

## Расчет длительно эксплуатируемого донного водовыпуска Бахчисарайского водохранилища

УДК 626.627.8

Волосухин Я.В.

Генеральный директор ИКЦ «Безопасность гидротехнических сооружений» (г. Новочеркасск), e-mail: safety@ibgts.ru

Статья получена: 13.10.2019. Рассмотрена: 15.11.2019. Одобрена: 21.11.2019. Опубликована онлайн: 26.11.2019. ©РИОР

**Аннотация.** Бахчисарайское (Эгиз-Оба) водохранилище — водоем естественного стока и один из старейших в Крыму. Срок его эксплуатации — более 90 лет. По результатам натурных исследований установлено, что общее техническое состояние комплекса ГТС Бахчисарайского водохранилища I класса (чрезвычайно высокой опасности) оценивается как удовлетворительное. Приведены результаты расчетов пропускной способности донного водовыпуска. Максимальный сбросной расход донного водовыпуска при отметке уровня верхнего бьефа, равного форсированному подпорному уровню (УВБ = ФПУ), равен  $Q = 1,12 \text{ м}^3/\text{с}$ , что превышает проектные данные  $Q = 0,80 \text{ м}^3/\text{с}$ . Обоснованы рекомендации по продлению срока эксплуатации комплекса гидротехнических сооружений.

**Ключевые слова:** гидротехническое сооружение, жизненный цикл, водохранилище, сбросной расход, донный водовыпуск.

**Введение.** Комплекс ГТС Бахчисарайского водохранилища относится к I классу — чрезвычайно высоко опасности и находится под постоянным государственным надзором Ростехнадзора. Водохранилище создавалось для целей подпитки реки Кача (длина 64,0 км, площадь водосбора 573 км<sup>2</sup>), орошения земель и

питьевого водоснабжения Бахчисарайского района. Ведомственная принадлежность Бахчисарайского водохранилища и комплекса ГТС — ГБУ РК «Крыммелиоводхоз». Водохранилище начали строить в приустьевой части балки Эгиз-Оба в 1927 г. Вторую очередь строительства завершили в 1935 г.

По проекту Крымского филиала «Укргипроводхоз» в 1982 г. осуществлена реконструкция водохранилища с целью увеличения его объема, работы выполняла ПМК-11 треста «Крымводстрой».

Расчетный расход водовыпуска определялся исходя из необходимого срока опорожнения водоема и расхода санитарного попуска. Скорость опорожнения водоема принимался с учетом допустимой интенсивности понижения уровня по условиям устойчивости от разрушения склонов водоема и верхового откоса земляной плотины. Опорожнение крупных водохранилищ часто происходит в течение 2–3 месяцев, средних и особенно малых водоемов — до нескольких недель и даже суток [1–6].

**Цель исследований** — оценить техническое состояние длительно эксплуатируемого комплекса гидротехнических сооружений Бахчисарайского водохранилища и произвести поверочные расчеты донного водовыпуска.

### CALCULATION OF LONG-RUNNING BOTTOM WATER OUTLET OF BACHCHISARAI RESERVOIR

Yakov Volosukhin

General Director, Engineering and Consulting Centre (ECC) «Hydraulic structures Safety», Novocherkassk; e-mail: safety@ibgts.ru

**Manuscript received:** 13.10.2019. **Revised:** 15.11.2019. **Accepted:** 21.11.2019. **Published online:** 26.11.2019. ©РИОР

**Abstract.** Bahchisaray (Egiz-Oba) reservoir — water of natural runoff and one of the oldest in Crimea W. Its service life is more than 90 years. According to the results of in-kind studies it was

found that the general technical condition of the HTS complex of the Bahchisarai reservoir of class I (extremely high danger) is assessed as satisfactory. Results of bottom water outlet capacity calculations are given. Maximum waste the expense of a ground water outlet at a mark of level of the top byef to the equal forced retaining level (UVB = FTUU) is equal to  $Q = 1,12 \text{ м}^3/\text{с}$  that exceeds design data of  $Q = 0,80 \text{ м}^3/\text{с}$ . Recommendations on extension of the service life of the hydraulic engineering complex are justified.

**Keywords:** hydraulic structure, life cycle, reservoir, discharge flow, bottom water outlet.

**Результаты исследований**

В табл. 1 приведены сведения о 15 водохранилищах Крыма естественного стока и их наполнении на 15.11.2019, а также данные о восьми водохранилищах с водоподачей из Северо-Крымского канала, перекрытого Украиной с 2014 г. Из табл. 1 следует, что полезный объем водохранилищ естественного стока Крыма составил на 15.11.2019 всего 102,57 млн м<sup>3</sup>, т.е. 42,8% от проектного (суммарный объем — 239,33 млн м<sup>3</sup>). Полезный объем водохранилищ Северо-Крымского канала составил на 15.11.2019 всего 13,2% от проектного.

Таким образом имеет место напряженная водохозяйственная обстановка с обеспечением населения и объектов экономики водой в Республике Крым.

Бахчисарайское водохранилище создано грунтовой плотиной наибольшей высотой 20,75 м, шириной поверху 7,0 м, длиной по гребню 1081 м, с коэффициентом заложения верхового откоса  $m_1 = 2,96$  и низового — от 2,91 до 2,98 (рис. 1). Его объем при НПУ равен 6,89 млн м<sup>3</sup> при площади зеркала 99,5 га. Длина береговой линии водохранилища составляет 3,67 км, средняя глубина — 6,92 м, а максимальная — 16,6 м [10].

Таблица 1

**Наполнение водохранилищ Крыма на 15.11.2019**

№ п/п	Наименование водохранилища	Полный проектный объем, млн м <sup>3</sup>	Фактическое наполнение, млн м <sup>3</sup>	Мертвый объем, млн м <sup>3</sup>	Полезный объем, млн м <sup>3</sup>	Фактический полезный объем, млн м <sup>3</sup>
<i>Водохранилища Северо-Крымского канала</i>						
1	Ленинское	7,70	3,25	1,00	6,70	2,25
2	Межгорное	50,00	1,32	1,70	48,30	0,00
3	Самарлинское	8,00	3,65	1,00	7,00	2,65
4	Станционное	24,00	7,25	1,20	22,80	6,05
5	Феодосийское	15,37	7,78	4,00	11,37	3,78
6	Фронтное	35,00	1,46	6,00	29,00	0,00
7	Сокольское	2,26	1,23	0,70	1,56	0,53
8	Зеленоярское	3,02	2,45	0,66	2,36	1,79
	Итого	145,35	28,40	16,26	129,09	17,05
<i>Водохранилища естественного стока</i>						
1	Аянское	3,90	0,45	0,15	3,75	0,30
2	Загорское	27,85	13,95	2,20	25,65	11,75
3	Изобильненское	13,25	8,75	0,30	12,95	8,45
4	Партизанское	34,40	16,13	2,20	32,20	13,93
5	Симферопольское	36,00	16,68	2,00	34,00	14,68
6	Старокрымское	3,15	1,52	0,15	3,00	1,37
7	Альминское	6,20	2,76	0,20	6,00	2,56
8	Балановское	5,00	2,68	0,32	4,68	2,36
9	Бахчисарайское	6,89	1,08	0,25	6,64	0,83
10	Белогорское	23,30	5,35	1,80	21,50	3,55
11	Кутузовское	1,11	0,34	0,40	0,71	-0,06
12	Львовское	2,20	1,46	0,24	1,96	1,22
13	Тайганское	13,80	7,13	0,25	13,55	6,88
14	Счастливенское	11,80	3,69	0,26	11,54	3,43
15	Чернореченское	64,20	34,34	3,00	61,20	31,34
	Итого	253,05	116,29	13,72	239,33	102,57
	Всего	398,40	144,68	29,98	368,42	119,62

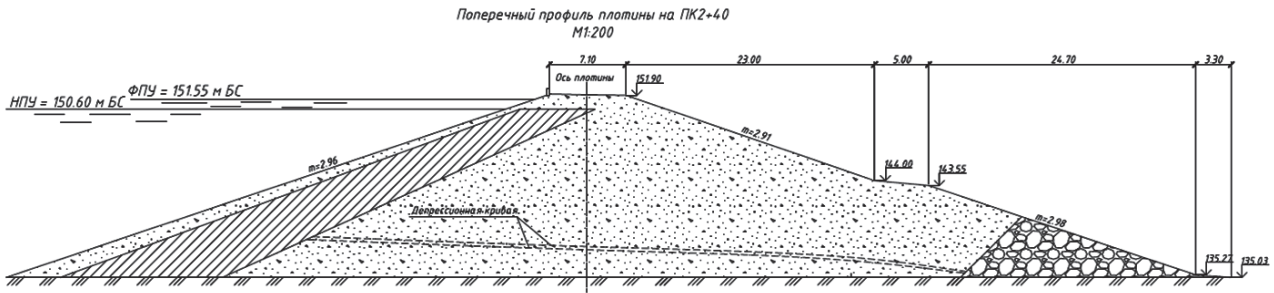


Рис. 1. Поперечный профиль грунтовой плотины Бахчисарайского водохранилища

Наполняется водохранилище по подводящему каналу длиной 5,5 км.

Водовыпускное сооружение расположено в правом примыкании плотины и состоит из железобетонной шахты прямоугольного сечения (2,0 × 2,0 м, высотой 14,75 м) с донным отверстием (1,0 × 1,0 м), от которого по каналу протяженностью 479 м вода сбрасывается в реку Качу. Сооружение после железобетонной шахты состоит из:

- плоского металлического затвора с винтовым подъемником;
- железобетонной трубы диаметром 500 мм, длиной 116,50 м;
- отводящего канала с креплением железобетонными плитами с шириной по дну 1,5 м.

После ремонтных работ в 2014 г. дополнительно установлен второй затвор. Управление затворами осуществляется вручную, имеется рыбозащитное и сороудерживающее устройства [6–9].

На рис. 2 представлена конструктивная расчетная схема донного водовыпуска.

Расчет пропускной способности выполняем как для длинного трубопровода при истечении в атмосферу по формуле [10–12]:

$$Q = \mu_B \omega \sqrt{2gH},$$

где  $\omega = \pi r^2$  — площадь живого сечения трубопровода, где  $r = 0,25$  м;

$g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$H$  — действующий напор, м.

$\mu_T$  — коэффициент расхода трубопровода, рассчитывался по формуле:

$$\mu_T = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\lambda l}{D} + \xi_{\text{вх}}}},$$

где  $\frac{\lambda l}{D}$  — потери напора по длине;

$\lambda$  — коэффициент гидравлического трения, принимаем равным 0,0232;

$l$  — длина трубопровода;

$D$  — диаметр трубопровода;

$\xi_{\text{вх}}$  — коэффициент потери напора на вход, принимаем равным 0,5.

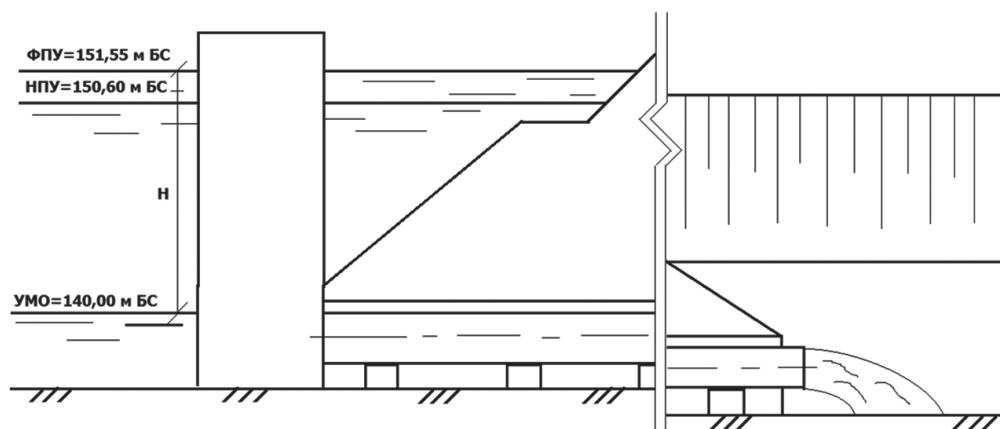


Рис. 2. Расчетная схема донного водовыпуска

Определение пропускной способности выполняем для случая при переменном УВБ (от УМО до ФПУ).

Расчет пропускной способности донного водовыпуска выполняем в табличной форме (табл. 2). По результатам расчетов построен график пропускной способности  $Q = f(H)$  (рис. 3).

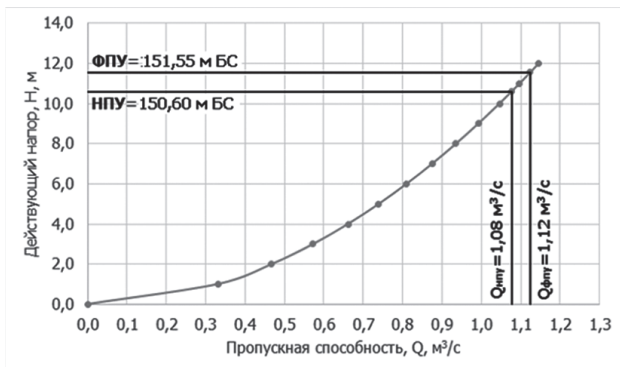


Рис. 3. График пропускной способности донного водовыпуска Бахчисарайского водохранилища

Пропускная способность донного водовыпуска (при отметке УВБ = ФПУ) равна  $Q = 1,12 \text{ м}^3/\text{с}$ , что больше проектных предположений ( $Q = 0,80 \text{ м}^3/\text{с}$ ) (табл. 2).

Таблица 2

**Пропускная способность донного водовыпуска Бахчисарайского водохранилища при различных значениях действующего напора**

Основные показатели трубопровода	Отметки УВБ, м БС	Действующий напор, H, м	Пропускная способность, Q, м³/с
Длина трубопровода, $l = 116,50 \text{ м}$ . Диаметр трубопровода, $D = 0,50 \text{ м}$ . Коэффициент расхода трубопровода, $\mu_T = 0,381$ . Площадь живого сечения, $\omega = 0,196 \text{ м}^2$ . Ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$	140,00 (УМО)	0,00	0,00
	141,00	1,00	0,33
	142,00	2,00	0,47
	143,00	3,00	0,57
	144,00	4,00	0,66
	145,00	5,00	0,74
	146,00	6,00	0,81
	147,00	7,00	0,88
	148,00	8,00	0,94
	149,00	9,00	0,99
	150,00	10,00	1,05
	150,60 (НПУ)	10,60	1,08
	151,00	11,00	1,10
151,55 (ФПУ)	11,55	1,12	

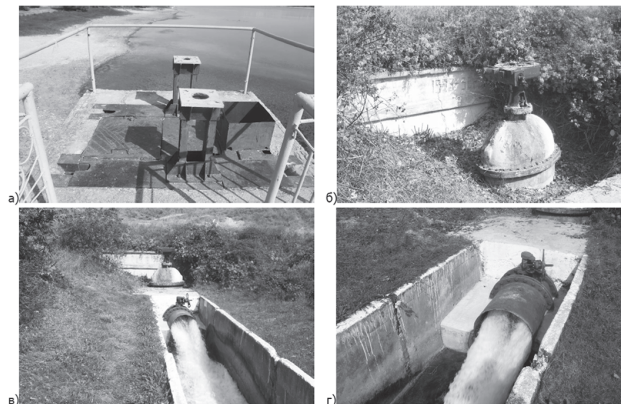


Рис. 4. Общий вид элементов донного водовыпуска

Учитывая, что продолжительность эксплуатации комплекса ГТС Бахчисарайского водохранилища приближается к нормативному ( $T = 100 \text{ лет}$ ), то необходимо обосновать мероприятия по продлению срока безопасной эксплуатации комплекса ГТС (рис. 5–7). Наиболее приемлемым вариантом для Республики Крым является организация капитального ремонта и модернизация комплекса ГТС Бахчисарайского водохранилища без необходимости их временного вывода из эксплуатации.

Для гидротехнических сооружений водохозяйственного комплекса на настоящий период отсутствуют нормативно-правовые документы по порядку продления срока безопасной эксплуатации, превышающего нормативный. Поэтому нами использовался накопленный опыт для сооружений других отраслей [14], а также зарубежный опыт [13].

Вопросы теоретической оценки количественных показателей долговечности гидротехнических сооружений, являющихся сложными природно-техническими системами, пока не имеют удовлетворительных решений. Сочетания нагрузок (постоянных, временных, кратковременных и особых) на комплексы ГТС, как правило, изменяется во времени, как и физико-механические свойства материалов, из которых они изготовлены. Попытки использования теории надежности машин, механизмов и других устройств массового производства для величины отказа (разрушения) комплексов ГТС водохранилищ встречают большие трудности, связанные с индивидуальными особенностями каждого сооружения, его основания, водосборной территории, условий работы элементов

сооружения. Поэтому комплексные натурные наблюдения с оценкой количественных и качественных показателей с использованием инструментальных и визуальных методов в настоящее время являются основным средством обеспечения допустимого уровня риска аварий комплексов ГТС водохранилищ.



Рис. 5. Порядок продления сроков безопасной эксплуатации гидротехнического сооружения



Рис. 6. Принятие решения по результатам экспертизы

На комплексах ГТС после каждых 25 лет эксплуатации проводятся многофакторные исследования в соответствии с СП 58.13330.2012 «Гидротехнические сооружения. Основные положения», позволяющие оценить остаточный ресурс всего комплекса ГТС в целом.

**Выводы.** Общее техническое состояние комплекса ГТС Бахчисарайского водохранилища по результатам натурных исследований оценивается как **удовлетворительное**.

Собственнику комплекса ГТС рекомендуется в ближайшие пять лет разработать и реализовать проект капитального ремонта с учетом достижения срока эксплуатации нормативного срока ( $T = 100$  лет) и осуществить расчистку ложа водохранилища от скопившихся за период эксплуатации донных отложений, с целью увеличения полезного объема Бахчисарайского водохранилища.



Рис. 7. Связь уровня безопасности ГТС с решением о продлении нормативного срока эксплуатации

По результатам расчетов пропускной способности донного водовыпуска был получен максимальный сбросной расход (при отметке УВБ = ФПУ), который составил  $Q = 1,12 \text{ м}^3/\text{с}$ , что больше минимально допустимого проектного значения ( $Q = 0,80 \text{ м}^3/\text{с}$ ). Максимальный расход может регулироваться величиной открытия задвижек в донном водовыпуске с целью пропуска в нижний бьеф проектных расходов. Полученный нами максимальный расход был рассчитан при условии полного открытия задвижки затвора.

## Литература

1. Волосухин Я.В. Обеспечение безопасности водопользования в Республике Крым [Текст] / Я.В. Волосухин, Д.Ю. Наволокин // Водоснабжение и санитарная техника. — 2017. — № 6. — С. 4–9.
2. Бахчисарайское водохранилище [Электронный ресурс]. — URL: [http://jalita.com/guidebook/river/reservoir\\_egiz-oba.shtml](http://jalita.com/guidebook/river/reservoir_egiz-oba.shtml)

3. Российская Федерация. Законы. О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21.07.1997 № 117-ФЗ; в ред. от 29.07.2018 № 271-ФЗ: [принят Государственной Думой 23 июня 1997 г.] [Электронный ресурс]. — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15265](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15265)
4. Бахчисарайское водохранилище. Водохозяйственный паспорт [Текст] / Укргипроводхоз. — Киев, 1979.
5. Измерение геометрических параметров дамбы Бахчисарайского водохранилища геодезическим методом: отчет о комплексных инженерных изысканиях. Часть I. Инженерно-геодезические изыскания [Текст]. — Ростов н/Д: ИП Андросов А.Ю., 2017.
6. Декларация безопасности гидротехнических сооружений Бахчисарайского водохранилища [Текст] / ОАО «Севкавгипроводхоз». — Симферополь, 2016.
7. Инструкция о порядке ведения мониторинга безопасности гидротехнических сооружений гидроузла Бахчисарайского водохранилища [Текст] / ГБУ РК «Крымелиоводхоз». — Бахчисарай, 2016.
8. Проект мониторинга безопасности гидротехнических сооружений гидроузла Бахчисарайского водохранилища [Текст] / ГБУ РК «Крымелиоводхоз». — Бахчисарай, 2016.
9. Расчет размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварий гидротехнических сооружений Бахчисарайского водохранилища [Текст] / ОАО «Севкавгипроводхоз». — Симферополь, 2016.
10. Технический отчет по результатам проведенного комплексного анализа (многофакторного обследования) с оценкой прочности, устойчивости и эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений Бахчисарайского гидроузла [Текст] / Я.В. Волосухин; ИКЦ «Безопасность ГТС». — Новочеркасск, 2017. — 111 с.
11. Методика расчета заилиения водохранилищ и подпертых бьефов при строительном проектировании и оценке безопасности сооружений гидроузлов: СТО ИБГТС-2017 [Текст] / Институт безопасности гидротехнических сооружений. — Новочеркасск, 2017.
12. Механическое оборудование гидротехнических сооружений водохозяйственных объектов. Проектирование. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования: СТО ИБГТС-2017 [Текст] / Институт безопасности гидротехнических сооружений. — Новочеркасск, 2017.
13. Proceedings of the Twenty-Sixth International Congress on Large Dams (4<sup>th</sup>–6<sup>th</sup> July 2018, Vienna — Austria). URL: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780429465086>
14. РД 03-484-02. Положение о порядке продления срока безопасной эксплуатации технических устройств, оборудования и сооружений на опасных производственных объектах [Текст] // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. — 2002. — № 36. — С. 14–22

## References

1. Volosukhin Ya.V. Obespechenie bezopasnosti vodopol'zovaniya v Respublike Krym [Ensuring the safety of water use in the Republic of Crimea]. *Vodonasabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary equipment]. 2017, I. 6, pp. 4–9.
2. *Bakhchisarajskoe vodohranilishche* [The Bakhchisaray reservoir]. Available at: [http://jalita.com/guidebook/river/reservoir\\_egiz-oba.shtml](http://jalita.com/guidebook/river/reservoir_egiz-oba.shtml)
3. *Rossijskaya Federaciya. Zakony. O bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij: Federal'nyj zakon ot 21.07.1997 No. 117-FZ: v red. ot 29.07.2018 No 271-FZ* [The Russian Federation. The laws. On the safety of hydraulic structures: Federal Law of July 21, 1997 No. 117-FZ: as amended by dated July 29, 2018 No. 271-FZ]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_15265](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_15265)
4. *Bakhchisarajskoe vodohranilishche. Vodohozyajstvennyj pasport* [The Bakhchisaray reservoir. Water passport]. Ukrigiprovodhoz [Ukrigiprovodkhoz]. Kiev, 1979.
5. *Izmerenie geometricheskikh parametrov damby Bahchisarajskogo vodohranilishcha geodezicheskim metodom: otchet o kompleksnyh inzhenernyh izyskaniyah* [Measurement of the geometrical parameters of the dam of the Bakhchisarai reservoir by the geodetic method]. *Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya* [Engineering and geodetic surveys]. Rostov n/D, 2017.
6. *Deklaraciya bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij Bahchisarajskogo vodohranilishcha* [Declaration of safety of hydraulic structures of the Bakhchisarai reservoir]. ОАО «Севкавгипроводхоз» [Sevkavgiprovodkhoz OJSC]. Simferopol', 2016.
7. *Instrukciya o poryadke vedeniya monitoringa bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij gidrouzla Bahchisarajskogo vodohranilishcha* [Instruction on the procedure for monitoring the safety of hydraulic structures of the Bakhchisaray reservoir]. *GBU RK «Krymmeliovodhoz»* [GBU RK “Krymmeliovodkhoz”]. Bahchisaraj, 2016.
8. *Proekt monitoringa bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij gidrouzla Bahchisarajskogo vodohranilishcha* [The project for monitoring the safety of hydraulic structures of the hydraulic system of the Bakhchisaray reservoir]. *GBU RK «Krymmeliovodhoz»* [GBU RK “Krymmeliovodkhoz”]. Bahchisaraj, 2016.
9. *Raschet razmera vreda, kotoryj mozhet byt' prichinen zhizni, zdorov'yu fizicheskikh lic, imushchestvu fizicheskikh i yuridicheskikh lic v rezul'tate avarij gidrotekhnicheskikh sooruzhenij Bahchisarajskogo vodohranilishcha* [Calculation of the amount of damage that may be caused to life, health of individuals, property of individuals and legal entities as a result of accidents of hydraulic structures of the Bakhchisaray reservoir]. *OAO «Sevkavgiprovodhoz»* [OJSC “Sevkavgiprovodkhoz”]. Simferopol', 2016.
10. *Tekhnicheskij otchet po rezul'tatam provedennogo kompleksnogo analiza (mnogofaktornogo obsledovaniya) s ocenкой prochnosti, ustojchivosti i ekspluatacionnoj nadezhnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij Bahchisarajskogo gidrouzla* [Technical report on the results of a comprehensive analysis (multivariate survey) with an assessment of the strength, stability and operational reliability of the hydraulic structures of the Bakhchisarai hydroelectric complex]. *IKC «Bezopasnost' GTS»* [ICC “Safety of GTS”]. Novoчеркасск, 2017. 111 p.
11. *Metodika rascheta zaileniya vodohranilishch i podpertyh b'efov pri stroitel'nom proektirovanii i ocenke bezopasnosti sooruzhenij gidrouzlov: SТО ИБГТС-2017* [Methodology for calculating the siltation of reservoirs and back-up waters during construction design and safety assessment of hydraulic structures: SТО ИБГТС-2017]. *Institut bezopasnosti gidrotekhnicheskikh sooruzhenij* [Institute for the Safety of Hydraulic Structures]. Novoчеркасск, 2017.
12. *Mekhanicheskoe oborudovanie gidrotekhnicheskikh sooruzhenij vodohozyajstvennyh ob'ektov. Proektirovanie. Organizaciya ekspluatatsii i tekhnicheskogo obsluzhivaniya. Normy i trebovaniya: SТО ИБГТС-2017* [Mechanical equipment of

- hydraulic structures of water facilities. Design. Organization of operation and maintenance. Standards and requirements: STO IBGTS-2017]. *Institut bezopasnosti gidrotekhnicheskix sooruzhenij* [Institute for the Safety of Hydraulic Structures]. Novocherkassk, 2017.
13. Proceedings of the Twenty-Sixth International Congress on Large Dams (4<sup>th</sup>–6<sup>th</sup> July 2018, Vienna – Austria). Available at: <https://www.taylorfrancis.com/books/e/9780429465086>
  14. RD 03-484-02. Polozhenie o poryadke prodleniya sroka bezopasnoj ekspluatacii tekhnicheskix ustrojstv, oborudovaniya i sooruzhenij na opasnyx proizvodstvennyh ob'ektax [RD 03-484-02. Regulation on the procedure for extending the safe operation of technical devices, equipment and structures at hazardous production facilities]. *Byulleten' normativnyx aktov federal'nyx organov ispolnitel'noj vlasti* [Bulletin of regulatory acts of federal executive bodies]. 2002, I. 36, pp. 14–22.