-Терцаги, Можевитинова – показали, что контроль за безопасностью сооружений инженерной защиты долины реки Псекупс, с учетом изменившихся во времени

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (грант № 22-17-20001).

Библиографический список

1. Многофакторные исследования гидротехнических сооружений со сроком эксплуатации более 25 лет: Программа многофакторных исследований ГТС. Проведение натурных работ по комплексному обследованию и геодезическим измерениям / О.Д. Рубин, Н.В. Ханов, С.Е. Лисичкин, А.С. Антонов. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. – 111 с.
2. **Юрченко И.Ф.** Безопасность автоматизированных технологий регулирования мелиоративного режима агроэкосистемы // Инженерные технологии и системы. – 2022. – Т. 32, № 1. – С. 28-40.
3. Improvement of the theory of shaft spillway calculations / A. Gur'yev, N. Khanov, M. Chumicheva et al. // E3S Web of Conferences, Tashkent, 1-3 апреля 2021 г. – Tashkent, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202126403031.
4. **Юрченко И.Ф.** Оценка современного состояния индустрии цифровизации мелиорации // Природобустройство. – 2022. – № 2. – С. 6-12. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-6-12.
5. Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state / V.A. Volosukhin, M.A. Bandurin, V.V. Vanzha, A.V. Mikheev, Y.V. Volosukhin // Journal of Physics: Conference Series. International Conference Information Technologies in Business and Industry, 2018. Enterprise Information Systems. – 2018. – P. 042061.
6. Alternative Solutions for the Energy Dissipation of Idle Discharges at the Rogun HPP / A.P. Gur'ev, N.A. Safonova, D.V. Kozlov et al. // Power Technology and Engineering. – 2020. – Vol. 54, № 1. – Pp. 7-12. DOI: 10.1007/s10749-020-01157-3.
7. **Bandurin M.A.** Finite-element simulation of possible natural disasters on landfill dams with changes in climate and seismic conditions taken into account / M.A. Bandurin, V.A. Volosukhin, A.V. Mikheev, Y.V. Volosukhin, V.V. Vanzha // Journal of Physics: Conference Series «International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 – Microprocessor Systems and Telecommunications». – 2018. – P. 032011.
8. **Кирейчева Л.В., Шевченко В.А., Юрченко И.Ф.** Оценка эффективности использования сельскохозяйственных угодий в агропроизводстве //

нагрузок и воздействий, возможны только посредством внедрения системы автоматизированного ведения мониторинга ГТС в сочетании с системой поддержки принятия решений (СППР).

Наиболее низкая несущая способность дамб обвалования отмечается, как правило, в период прохождения паводков по причине снижения прочностных свойств за счет фильтрационных вод в теле дамб. Вышеназванные сведения требуют проведения в предпаводковый период мониторинговых исследований по оценке несущей способности дамб системы обвалования Нижней Кубани.

The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation (grant No. 22-17-20001).

References

1. Multifactorial studies of hydraulic structures with a service life of more than 25 years: Program of multifactorial studies of hydraulic structures Conducting full-scale surveys and geodetic measurements / O.D. Rubin, N.V. Khanov, S.E. Lisichkin, A.S. Antonov. – Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy. K.A. Timiryazev, 2022. – 111 p. – ISBN978-5-9675-1867-6.
2. **Yurchenko I.F.** Safety of automated technologies for regulating the reclamation regime of the agroecosystem. Inzhenernye tekhnologii i sistemy. 2022. V. 32. No. 1. pp. 28-40.
3. Improvement of the theory of shaft spillway calculations / A. Gur'yev, N. Khanov, M. Chumicheva [et al.] // E3S Web of Conferences, Tashkent, 01-03 April 2021. – Tashkent: 2021. – DOI: 10.1051/e3sconf/202126403031.
4. **Yurchenko I.F.** Evaluation of the current state of the digitalization industry of melioration / I.F. Yurchenko // Nature Engineering. – 2022. – No. 2. – pp. 6-12. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-6-12.
5. Numerical analysis of static strength for different damages of hydraulic structures when changing stressed and strained state / V.A. Volosukhin, M.A. Bandurin, V.V. Vanzha, A.V. Mikheev, Y.V. Volosukhin // Journal of Physics: Conference Series. International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 Enterprise Information Systems. 2018. P. 042061.
6. Alternative Solutions for the Energy Dissipation of Idle Discharges at the Rogun HPP / A.P. Gur'ev, N.A. Safonova, D.V. Kozlov [et al.] // Power Technology and Engineering. – 2020. – Vol. 54. – No1. – pp. 7-12. – DOI: 10.1007/s10749-020-01157-3.
7. **Bandurin M.A., Volosukhin V.A., Mikheev A.V., Volosukhin Y.V., Vanzha V.V.** Finite-element simulation of possible natural disasters on landfill dams with changes in climate and seismic conditions taken into account // Journal of Physics: Conference Series. Ser. «International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018 – Microprocessor Systems and Telecommunications» 2018. – P. 032011.
8. **Kireycheva L.V., Shevchenko V.A., Yurchenko I.F.** Otsenka effektivnosti ispolzovaniya selskohozyajstvennyh ugodij v agroproduktse / Agrarnaya nauka. – 2021. – No. 9. – S. 135-139. – DOI: 10.32634/0869-8155-2021-352-9-135-139.

Аграрная наука. – 2021. – № 9. – С. 135-139. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-352-9-135-139.

9. **Yurchenko I.F.** Information support system designed for technical operation planning of reclamative facilities // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. – 2018. – Т. 96, № 5. – Pp. 1253-1265.

10. Integrating geographic information system, remote sensing, and modeling to enhance the reliability of irrigation network / E.H. Ashour, S.M. Elsayed, S.E. Ahemd, M.E. Basiouny, F.S. Abdelhaleem // *Water and Energy International*. – 2021. – Vol. 64r. No. 1. – pp. 6-13.

11. Features of investing in reconstruction of reclamation objects by the example of irrigation systems of the Saratov region / L.A. Zhuravleva, T.V. Fedyunina, L.Yu. Evsyukova A.V. Rusinov, D.A. Kolganov, L.N. Pototskaya // *Revista Turismo Estudos & Práticas*. – 2020. – № 4. – С. 19.

12. Over-extraction from shallow bedrock versus deep alluvial aquifers: reliability versus sustainability considerations for India's groundwater irrigation / R.M. Fishman, U. Lall, T. Siegfried, P. Raj, V. Modi // *Water Resources Research*. – 2011. – Т. 47, № 12.

13. Method for assessing the reliability of earth dams in irrigation systems / K.S. Sultanov, B. Khusanov, P.V. Loginov Sh. Normatov // *Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2020. – № 4 (89). – P. 8901.

14. **Волосухин В.А., Дыба В.П., Моргунов В.Н.** Сейсмобезопасность строительных объектов и гидротехнических сооружений. – М.: РУСАЙНС, 2020. – 264 с.

15. **Волосухин В.А.** Краснодарский гидроузел: проблемы безопасности (1975-2015) / В.А. Волосухин, Е.Н. Белоконов, Я.В. Волосухин, И.Г. Явнов и др. – Новочеркасск: Лик, 2016. – 394 с.

16. **Бабешко В.А., Волосухин В.А., Горшкова Е.М.** О применении метода блочного элемента в проблеме исследования одного типа предоползневых структур. – Краснодар: КубГУ, 2016. – 264 с.

17. **Ананьин И.В.** Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 148 с.

Критерии авторства

Волосухин В.А., Бандурин М.А., Приходько И.А., Вербитский А.Ю. выполнили натурные и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 07.09.2022

Одобрена после рецензирования 18.10.2022

Принята к публикации 25.10.2022

9. **Yurchenko I.F.** Information support system designed for technical operation planning of reclamative facilities // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. – 2018. V. 96. No. 5. – pp. 1253-1265.

10. Integrating geographic information system, remote sensing, and modeling to enhance the reliability of irrigation network / E.H. Ashour, S.M. Elsayed, S.E. Ahemd, M.E. Basiouny, F.S. Abdelhaleem // *Water and Energy International*. – 2021. – Vol. 64r. No. 1. – pp. 6-13.

11. Features of investing in reconstruction of reclamation objects by the example of irrigation systems of the Saratov region / L.A. Zhuravleva, T.V. Fedyunina, L.Yu. Evsyukova A.V. Rusinov, D.A. Kolganov, L.N. Pototskaya // *Revista Turismo Estudos & Práticas*. 2020. No. S4. pp. 19.

12. Over-extraction from shallow bedrock versus deep alluvial aquifers: reliability versus sustainability considerations for India's groundwater irrigation / R.M. Fishman, U. Lall, T. Siegfried, P. Raj, V. Modi // *Water Resources Research*. – 2011. – V. 47. – No. 12.

13. Method for assessing the reliability of earth dams in irrigation systems / K.S. Sultanov, B. Khusanov, P.V. Loginov Sh. Normatov // *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2020. No. 4 (89). pp. 8901.

14. **Volosukhin V.A., Dyba V.P., Morgunov V.N.** Seismobezопасnost stroitelnykh objektov i gidrotekhnicheskikh sooruzhenij. – M.: RUSAINS, 2020. – 264 s.

15. **Volosukhin V.A.** Krasnodarskij gidrouzel: problemy bezопасnosti (1975-2015) / Belokonev E.N., Volosukhin Ya.V., Yavnov i. G. i dr. – Novocherkassk: Lik, 2016. – 394 s.

16. **Babeshko V.A., Volosukhin V.A., Gorshkova E.M.** O primenenii metoda blochnogo elementa v probleme issledovaniya odnogo tipa predopolznevnykh struktur. – Krasnodar: KubGU: 2016. – 264 s.

17. **Ananyin I.V.** Seismichnost Severnogo Kavkaza. – M.: Nauka, 1977. – 148 s.

Criteria of Authorship

Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Verbitsky A.Yu. performed theoretical and experimental research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Volosukhin V.A., Bandurin M.A., Prikhodko I.A., Verbitsky A.Yu. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests. All authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Contribution of the authors

All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 07.09.2022

Approved after reviewing 18.10.2022

Accepted for publication 25.10.2022