

3. FZ RF ot 27.12.2002 г. № 184-FZ «O teh-  
nicheskom regulirovani».

4. **Karpenko N.P.** Strukturaiotsenkageoe-  
kologicheskikh riskov. // Prirodoobustrojstvo. –  
2009. – № 3. – S. 45-50.

5. **Karpenko N.P.** Geoecologicheskij risk:  
analiz, otsenki, upravlenie. Monografiya. –  
Германия: Palmarium Academic Pablising.  
2014. – 145 S.

6. **Karpenko N.P.** Ispolzovanie GIS-in-  
strumentariya pri reshenii zadach upravleni-  
ya tehnoprirodnymi protsessami v granitsah  
vodobornogo bassejna / Materialy pyatij  
mezhdunarodnoj konferentsii «Upravlenie  
razvitiem krupnomasshtabnyh system

(MLSD'2011)». – M.: Institut problem uprav-  
leniy im. V.A. Trapeznikova RAN, 2011. –  
S. 361-364.

The material was received at the editorial office  
29.11.2017

#### Information about the authors

**Karpenko Nina Petrovna**, doctor of tech-  
nical sciences, associate professor, professor of  
the chair «Hydrology, hydrogeology and flow  
regulation», FSBEI HE RGAU-MAA named  
after C.A. Timiryazev», 127550, Moscow,  
ul. Pryanishnikova, 19; tel.: 8(499)9762368;  
e-mail: npkarpenko@yandex.ru

УДК 502/504:626/627: 627.042

DOI 10.26897/1997-6011/2018-2-22-28

#### Д.В. КОЗЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация

#### Д.А. КРУТОВ

Компания «СМЕС» (Австралия)

## КОМПЛЕКСНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПЛОТИН

*Увеличение числа возводимых плотин (последние 100 лет) и их среднего возраста требует выявления общих проблем, возникающих после многолетней эксплуатации гидротехнического сооружения, и формирования комплексного подхода при проведении ремонтных мероприятий. Сложность восстановительных работ на плотинах обусловлена проведением этих работ в стесненных условиях уже существующего эксплуатирующегося сооружения. В статье приводятся сведения о современных комплексных работах по реконструкции эксплуатируемых гидротехнических сооружений. На инспектируемых плотинах выявлены отклонения геометрии поперечного сечения плотин от проектного профиля, а также неудовлетворительное состояние креплений и облицовок грунтовых и каменно-набросных гидротехнических сооружений. Предложены мероприятия по реконструкции гребней плотин, восстановлению верховых откосов и банкетов плотин. Разработаны сборные железобетонные конструкции для защиты реконструируемых откосов плотин и банкетов от волновых и ледовых воздействий. Рассмотренные новые конструктивные решения существенно упрощают подводные работы при реконструкции гидротехнических сооружений.*

*Волновые и ледовые воздействия, ремонт креплений гидротехнических сооружений, ремонт гребня плотин.*

**Введение.** В 20-м веке число возво-  
димых плотин стремительно увеличива-  
лось (особенно на протяжении семидесятых  
и восьмидесятых годов). К концу 20-го века  
количество плотин составило более 45 тысяч  
в более чем 140 странах. На сегодняшний  
день средний возраст крупной плотины со-  
ставляет более 40 лет [1].

Не случайно, что в настоящий момент  
и в России и за рубежом деятельность гидро-  
техников сосредоточилась на обеспечении  
безопасности уже существующих гидротех-  
нических сооружений, а именно на их ре-  
конструкции и модернизации.

Неизбежность проведения ремонтных  
мероприятий на эксплуатируемых гидросо-

оружениях, чей возраст превышает 25 лет, подтверждается исследованиями, проведенными компанией OntarioHydro. Так, анализ увеличения эксплуатационных расходов для нескольких сотен северо-американских плотин показывает, что данные расходы существенно увеличиваются после 25-35 лет эксплуатации сооружения в связи с повышением необходимости в его ремонте [1]. В связи с этим становится актуальным выявление общих ключевых проблем, возникающих после многолетней эксплуатации гидротехнического сооружения, и формирование комплексного подхода при проведении ремонтных мероприятий.

Комплексная реконструкция гидротехнического сооружения – сложная задача, поскольку требует организации ремонта подводных конструкций, а также проводится в стесненных условиях уже существующего эксплуатирующегося сооружения.

Следует отметить, что длительный период эксплуатации гидротехнического сооружения не означает, что «старая» плотина менее надежна по сравнению с недавно построенной. По данным [1], большая часть аварий происходит на недавно построенных плотинах. Так, около 70% разрушений происходит в течение 10 лет после постройки и наиболее часто – в течение первого года эксплуатации.

Ниже приводятся сведения о датах ввода в эксплуатацию гидроузлов, эксплуатируемых в настоящий момент в Казахстане (табл. 1).

Из 223 казахстанских гидроузлов строительство двух еще не завершено, для десяти нет информации о дате ввода в эксплуатацию.

Как видно из таблицы 1, число казахстанских плотин, эксплуатирующихся более

35 лет (построенных до 1980 года), составляет более 65%.

Таблица 1

**Возраст гидроузлов, эксплуатирующихся в Казахстане**

Даты ввода в эксплуатацию	Число гидроузлов, %
1910-1940	6.6
1941-1950	3.3
1951-1960	11.3
1961-1970	20.1
1971-1980	24.4
1981-1990	30.5
1991 – по настоящее время	3.8

В 2016 году Правительством Республики Казахстан инициирована вторая фаза проекта по усовершенствованию ирригационных и дренажных систем, включающая компонент «безопасность плотин». Мероприятия, разрабатываемые в рамках данного проекта, должны способствовать развитию территорий четырех областей, расположенных в южной части Республики Казахстан.

Проектные работы осуществляет Австралийская компания SMEC. Общий срок реализации проекта составляет 7 лет, в течение которого будут проведены изыскания, подготовлена рабочая документация и осуществлен надзор за строительными работами как на оросительных системах, так и на плотинах.

Все исследуемые плотины служат для решения проблем в развитии орошаемого земледелия (технические характеристики плотин представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Основные характеристики плотин Бугунь и Каражантак (обе плотины образуют Бугуньское водохранилище), Тасоткель и Бартогай**

Плотина	Объем водохранилища при НПУ, млн м <sup>3</sup>	Дата ввода в эксплуатацию	Конструкция плотины	Максимальная высота плотины, м	Длина плотины, м	Класс сооружений	
						По проекту (СНиП)	Международный стандарт (ICOLD)
Бугунь, Каражантак	370	1960	Суглинистая однородная	21.5 10.5	5300 3200	II II	III-IV
Тасоткель	620 (420)*	1974	Суглинистая однородная	28.0	5850	II	IV
Бартогай	320	1984	Каменно-набросная с центральным суглинистым ядром	60.0	325	II	IV

\*Примечание: наполнение Тасоткельского водохранилища до проектных отметок не допускается и ограничено объемом 420 млн м<sup>3</sup>.

**Методы исследований.** Инспектируемые плотины, описанные в таблице 2, эксплуатируются от 33 до 57 лет. За это время на данных плотинах капитальные ремонтные работы не проводились, за исключением плотин Бугунь и Каражантак. Капитальные работы по ремонту верховых откосов, тела плотин и трубчатого дренажа плотин Бугунь и Каражантак были вынужденными и выполнялись после неоднократно возникших аварий.

Для разработки ремонтных мероприятий компанией SMEC в 2016-2017 годах проводились:

- визуальные наблюдения за состоянием конструкций гидротехнических сооружений;
- оценка фильтрационной прочности по данным пьезометрических наблюдений;
- топографические изыскания;
- оценка сейсмической опасности на участках расположения плотин;
- комплекс специальных исследований по определению физико-механических свойств грунтов тела и основания плотин, включая оценку их разжижения при землетрясениях.

**Результаты исследований.** Ниже приводятся конструктивные предложения по ремонту и восстановлению проектных отметок гребней плотин и реконструкции верховых откосов грунтовых и каменно-набросных плотин.

#### *Геометрия гребня плотин.*

По данным [1], наиболее частой причиной разрушения грунтовых и каменно-набросных плотин является перелив воды че-

рез гребень (31% – главная причина, 18% – дополнительная причина).

На всех исследуемых плотинах топографическими изысканиями зафиксировано существенное отличие фактической отметки гребня от проектной. Эти отклонения настолько значительны, что вызывают сомнения (особенно для невысоких плотин) в корректности топографических данных, но, например, для плотины Бугунь подтверждаются сопоставлением данных топографических изысканий за 2017 и 2011 годы.

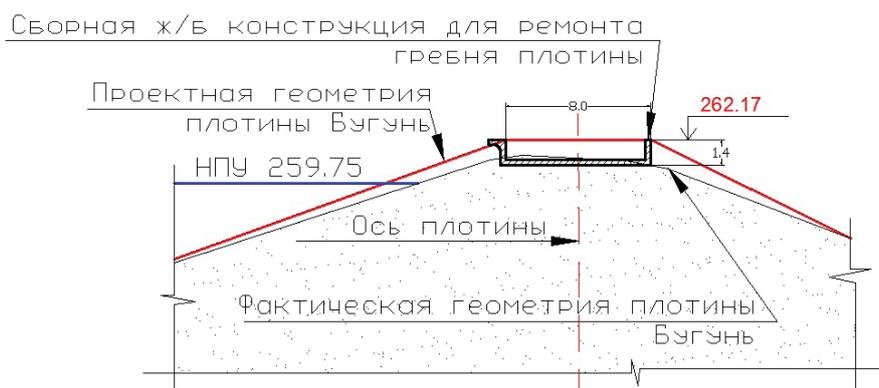
На отдельных участках отклонения фактической отметки гребня от проектной (по оси плотин) достигают:

- на плотине Бугунь 105 см;
- на плотине Каражантак 47 см;
- на плотине Тасоткель 99 см;
- на плотине Бартогай 96 см.

Причину столь значительных деформаций в настоящий момент установить не удалось из-за отсутствия глубинных реперов и какого-либо геодезического мониторинга.

Для реконструкции гребневой части плотин необходимо выполнить его наращивание. Осуществить подобные проектные мероприятия без создания подпорной стенки на низовой грани затруднительно.

Ниже предлагается альтернативное конструктивное решение в виде сборных железобетонных конструкций (лотков), которые могут устанавливаться на гребне плотин и предназначаться для укладки грунтового материала непосредственно в лоток (рис. 1).



**Рис. 1. Реконструкция гребня плотины Бугунь с использованием сборных железобетонных лотков**

Уплотнение грунта внутри этого лотка может производиться трамбовками, а вдоль железобетонных стенок – ручными катками.

Для обеспечения устойчивого размещения такой конструкции на гребне плотины

потребуется выполнить разработку существующей насыпи гребня для создания горизонтальной поверхности. После наращивания плотины до проектной отметки возможно дальнейшее обустройство греб-

ня: организация твердого покрытия дороги, установка железобетонных ограждений, ливнесборных лотков и т.д.

При необходимости восстановления противоволновой конструкции или организации новой, часть лотка, обращенная к верхнему бьефу, может быть выполнена в виде парапета.

*Состояние верхних откосов, защищенных железобетонными плитами.*

В настоящий момент из всех инспектируемых плотин в наихудшем состоянии находятся плиты верхнего откоса плотины Бугунь. Главными причинами неудовлетворительного состояния верхнего откоса являются сложная ветровая обстановка на водохранилище (скорость ветра 2% обеспеченности составляет 30.65 м/с) и неправильный расчет толщины облицовки.

Сохранилось описание шторма на Бугунском водохранилище, который происходил в течение трех дней в апреле 1979 года и привел к аварийной ситуации на плотинах Бугунь и Каражантак. Так, при скорости ветра до 30 м/с, высота волны достигала

3.0 м, а накат волны превышал верх парапета на 1.5...2.0 м. В результате сильного волнения верхние плиты на многих участках растрескались и разбились о нижние, целые плиты были оторваны и отброшены вниз по откосу.

В 1980 году был выполнен ремонт верхнего откоса плотин Бугунь и Каражантак. На существующие сборные железобетонные плиты толщиной 12 см были уложены новые толщиной 15 см и устроены железобетонные шпонки, а там, где существующее крепление было разрушено полностью, уложен монолитный железобетон.

В 1988 году для плотины Каражантак повторился случай аварийной ситуации 1979 года. После этого по верхнему откосу Каражантакской плотины была уложена каменная наброска толщиной 1.8 м.

Несмотря на капитальные ремонты верхнего откоса, проводившиеся в 1980 и 1988 годах, по данным визуальных обследований, проведенных в 2017 году, на плотине Бугунь обнаружены разрушения деформационных швов, трещины в плитах, оголенные арматуры, пустоты под плитами (рис. 2).

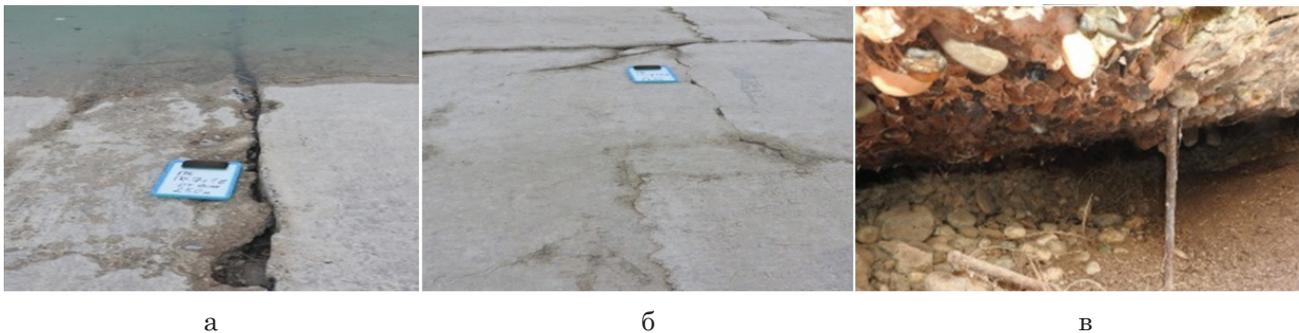


Рис. 2. Состояние бетонных плит верхних откосов:

а) разрушение деформационного шва; б) трещины в плитах; в) пустоты под плитами

*Состояние верхних откосов, защищенных каменной наброской.*

Крепление верхнего откоса каменно-набросной плотины Бартогай выполнено из камня диаметром более 500 мм.

При отметке гребня плотины Бартогай 1070.5 м заложение верхнего откоса составляет 1:4 (выше отметки 1056.0 м); 1:3 – ниже отметки 1056.0 м; 1:2.5 (ниже отметки 1043.0 м). Кроме того, со стороны верхнего бьефа на отметке 1043.0 м устроена эксплуатационная берма шириной 8.0 м.

В районе Бартогайского водохранилища наблюдаются сильные ветра (максимальный ветер может достигать 20...25 м/с), а также, по свидетельствам службы эксплу-

атации, растаскивание каменной наброски ледовыми полями (рис. 3).

*Технические решения при реконструкции верхних откосов и банкетов плотин.*

В 2015-2016 годах для восстановления бетонного крепления верхних откосов плотин Нижегородской ГЭС институт Гидропроект предложил использование кессона – специальной металлической конструкции, под защитой которой предусматривалось проведение восстановительных работ ниже НПУ. Использование кессона может быть оправдано только в зоне переменного уровня или для невысоких откосов при малой глубине воды в водохранилище.

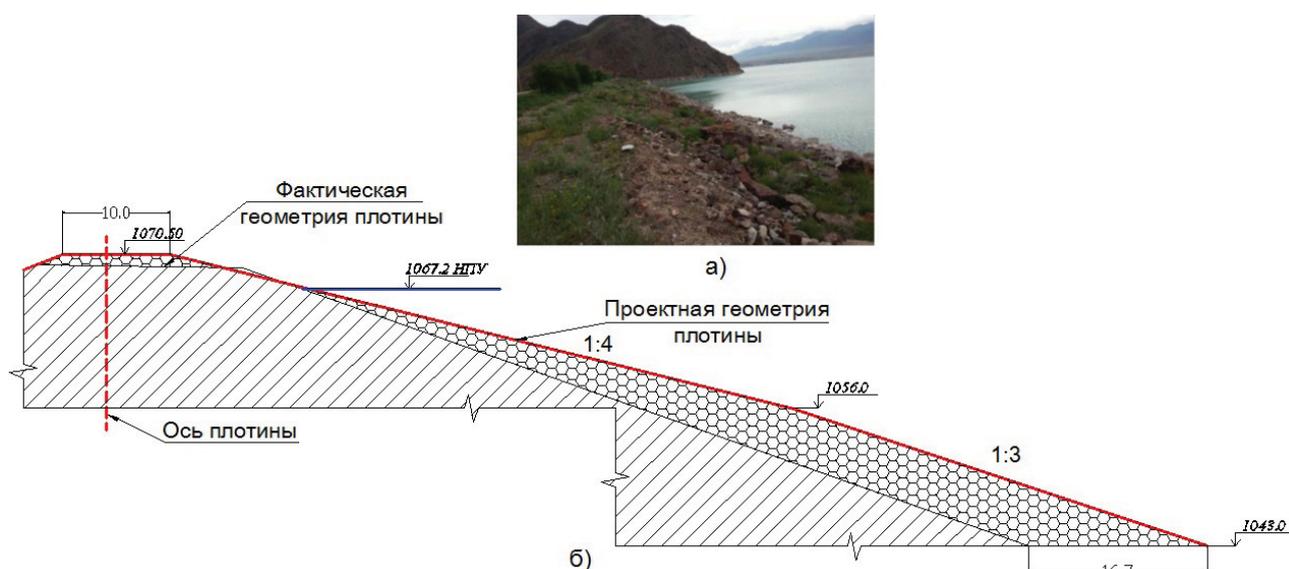


Рис. 3. Верховой откос плотины Бартогай:  
 а) состояние откоса в левобережной части плотины;  
 б) поперечное сечение в левобережной части плотины

Ниже предлагаются альтернативные конструктивные решения, которые можно использовать как для восстановления откосов покрытых бетонной облицовкой (при условии отсутствия пустот под плитами) или каменно-набросных креплений.

В частности, предлагается сборная или сборно-монолитная конструкция плиты (замоноличенная в месте выхода на гребень), которая должна заанкериваться в гребень и «облегать» откос.

Такой плитой можно перекрыть существующие поперечные деформационные швы. Подобная конструкция уже рассматривалась в [2]. В настоящей статье конструкция плиты усовершенствована. В частности, для повышения шероховатости на верховом откосе и, как следствие, для уменьшения высоты волны, для борьбы с ледовыми воздействиями (при колебаниях уровня воды), а также для выпуска дренажных вод (что может быть необходимо для банкетов) рекомендуется устройство отверстий-прорезей в плите.

Размеры такой сборной плиты в первом приближении обоснованы следующим образом. Волжские грунтовые плотины, верховые откосы которых защищены монолитными железобетонными плитами с минимальными габаритными размерами  $10 \times 10 \times 0.3$  м (в зоне переменного уровня и ниже) успешно эксплуатируются в суровых условиях воздействия ледовых полей. Поэтому вес предлагаемой сборной плиты должен быть не меньше, а габариты подобраны из выше указанных соображений ми-

нимального веса успешно зарекомендовавшей себя конструкции.

На рисунке 4а показана такая плита, лежащая на невысоком откосе, с максимальными размерами в плане  $15 \times 5$  метров (если не принимать во внимание часть плиты, выходящей на гребень). Размеры прорезей приняты равными  $0.3 \times 0.3$  метра и расположены в шахматном порядке.

Предложенная конструкция плиты ограничена размерами сборной конструкции и поэтому может быть рекомендована только для невысоких откосов (верховых откосов, банкетов плотин или как берегоукрепительная конструкция). В последующем для более точного обоснования размеров предложенной плиты и анализа воздействия ледовых полей на подобные конструкции при колебаниях уровня воды планируется разработка конечно-элементной модели. Ожидается, что наличие «Г-образной» части, заанкериваемой в гребень, позволит существенно увеличить устойчивость плиты на ледовые воздействия и тем самым уменьшить ее ширину.

При необходимости защиты более высоких или высоких откосов предлагается иная конструктивная схема. На защищаемый откос должны укладываться сборные железобетонные «зигзагообразные» плиты. Крепление одной плиты с другой должно осуществляться посредством элементарного «замка»: «зигзаг» одной должен входить в «зигзаг» другой, как показано на рисунке 4б. Для обеспечения большей надежности крепления плит друг с другом в конструкци-

ях предусмотрены отверстия (три отверстия на конструкцию) диаметром 10 см, в которые должен вставляться железобетонный цилиндрический стержень. В последующем ячейки плит можно заполнить каменной наброской укладываемой пионерным способом.

Выполнить укладку «зигзагообразных» плит под водой можно только при помощи водолазов, но их участие будет сведено к минимуму: наведение на место укладки сборной плиты и установка железобетонного стержня в отверстие.

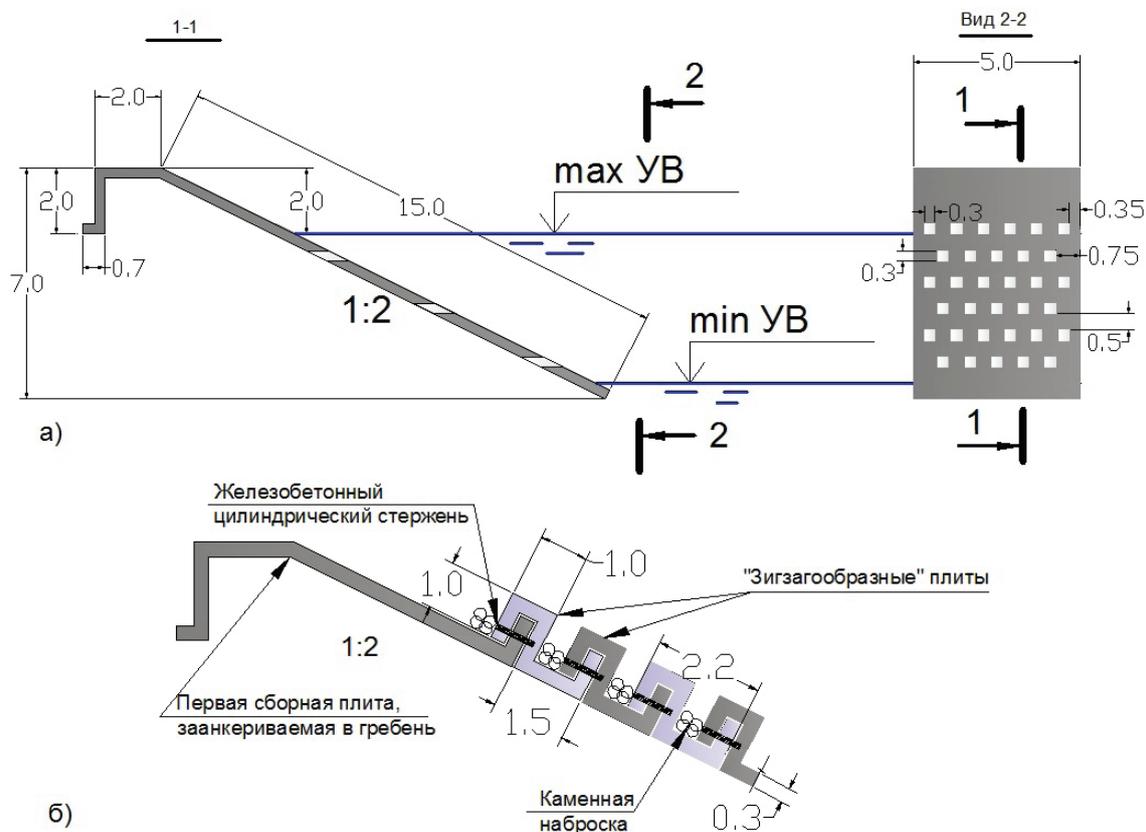


Рис. 4. Конструкция сборной железобетонной плиты для защиты откосов грунтовых и каменно-набросных сооружений от волновых и ледовых воздействий (размеры в метрах):  
 а) плита для защиты невысокого откоса или банкета;  
 б) плита для защиты высокого откоса

### Выводы

Разработаны конструктивные решения, которые могут быть полезными при реконструкции плотин:

- сборный железобетонный лоток, предназначенный для наращивания гребня плотин;

- «Г-образные» и «зигзагообразные» сборные железобетонные плиты, предназначенные для ремонта бетонных и каменно-набросных откосов гидротехнических сооружений или для защиты берегов от волновых и ледовых воздействий.

### Библиографический список

1. Отчет Всемирной комиссии по плотинам. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. – 200 с.

2. Крутов Д.А. Состояние и ремонт конструкций гидротехнических сооружений, подвергающихся волновым и ледовым воздействиям. // Гидротехника. – 2017. – № 4. – С. 74-77.

Материал поступил в редакцию 25.12.2017

### Сведения об авторах

**Козлов Дмитрий Вячеславович**, доктор технических наук, профессор кафедры гидравлики и гидротехнического строительства ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; тел.: (495)2874914; e-mail: kozlovdv@mail.ru.

**Крутов Денис Анатольевич**, кандидат технических наук, эксперт по безопасности плотин, компания «SMЕС» (Австралия), e-mail: dkrutov@rambler.ru

**D.V. KOZLOV**

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «National Research Moscow State University of Civil Engineering», Moscow, Russian Federation

**D.A. KRUTOV**

Company «SMEC» (Australia)

## **COMPLEX TECHNICAL SOLUTIONS FOR DAMS RECONSTRUCTION**

*A significant increase in the number of dams in the last 100 years, increase in their middle age requires identifying general problems that occur after many operating years of a hydraulic structure and formation of the integrated approach when carrying out repair measures. The difficulty of repair works on dams depends on constrained conditions of the existing operating structure. The article provides the information on modern complex works on reconstruction of existing hydraulic structures. On the inspected dams there are found deviations of the cross section geometry from the design profile as well as the unsatisfactory condition of blankets and facing of earth and rock fill dams. There are proposed special measures for reconstruction of dam crests, restoration of upstream slopes and banquettes of dams. Reinforced concrete precast structures were designed to protect reconstructed slopes of dams and banquettes from wave and ice impacts. New design solutions significantly simplify underwater work when reconstructing hydraulic structures.*

*Wave and ice impacts, repair of blankets of hydraulic structures, repair of dams crest.*

### **References**

1. Otchet komissii po plotinam. – M.: Vsemirnyj fond dikoj prirody (WWF), 2009. – 200 s.
2. **Krutov D.A.** Sostoyanie i remont konstruksij gidrotehnicheskikh sooruzhenij, podvergayushchihsvya volnovym I ledovym vozdeystviyam. // Gidrotehnika. – 2017. – № 4. – S. 74-77.

The material was received at the editorial office  
25.12.2017

### **Information about the authors**

**Kozlov Dmitrij Vyacheslavovich**, doctor of technical sciences, professor of the chair of hydraulics and hydraulic engineering construction, FSBEI HE «NIU MGSU»; 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26; tel. +7(495)2874914; e-mail: kozlovdv@mail.ru.

**Krutov Denis Anatolievich**, candidate of technical sciences, dam safety expert, SMEC (Australia). ECCL Singapore Pte Ltd 16 Raffles Quay #33-03 Hong Leong Building Singapore, 048581, e-mail: singapore@smec.com, www.smec.com, tel.: +7(916)7958600, e-mail: dkrutov@rambler.ru