

# ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ КАЙРАККУМСКОЙ ГЭС (ТАДЖИКИСТАН)

М.Е. Дементьева, А.М. Шайтанов

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

**Предмет исследования:** изучение основных направлений повышения долговечности и безопасности уникальных, технически сложных объектов на примере Кайраккумской ГЭС. Особенность эксплуатации таких сооружений заключается в специфике физико-химических и механических воздействий, которые негативно сказываются на их долговечности. Однако сложность исполнения технического решения не позволяет полностью заменять эти сооружения по истечении нормативного срока службы. Учитывая уникальность ГЭС, программы восстановления эксплуатационной пригодности являются индивидуальными. Были рассмотрены основные проблемы реконструкции, которые заключаются в необходимости, во-первых, повысить производительность станции, во-вторых, обеспечить устойчивость плотины к эрозии и размыву.

**Цели:** целью исследования являлась разработка предложений по повышению пригодности к эксплуатации Кайраккумской ГЭС на основе данных о техническом состоянии ее основных узлов, зданий, а также насыпной плотины.

**Материалы и методы:** на основании методов математической статистики были проанализированы данные о прогнозируемом паводке. Также были проанализированы данные о техническом состоянии основного оборудования ГЭС и определены основные направления его модернизации.

**Результаты:** оценка вероятности разрушения плотины показала необходимость ее усиления для снижения фильтрации вод; сравнительный анализ возможных вариантов реконструкции Кайраккумской ГЭС показал необходимость комплексного подхода, который позволит решить как вопросы обеспечения требований безопасности в соответствии с международными стандартами качества, так и повышения мощности станции для увеличения выработки электроэнергии, потребности в которой с течением времени возросли. Из четырех технологических решений по снижению фильтрации в теле плотины выбран вариант устройства центральной диафрагмы из буросекущих свай как наименее влияющий на производственный цикл работы всего комплекса.

**Выводы:** результаты работы могут быть использованы при уточнении проекта организации ремонтных работ для увязки технологических циклов таким образом, чтобы снизить потери в выработке электроэнергии в связи с выполнением работ по реконструкции.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** долговечность, безопасность, ремонт, реконструкция насыпной плотины, техническое состояние, турбина, генератор

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Дементьева М.Е., Шайтанов А.М. Повышение эксплуатационной пригодности гидротехнических сооружений на примере Кайраккумской ГЭС (Таджикистан) // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 10 (109). С. 1098–1106.

## INCREASE OF OPERATIONAL SUITABILITY OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES ON THE EXAMPLE OF KAYRAKKUM HPP (TAJIKISTAN)

M.E. Dement'eva, A.M. Shaitanov

*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

**Subject:** studying the main directions for increasing durability and safety of unique, technically complex objects on the example of the Kayrakkum HPP. The peculiarity of operation of this kind of structures is the specificity of physical, chemical and mechanical factors that negatively affect their durability. However, complexity of the technical solution execution does not allow us to completely replace these structures after expiration of their standard service life. Taking into account the uniqueness of the HPP, the programs for the operational suitability restoration are individual. The main problems of reconstruction are considered, which consist in the necessity of, firstly, increasing the station's productivity, and secondly, ensuring the stability of the dam to erosion and scours.

**Research objectives:** the goal of the study was to develop proposals for improvement of operational suitability of the Kayrakkum HPP based on data on the technical condition of its main units, buildings, and rockfill dam.

**Materials and methods:** in the process of long-term operation, due to filtration processes, seismic influences, the performance parameters of buildings and structures of hydropower plants deteriorate, which negatively affects the reliability of their operation. Therefore, based on the methods of mathematical statistics, data on the projected flood were analyzed. The data on the technical condition of the main HPP equipment were also analyzed and the main directions of its modernization were determined.

**Results:** an assessment of the probability of destruction of the dam showed the need to strengthen it to reduce water filtration. A comparative analysis of possible options for reconstruction of the Kayrakkum HPP has shown the need for an integrated approach that will allow us to solve both the issues of ensuring safety requirements in accordance with international quality standards and enhancement of the plant's capacity to increase the generation of electricity, the demand for which has increased over time. Out of four technological solutions to reduce filtration into the body of the dam, an option of the central diaphragm from the secant bored piles has been chosen as the least affecting the production cycle of the entire complex. **Conclusions:** the results of this work can be used when clarifying the repair work organization project to link the technological cycles in such a way as to reduce the losses in generation of electricity caused by execution of works on reconstruction.

**KEY WORDS:** durability, safety, repair, rockfill dam reconstruction, technical condition, turbine, generator

**FOR CITATION:** Dement'eva M.E., Shaitanov A.M. Povyshenie ekspluatatsionnoy prigodnosti gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na primere Kayrakkumskoy GES (Tadzhikistan) [Increase of Operational Suitability of Hydrotechnical Structures on the Example of Kayrakkum HPP (Tajikistan)]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 10 (109), pp. 1098–1106.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остро стоит вопрос prolongации сроков эксплуатации существующих гидротехнических сооружений. Построенные в середине XX в. объекты уже практически выработали свой ресурс и нуждаются в повышении эксплуатационной пригодности. Изучив результаты обследования Кайраккумской ГЭС (Таджикистан), можно констатировать, что хотя строительство этих сооружений осуществлялось с учетом жестких требований безопасности, экологии, энергосбережения, рационального размещения оборудования, в настоящее время электрическое и механическое оборудование требует замены, системы мониторинга и безопасности физически и функционально устарели и не соответствуют современным международным стандартам. Также в ряде случаев необходимо повышать сейсмостойкость сооружений.

Принятие решения о сохранении и дальнейшей эксплуатации или же ликвидации объектов гидротехнического строительства должно быть обосновано технико-экономическим анализом [1–4]. Вместе с тем одной из основных проблем Таджикистана является острая нехватка электроэнергии. Строительство новых ГЭС требует времени, а также существенных инвестиций в проектирование и строительство. Таджикистан не располагает достаточными средствами для строительства новых ГЭС, поэтому основное внимание уделяется реконструкции существующих. Различные гидрогеологические условия, сейсмические воздействия, особенности организации эксплуатационного процесса обуславливают неповторимость технических и технологических решений по реконструкции гидротехнических сооружений [5–7]. Таким образом, повышение эксплуатационной пригодности функционирующих гидротехнических сооружений является актуальной, но достаточно сложной в решении проблемой. Целью настоящей статьи было выполнить сравнительный анализ нескольких вариантов реконструкции Кайраккумской ГЭС и представить рекомендации по ее техническому перевооружению.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Современные исследования по обеспечению безопасности при эксплуатации гидротехнических сооружений предполагают последовательное решение комплекса мероприятий [8–10]:

- оценка технического состояния сооружения;
- изучение различных сценариев ремонта: выборочного, капитального или комплексной реконструкции;
- технико-экономическое обоснование оптимального варианта восстановления эксплуатационной пригодности;
- разработку и согласование проектных решений с учетом требований технических регламентов.

Большая доля исследований по вопросам реконструкции гидротехнических сооружений направлена на технико-экономическое обоснование решений по их восстановлению [11–13]. Также активно ведутся современные научные разработки по совершенствованию технологий восстановительных работ [14–16]. Многие ученые уделяют внимание повышению противоточных свойств материалов [17, 18]. Вместе с тем гидротехнические сооружения по определению уникальны, поэтому для каждого из них требуется разработка индивидуальной программы реконструкции. Для обеспечения эксплуатационной пригодности ГЭС, срок службы которых подошел к концу, необходимо изучить влияние физико-химических факторов на механическую безопасность и безопасность функционирования в условиях как нормальной эксплуатации, так и сложных природно-техногенных воздействий [19–23]. Такие исследования позволят определить оптимальную долговечность, поскольку за установленный нормативный срок службы отдельные элементы гидротехнических сооружений не исчерпывают до конца физико-механических свойств материалов, что является основанием для разработки индивидуальной программы реконструкции для Кайраккумской ГЭС и обосновывает новизну исследований, заключающуюся в разработке проекта комплексной реконструкции гидроузла, который преследует следующие три цели:

1. Увеличение выработки электроэнергии путем замены основного гидросилового оборудования.
2. Повышение уровня безопасности гидроузла до установленного в международных стандартах.
3. Повышение сейсмостойкости тела плотины.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для решения поставленной задачи были изучены и проанализированы материалы натурных и инструментальных обследований технического состояния основного оборудования и плотины ГЭС, на основе которых выполнено планирование реконструктивных работ.

Также с помощью методов математической статистики были систематизированы данные многолетних наблюдений за режимом поступления воды, что явилось основой определения прогнозируемого паводка. Сравнительный анализ пропускной способности ГЭС и прогнозируемого паводка дал возможность сделать вывод о вероятности разрушения плотины, что также легло в основу обоснования необходимости выполнения комплексной реконструкции.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гидроузел проектировался для выработки электроэнергии и управления ирригацией на р. Сырдарья. Выше по течению расположена Токтогульская ГЭС в Киргизстане, регулирующая сток р. Нарын, которая формирует р. Сырдарья в Таджикистане совместно с р. Карадарья. Проект разрабатывался с начала 1940-х гг. по 1950 г. Строительство началось в 1953 г. и длилось до 1957 г. Кайраккумская ГЭС состоит из земляной плотины длиной 1200 м и бетонной части длиной 130 м. Высота плотины составляет 32 м. Мощность станции 126 МВт. В результате исследований были уточнены основные характеристики гидроузла, определены фактические характеристики и техническое состояние гидросилового оборудования, а также систем контроля и безопасности.

Основные параметры Кайраккумской ГЭС следующие:

Параметры	Описание
<i>Плотина</i>	
Тип	Однородная намывная плотина
Протяженность	1200 м
Высота	28 м
Отметка основания	323,5 м
Отметка гребня	351,5 м
<i>Водохранилище</i>	
Отметка ФПУ	347,5 м
Объем при ФПУ	4000 млн м <sup>3</sup>
Полезный объем	2300 млн м <sup>3</sup>
УМО	340,6 м

Параметры	Описание
<i>Агрегаты</i>	
Общая установленная мощность	126 (6 × 21) МВт
Тип турбин	Поворотно-лопастные
Количество турбин	6
Расчетный напор	15 м
<i>Водоводы</i>	
Отметка водоприемника	347,5 м
Отметка оси поворота лопастей рабочего колеса	324,2 м
Уровень нижнего бьефа	332,5 м
<i>Водосливная плотина</i>	
Конструкция	шесть водосливных секций шириной 12 м каждая
Тип затвора	Шандорный
Пропускная способность	3960 (6 × 660) м <sup>3</sup> /с
Пропускная способность агрегатов ГЭС	1080 м <sup>3</sup> /с

Кайраккумская ГЭС эксплуатируется более 50 лет, и большая часть ее оборудования практически выработала свой нормативный срок службы (рис. 1). В настоящее время функционируют шесть вертикальных поворотно-лопастных турбин (ПЛ) 1956–1957 гг. выпуска мощностью в 21 МВт каждая. Расчетный напор составляет 15 м. Частота вращения турбин 125 об./мин. Расчетный расход станции 177 м<sup>3</sup>/с.

Чтобы избежать большого объема строительных работ, целесообразно диаметр рабочего колеса оставить без изменений и при этом увеличить мощность турбин, поскольку потребности Таджикистана в электроэнергии возросли со времени возведения ГЭС (рис. 2). Мощность новых турбин при той же частоте вращения и расчетном расходе должна составить 29 МВт, что примерно на 30 % больше мощности эксплуатируемой турбины и обеспечит планируемые потребности.

Для обеспечения нормативного режима технологического процесса на ГЭС, при установке новых турбин в связи с увеличением расчетной мощности

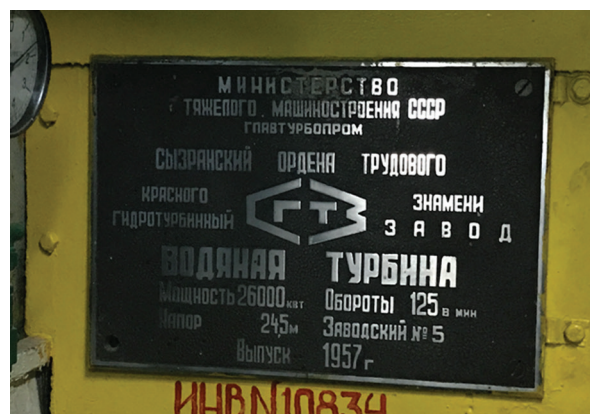


Рис. 1. Турбина Кайраккумской ГЭС 1957 г. выпуска

необходима установка новых генераторов вне зависимости от того, что большая часть оборудования уже исчерпала срок своей службы (рис. 3).

В свою очередь замена основных узлов влечет за собой необходимость замены защитной аппаратуры и систем контроля, которые в настоящее время не соответствуют современным международным стандартам безопасности (рис. 4).

В неудовлетворительном техническом состоянии из-за коррозии находятся сороудерживающие решетки, защищающие турбины от попадания в них плавающего мусора. Требуется их полная замена. Шандорные затворы в центральных водосливных пролетах необходимо частично заменить, частично выполнить пескоструйную и антикоррозионную обработку и замену гидроизоляционного уплотнителя (рис. 5).

Само здание ГЭС находится в удовлетворительном состоянии, необходим ремонт бетонных элементов, кранов и затворов. Таким образом, основные рекомендации по техническому перевооружению Кайраккумской ГЭС состоят в следующем:

1. Замена турбины на пятилопастную диаметром колеса 5 м, с минимальным рабочим напором 13,5 м, максимальным напором 24,5 м, мощностью

29 МВт. Координация работы лопастей рабочего колеса и поворотных затворов осуществляется с помощью современных электронных регуляторов.

2. Установка шести вертикальных синхронных трехфазных генераторов, соединенных с рабочим колесом поворотно-лопастной турбины, с автоматической регулировкой напряжения и с КПД при полной загрузке 97 %.

3. Замена защитной аппаратуры, включая трансформаторы, распределительные щиты, электропитание, освещение, телефонную связь в машинном зале ГЭС.

4. Замена системы управления. Помимо локального управления каждой генераторной установкой необходимо установить систему SCADA, позволяющую обеспечить полностью автоматическое управление ГЭС: контроль, визуализацию, мониторинг и регистрацию характеристик работы основных узлов сооружения, а также осуществлять дистанционное управление из диспетчерского центра.

Следующей задачей, направленной на решение поставленной в работе цели, является выбор варианта реконструкции земляной плотины Кайраккумской ГЭС. Как было сказано выше, гидроузел был постро-



Рис. 2. Установленная мощность Кайраккумской ГЭС, фактическая и планируемая



Рис. 3. Генератор Кайраккумской ГЭС 1957 г. выпуска



Рис. 4. Действующая система контроля и безопасности основного рабочего оборудования Кайраккумской ГЭС



Рис. 5. Коррозия шандорных затворов Кайраккумской ГЭС

ен на р. Сырдарья, основным источником водных ресурсов которой являются талые воды гор Тянь-Шаня. Вода поступает в естественном режиме главным образом за счет таяния снега, пик приходится на июнь. Таяние ледников не сильно влияет на приток, поскольку ледниковые воды в общем объеме не превышают 6 % стока. Сильные паводки возникают из-за резкого таяния снега, которые могут продолжаться несколько недель и повторяться несколько раз за сезон. Этот тип паводка наиболее опасный для ГЭС. Моделирование паводка показывает, что имеющиеся водосбросные сооружения работают на пределе своих возможностей, что в свою очередь сказывается на безопасности гидроузла в целом:

Существующие характеристики пропускной способности	Расход, м <sup>3</sup> /с
Водослив (шесть пролетов)	3960
Максимальная пропускная способность ГЭС	1080
Общая максимальная пропускная способность	5040
<i>Максимальный прогнозируемый паводок</i>	
До строительства (1934 г.)	3440
После строительства (1969 г.)	4240
<i>Расчетный паводок</i>	
T = 1000 лет	4410
T = 10 000 лет	5571

Учитывая тип плотины и высокую вероятность разрушения, очевидно, что для того, чтобы соответствовать современным стандартам безопасности, она должна иметь потенциал, чтобы в случае возникновения сильного паводка не случилось перелива воды через гребень. Так как плотина однородная намывная, то она очень чувствительна к переливам, а также внутренней и поверхностной эрозии (рис. 6). В связи с этим необходимо рассмотреть возможность строительства дополнительного водосброса. Также есть вероятность негативного сейсмического воздействия. Следовательно, любое из этих событий может привести к разрушению плотины.

Поэтому плотину необходимо реконструировать и укрепить, устроив противофильтрационный элемент, например, из металлического шпунта. Для

контроля порового давления и фильтрационного расхода необходимо установить контрольно-измерительные приборы, такие как датчики давления и расходомеры с автоматической записью параметров в теле плотины.

Рассмотрим несколько вариантов решения этой задачи, направленных на уменьшение фильтрации воды в теле плотины. Вариант № 1 (рис. 7) представляет собой стальное шпунтовое ограждение по верхнему откосу плотины. Он служит для удлинения пути фильтрации через тело плотины и основание. Основным преимуществом этого метода является то, что стальное шпунтовое покрытие — это часто используемый метод, не требующий специального оборудования. Однако на время проведения работ необходимо будет частично сработать водохранилище. Кроме того, высота стального шпунта ограничена, что является недостатком данного варианта.

Вариант № 2 (рис. 7) представляет собой «стену в грунте» со стороны верхнего бьефа плотины. Решение такое же, как в варианте № 1. При этом во время производства работ необходима сработка водохранилища до более низких отметок, чем в варианте № 1. Кроме того, работы должны быть проведены в течение межлетнего периода, а пропускная способность водосбросов должна минимизировать риск поднятия уровня воды выше отметки, на которой выполняются монтажные работы.

Вариант № 3 (рис. 8) представляет собой центральную диафрагму из буросекующих свай. Данный вариант позволяет защитить плотину от фильтрации в основании, уменьшает напорный градиент, полностью обеспечивает непроницаемость сооружения и основания. При этом для монтажа нет необходимости срабатывать водохранилище. Глубина заделки в основание зависит от его состояния и напорного градиента. Однако этот метод требует специального оборудования, но в то же время устройство диафрагмы технологичнее «стены в грунте».

Вариант № 4 (рис. 9) также представляет собой диафрагму, но со стороны верхнего бьефа с устройством бетонной облицовки откоса. Это решение призвано защитить плотину от фильтрации в основании, уменьшить напорный градиент. Однако во время проведения работ по реконструкции водохранили-

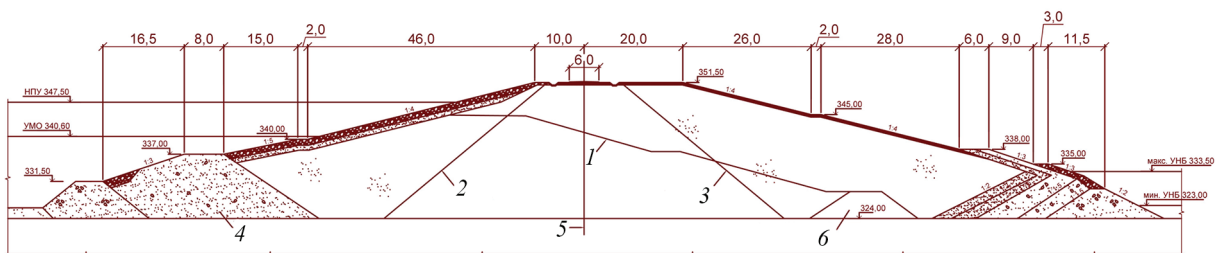


Рис. 6. Профиль Кайракумской насыпной плотины: 1 — граница намыва 1-й, 2-й очереди; 2, 3 — условная граница перехода от центральной части к боковой призме; 4 — верховая шагальная призма; 5 — ось плотины и автодороги; 6 — низовая ограждающая призма из шагала

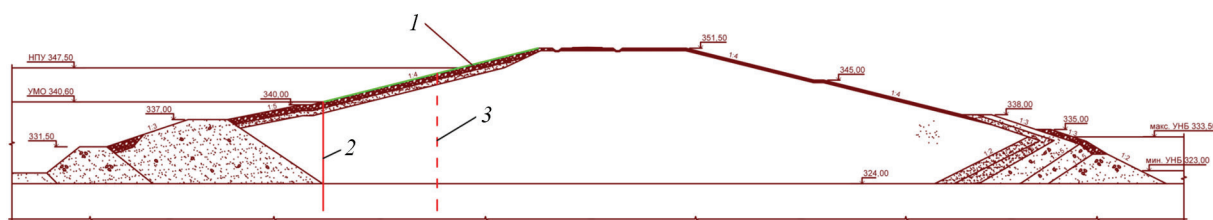


Рис. 7. Варианты № 1 и № 2 реконструкции Кайракумской земляной плотины: 1 — стальное шпунтовое ограждение по верховому откосу плотины (вариант № 1); 2, 3 — вариант № 2

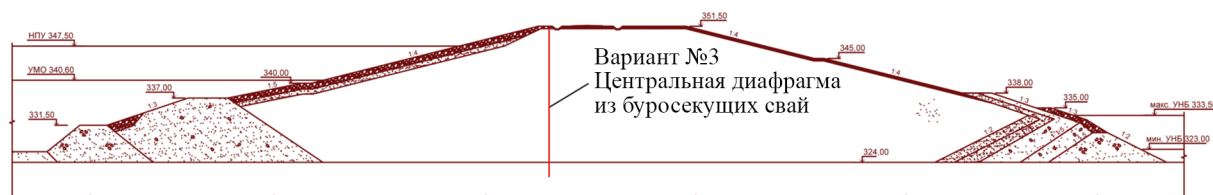


Рис. 8. Вариант № 3 реконструкции Кайракумской земляной плотины

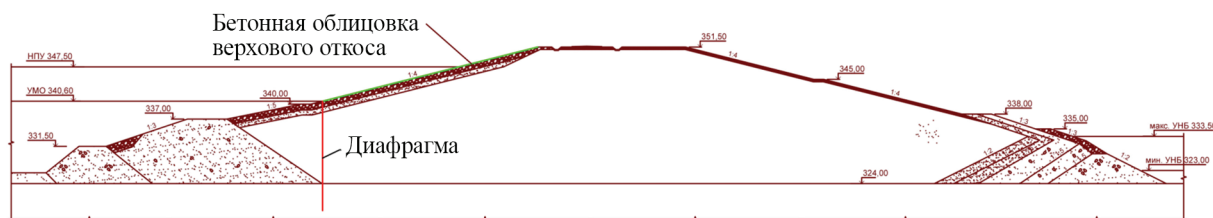


Рис. 9. Вариант № 4 реконструкции Кайракумской земляной плотины

ща уровень воды в нем должен быть низким. Кроме того, этот метод требует более длинного периода строительства. К тому же, существует опасность затопления строительной площадки в период паводков.

Рассмотрев четыре возможных пути реконструкции земляной плотины, можно сделать вывод, что наиболее подходящим с точки зрения технологичности выполняемых работ, а также обеспечения непрерывного функционирования ГЭС является вариант № 3.

## ВЫВОДЫ

На примере Кайракумской ГЭС были рассмотрены основные технические и технологические предложения повышения ее эксплуатационной пригодности, направленные на продление срока эксплуатации сооружения и повышение его производственных мощностей. Так, замена основного гидросилового оборудования ГЭС позволит увеличить мощность более чем на 30 %, что частично решит проблему электроснабжения Таджикистана. Кроме того, при проведении реконструкции необходимо

увеличить количество контрольно-измерительного оборудования для автоматизированной оценки технического состояния и безопасности плотины и прилегающих к ней конструкций: водосливов, здания ГЭС. Также требуется установка новых инструментов безопасности, таких как датчики давления и расходомеры и их интеграция в новую систему наблюдения и контроля. Должна быть заменена система мониторинга землетрясений и соответствующая система оповещения в зданиях. Для оценки общей устойчивости сооружения необходимо установить специальное мониторинговое оборудование. Новые системы мониторинга и контроля позволят повысить уровень безопасности гидроузла до установленного в международных стандартах. Поскольку общая продолжительность мероприятий по реконструкции, включая замену оборудования и ремонт плотины, составит около 7-8 лет, то дальнейшие исследования необходимо направить на организацию процесса производства работ, включая замену турбин ГЭС для того, чтобы минимизировать потери в годовых выработках электроэнергии, например, из-за уменьшения числа работающих агрегатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чудаева А.А. Особенности оценки экономической эффективности реконструкции судоходных

гидротехнических сооружений // Российская наука: актуальные исследования и разработки : сб. науч.

ст. III Всерос. заоч. науч.-практ. конф. : в 3 ч. Ч. 2. Самарский государственный экономический университет. Самара, 2017. С. 310–314.

2. Чудаева А.А. Подход к определению эффективности мероприятий по реконструкции судоходных гидротехнических сооружений // Наука XXI века: актуальные направления развития. 2017. № 1–2. С. 414–417.

3. Khvesyuk M.A., Levkovska L.V., Mandzyk V.M. Investment into modernization of reclamation waterworks // Международный научно-производственный журнал «Экономика АПК». 2016. № 3 (257). С. 5–14.

4. Матишов Г.Г. Экологические и социально-экономические последствия реконструкции гидротехнических сооружений на Нижнем Дону // Наука Юга России. 2016. Т. 12. № 4. С. 41–49.

5. Максименко Е.В., Левачев С.Н. Проблемы старения и реконструкция гидротехнических сооружений на примере шлюза 10 канала им. Москвы // Вестник МГСУ. 2010. № 4-2. С. 324–330.

6. Михайлов Е.Д. Обоснование применения размываемой грунтовой вставки на грунтовой плотине пруда казенного на балке Атюхте бассейна реки Грушевки // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2014. № 54. С. 43–48.

7. Сольский С.В., Новицкая О.И., Кубетов С.В. Оценка эффективности дренажных и противофильтрационных устройств бетонных плотин на скальном основании (на примере Бурейской ГЭС) // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 4 (48). С. 28–38.

8. Топорков Д.Н., Косухин А.М. Подводное строительство, ремонт и реконструкция гидротехнических сооружений береговых объектов городской инфраструктуры // Международный студенческий строительный форум — 2016 (к 45-летию кафедры строительства и городского хозяйства): сб. докл.: в 3 т. Т. 1. Белгород : Изд-во БГТУ, 2016. С. 260–268.

9. Черных О.Н., Сабитов М.А., Бурлаченко А.В. Специфика реконструкции бесхозяйных плотин // Природообустройство. 2017. № 2. С. 12–20.

10. Мишин Д.В., Павленко Н.В. Совершенствование системы автоматизации натуральных наблюдений на гидротехнических сооружениях // Известия ВНИИГ. 2007. Т. 248. С. 94–99.

11. Абдразаков Ф.К., Поморова А.В., Ткачев А.А., Сирота В.Т. Анализ и оценка целесообразности инвестиционных проектов для сельскохозяйственного природопользования // Аграрный научный журнал. 2016. № 2. С. 37–40.

12. Марухно А.В., Гришина Е.А., Жирма В.В. Водное хозяйство Краснодарского края и устойчи-

вое развитие региона // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. 2015. № 1. С. 384–409.

13. Шишкин В.О., Кирсанов А.А. Оценка эффективности инвестиционного проекта реконструкции Шапсугского водохранилища // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 48. С. 189–194.

14. Зерцалов М.Г., Марчук А.Н., Косолапов А.В. Особенности и преимущества технологии алмазной резки и сверления при ремонте и реконструкции гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2012. № 11. С. 2–7.

15. Семенов С.Я., Арьков Д.П., Марченко С.С. и др. Способ реконструкции деформационных швов противофильтрационных бетонных и железобетонных облицовок гидротехнических сооружений // Мелиорация и водное хозяйство. 2017. № 1. С. 31–35.

16. Иванов С.В. Повышение прочностных и технологических показателей подпорных стен путем изменения их конструктивных особенностей // В мире научных открытий. 2015. № 8 (68). С. 65–74.

17. Саламатов Д.В. Технологии Sika® для строительства и реконструкции гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2015. № 3. С. 19–21.

18. Личман Н.В. Применение серы и золы ТЭЦ норильского региона при строительстве и реконструкции гидротехнических сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8. С. 29–34.

19. Dams and Floods Guidelines and Case Histories (ICOLD — CIGB Bulletins Volume: 125) ICOLD, 2003.

20. Айзен В.Б., Айзен Е.М., Мелак Дж.М., Клима. Снежный покров. Ледники и сбросы Тянь-Шаня. Центральная Азия // Бюллетень по водным ресурсам. 1995. № 31 (6). С. 1113–1129.

21. Данила С., Шикинис А. Состояние гидротехнических сооружений и окружающей среды Круонисской гидроаккумулирующей электростанции // Гидротехническое строительство. 2007. № 7. С. 1–14.

22. Резникова С.Н., Цурикова Е.Г. К вопросу об эксплуатации крупных гидротехнических сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 5. С. 11–13.

23. Игнатенко Н.В., Паламарчук А.Е. Причины аварий на существующих земляных плотинах и пути их устранения // Безопасность городской среды : мат. IV Междунар. науч.-практ. конф. Омск, 2017. С. 153–155.

Поступила в редакцию 16 июня 2017 г.

Принята в доработанном виде 10 августа 2017 г.

Одобрена для публикации 18 сентября 2017 г.

О Б АВТОРАХ: **Дементьева Марина Евгеньевна** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры жилищно-коммунального комплекса, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; 7dem@mail.ru; ORCID 0000-0002-1469-72; researcherID Q-3399-2017;

**Шайтанов Алексей Михайлович** — студент кафедры жилищно-коммунального комплекса, **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; shaytanov.alexey@mail.ru.

## REFERENCES

1. Chudaeva A.A. Osobennosti otsenki ekonomicheskoy effektivnosti rekonstruktsii sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Features of the Estimation of Economic Efficiency of Reconstruction of Navigable Hydraulic Structures]. *Rossiyskaya nauka: aktual'nye issledovaniya i razrabotki : sbornik nauchnykh statey III Vserossiyskoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Russian Science: Actual Research and Development : Collected Works of the III All-Russian Extramural Scientific and Practical Conference:] 3 parts. Samara State University of Economics. Part 2. Samara, 2017, pp. 310–314. (In Russian)
2. Chudaeva A.A. Podkhod k opredeleniyu effektivnosti meropriyatiy po rekonstruktsii sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Approach to Determination of Efficiency of Activities on Reconstruction of Shipping Hydrotechnical Constructions]. *Nauka XXI veka: aktual'nye napravleniya razvitiya* [XXI Century Science: Current Trends in Development]. 2017, no. 1–2, pp. 414–417. (In Russian)
3. Khvesyk M.A., Levkovska L.V., Mandzyk V.M. Investment Into Modernization of Reclamation Waterworks. *Mezhdunarodnyy nauchno-proizvodstvennyy zhurnal «Ekonomika APK»* [International Scientific and Production Magazine “Economy of Agribusiness”]. 2016, no. 3 (257), pp. 5–14.
4. Matishov G.G. Ekologicheskie i sotsial'no-ekonomicheskie posledstviya rekonstruktsii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na Nizhnem Donu [Ecological and Socio-Economic Effects of Hydro-Technical Facilities' Reconstruction in the Lower Don Region]. *Nauka Yuga Rossii* [Science in the South Russia]. 2016, vol. 12, no. 4, pp. 41–49. (In Russian)
5. Maksimenko E.V., Levachev S.N. Problemy stareniya i rekonstruktsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na primere shlyuza 10 kanala im. Moskvy [Problems of Hydraulic Facilities Ageing and Reconstruction by the Example of Canal Lock № 10 Named After Moscow]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2010, no. 4–2, pp. 324–30. (In Russian)
6. Mikhaylov E.D. Obosnovanie primeneniya razmyvaemoy gruntovoy vstavki na gruntovoy plotine pruda kazennogo na balke Atyukhte basseyna reki Grushevki [Substantiation of the Application of the Eroded Soil Insert on the Soil Dam of the Pond of the State Pond on the Atyukhta Beam of the Grushevka River Basin]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya* [Ways to Improve the Efficiency of Irrigated Agriculture]. 2014, no. 54, pp. 43–48. (In Russian)
7. Sol'skiy S.V., Novitskaya O.I., Kubetov S.V. Otsenka effektivnosti drenazhnykh i protivofil'tracionnykh ustroystv betonnykh plotin na skal'nom osnovanii (na primere Bureyskoy GES) [Evaluating the Effectiveness of Drainage and Impervious Elements of Concrete Dams on Bedrock (On Example of Bureysk HPP)]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2014, no. 4 (48), pp. 28–38. (In Russian)
8. Toporkov D.N., Kosukhin A.M. Podvodnoe stroitel'stvo, remont i rekonstruktsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy beregovykh ob'ektov gorodskoy infrastruktury [Underwater Construction, Repair and Reconstruction of Hydraulic Structures of Coastal Infrastructure of Urban Infrastructure]. *Mezhdunarodnyy studencheskiy stroitel'nyy forum — 2016 (k 45-letiyu kafedry stroitel'stva i gorodskogo khozyaystva)* [International Student Building Forum — 2016 (45th Anniversary of the Department of Construction and Municipal Economy) : Collected Reports]. 3 vols. Vol. 1. Belgorod, Belgorod State Technical University, 2016, pp. 260–268. (In Russian)
9. Chernykh O.N., Sabitov M.A., Burlachenko A.V. Spetsifika rekonstruktsii beskhozyaynykh plotin [Specific Character of Reconstruction of Ownerless Dams]. *Prirodoobustroystvo* [Nature Management]. 2017, no. 2, pp. 12–20. (In Russian)
10. Mishin D.V., Pavlenko H.B. Sovershenstvovanie sistemy avtomatizatsii naturnykh nablyudeniya na gidrotekhnicheskikh sooruzheniyakh [Perfection of the System for the Automation of Full-Scale Observations at Hydraulic Structures]. *Izvestiya VNIIG* [Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after. B.E. Vedeneev]. 2007, vol. 248, pp. 94–99. (In Russian)
11. Abdrazakov F.K., Pomorova A.V., Tkachev A.A., Sirota V.T. Analiz i otsenka tselesoobraznosti investitsionnykh proektov dlya sel'skokhozyaystvennogo prirodopol'zovaniya [Analysis and Evaluation of the Feasibility of Investment Projects for Agricultural Environmental Engineering]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agrarian Scientific Journal]. 2016, no. 2, pp. 37–40. (In Russian)



12. Marukhno A.V., Grishina E.A., Zhirma V.V. Vodnoe khozyaystvo Krasnodarskogo kraya i ustoychivoe razvitiye regiona [Water Economy of the Krasnodar Krai and Sustainable Development of the Region]. *Gumanitarnye, sotsial'no-ekonomicheskie i obshchestvennyye nauki* [Humanities, Social-Economic and Social Sciences]. 2015, no. 1, pp. 384–409. (In Russian)

13. Shishkin V.O., Kirsanov A.A. Otsenka effektivnosti investitsionnogo proekta rekonstruktsii Shapsugskogo vodokhranilishcha [Evaluation of the Efficiency of the Investment Project for the Reconstruction of the Shapsug Reservoir]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Kuban State Agrarian University]. 2014, no. 48, pp. 189–194. (In Russian)

14. Zertsalov M.G., Marchuk A.N., Kosolapov A.V. Osobennosti i preimushchestva tekhnologii almaznoy rezki i sverleniya pri remonte i rekonstruktsii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Features and Advantages of Diamond Cutting and Drilling Technology for Repair and Reconstruction of Hydraulic Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 2012, no. 11, pp. 2–7. (In Russian)

15. Semenenko S.Ya., Ar'kov D.P., Marchenko S.S. et al. Sposob rekonstruktsii deformatsionnykh shvov protivofil'tratsionnykh betonnykh i zhelezobetonnnykh oblitsovok gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [The Process of Reconstruction of Expansion Joints Impervious Concrete and Ferroconcrete Facings Waterworks]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Melioration and Water Management]. 2017, no. 1, pp. 31–35. (In Russian)

16. Ivanov S.V. Povyshenie prochnostnykh i tekhnologicheskikh pokazateley podpornykh sten putem izmeneniya ikh konstruktivnykh osobennostey [Increase of Strength and Technological Parameters of Retaining Walls by Changing Their Design Features]. *V mire nauchnykh otkrytiy* [In the World of Scientific Discoveries]. 2015, no. 8 (68), pp. 65–74. (In Russian)

17. Salamatov D.V. Tekhnologii Sika® dlya stroitel'stva i rekonstruktsii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Sika® Technologies for the Construction and

Reconstruction of Hydraulic Structures]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 2015, no. 3, pp. 19–21. (In Russian)

18. Lichman N.V. Primeneniye sery i zoly TETs noril'skogo regiona pri stroitel'stve i rekonstruktsii gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [The Use of Norilsk Region's Sulfur and Hes ash for Hydraulic Engineering and Reconstruction]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Magazine of Civil Engineering]. 2011, no. 8, pp. 29–34. (In Russian)

19. Dams and Floods Guidelines and Case Histories (ICOLD – CIGB Bulletins Volume: 125) ICOLD, 2003.

20. Ayzen V.B., Ayzen E.M., Melak Dzh.M. Klimat. Snezhnyy pokrov. Ledniki i sbrosy Tyan'-Shanya. Tsentral'naya Aziya [Glaciers and Discharges of the Tien Shan. Central Asia]. *Byulleten' po vodnym resursam* [Bulletin on Water Resources]. 1995, no. 31 (6), pp. 1113–1129. (In Russian)

21. Danila S., Shikshnis A. Sostoyaniye gidrotekhnicheskikh sooruzheniy i okruzhayushchey sredy Kruonisskoy gidroakkumuliruyushchey elektrostantsii [State of Hydraulic Structures and the Environment of the Kruonis Pond Storage Power Plant]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydro-engineering Construction]. 2007, no. 7, pp. 1–14. (In Russian)

22. Reznikova S.N., Tsurikova E.G. K voprosu ob ekspluatatsii krupnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Revisiting the Operation of Large-Scale Hydroengineering Facilities]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Technique]. 2017, no. 5, pp. 11–13. (In Russian)

23. Ignatenko N.V., Palamarchuk A.E. Prichiny avariyy na sushchestvuyushchikh zemlyanykh plotinakh i puti ikh ustraneniya [Causes of Accidents on Existing Earth Dams and Ways of Their Elimination]. *Bezopasnost' gorodskoy sredy : materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Causes of Accidents on Existing Earth Dams and Ways of Their Elimination : Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference]. Omsk, 2017, pp. 153–155. (In Russian)

Received June 16, 2017

Accepted in revised form August 10, 2017

Approved for publication September 18, 2017

ABOUT THE AUTHORS: **Dement'eva Marina Evgen'evna** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor Department of Housing and Communal Services, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; 7dem@mail.ru, ORCID 0000-0002-1469-72; researcherID Q-3399-2017;

**Shaytanov Alexey Mikhailovich** — Student, Department of Housing and Communal Services, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; shaytanov.alexey@mail.ru.