

Оригинальная статья

УДК 502/504: 627.8

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-95-103

## ПОДБОР НАИБОЛЕЕ БЛАГОПРИЯТНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПОВЕРХНОСТНОГО ВОДОСБРОСА ПО УСЛОВИЯМ РАЗМЫВА ГРУНТА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ НА ПРИМЕРЕ БОГУЧАНСКОЙ ГЭС

**ЕЛИСТРАТОВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ**<sup>✉</sup>, старший преподаватель  
aleksandr84@inbox.ru

**ГУРЬЕВ АЛИМ ПЕТРОВИЧ**, д-р техн. наук, профессор  
alim\_guryev@mail.ru

**ХАНОВ НАРТМИР ВЛАДИМИРОВИЧ**, д-р техн. наук, профессор  
nvkhanov@yahoo.com

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, 127434, г. Москва, Тимирязевская, 49. Россия

Рассмотрена работа варианта водосброса № 2 Богучанской ГЭС с гладкой сливной гранью с носком-трамплином для отброса струи в нижний бьеф. Недостатком компоновки Богучанского гидроузла с водосбросом № 2 является его близкое примыкание к зданию ГЭС и отсутствие между ними разделительной стенки, препятствующей влиянию его работы на работу ГЭС. Одним из вариантов уменьшения этого влияния служит удаление левой границы сбросного потока от акватории ГЭС. Для реализации этой задачи рассмотрен вариант с плановым отклонением струи первого пролета водосброса № 2 вправо, в сторону водосброса № 1. Для этого концевой участок левой стенки водосброса № 2 в плане выполнен криволинейным, а носок-трамплин – ступенчатым, что позволило более эффективно управлять плановой траекторией струи первого пролета. В зоне максимального подъема струи 1-го пролета его отклонение от прямолинейной траектории равнялось его ширине. Одновременно было изучено влияние очередности открытия затворов на глубину размыва грунта в нижнем бьефе, для чего проведено два цикла размыва: при открытии затворов с первого по пятый и в обратной последовательности. Спецификой конструкции поверхностного водосброса № 2 является его размещение на концевом участке основания с крупными блоками трещиноватой породы, выходящими на поверхность с пологим углом падения в сторону верхнего бьефа. За участком с крупнообломочными блоками находится массив со средне- и мелкообломочными блоками, покрытый в русловой части отложениями диаметром 0,3 м и менее. Моделирование грунта основания выполнялось щебенистым материалом, крупность которого подбиралась по моделированию размывающей скорости натурного материала

**Ключевые слова:** затворы, водосброс, носок-трамплин, отклонитель струи, отброс струи, яма размыва

**Формат цитирования:** Елистратов А.С., Гурьев А.П., Ханов Н.В. Подбор наиболее благоприятного режима работы поверхностного водосброса по условиям размыва грунта в нижнем бьефе на примере Богучанской ГЭС // Природообустройство. – 2021. – № 3. – С. 95-103. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-1-95-103.

© Елистратов А.С., Гурьев А.П., Ханов Н.В., 2021

Original article

## SELECTION OF THE MOST FAVORABLE MODE OF OPERATION OF THE SURFACE SPILLWAY ACCORDING TO THE CONDITIONS OF SOIL EROSION IN THE LOWER POND BY THE EXAMPLE OF THE BOGUCHANSKAYA HYDROELECTRIC POWER PLANT (GES)

**ALEXANDER SERGEEVICH ELISTRATOV**<sup>✉</sup>, senior Lecturer  
aleksandr84@inbox.ru

**GURYEV ALIM PETROVICH**, doctor of Technical Sciences, Professor

alim\_guryev@mail.ru

**KHANOV NARTMIR VLADIMIROVICH**, doctor of Technical Sciences, Professor

nvkhanov@yahoo.com

Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

*The work of the spillway variant No. 2 of the Boguchanskaya HPP (GES) with a smooth drain face with a jump-bucket for jet discharge into the lower pond is considered. The disadvantage of the Boguchansky dam layout with a spillway No. 2 is its close adjoining to the HPP building and the absence of the separation wall between them preventing from the influence of its operation on the work of HPP. One of the ways to reduce this influence is to remove the left border of the discharge flow from the HPP water area. To implement this task there is considered a variant with a planned deviation of the jet of the first span of spillway No. 2 to the right, in the direction of spillway No. 1. For this purpose, the end section of the left wall of spillway No. 2 in the plan is made as curved, and the jump-bucket is stepped, which could make it possible to more effectively control the planned trajectory of the jet of the first span. In the zone of the maximum rise of the jet of the 1st span its deviation from the rectilinear trajectory was equal to its width. At the same time, there was studied the effect of priority gate opening to the soil erosion depth downstream, for which there were conducted two cycles of erosion: at opening the gates from the first to the fifth and in the reverse order. The specific design of the surface spillway No. 2 is its placement on the end section of the base with large blocks of fractured rock coming to the surface with a gentle falling angle towards the upstream. Behind the site with large-block blocks there is an array with medium – and small-block blocks, covered in the channel part with sediments with a diameter of 0.3 m or less. Modeling of the foundation soil was performed with crushed stone material, the size of which was selected by modeling the erosion rate of the natural material.*

**Keywords:** gates, spillway, ski jump bucket, jet deflector, jet throwing, erosion pit

**Format of citation:** Elistratov A.S., Guryev A.P., Khanov N.V. Selection of the most favourable mode of operation of the surface spillway according to the conditions of soil erosion in the lower pond by the example of the Boguchanskaya // Prirodooobustroystvo. – 2021. – № 3. – S. 95-103. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-2-95-103.

**Введение.** Изучение работы водосброса с гладкой сливной гранью с носком-трамплином для отброса струи и с плановым отклонением струи в крайнем пролете выполнено на модели водосброса № 2 Богучанской ГЭС, которая расположена на реке Ангара. Диапазон температуры воздуха, при которой осуществляется работа гидроузла, находится в пределах от +30 до –52°C. Эксперименты были выполнены для режима пропуска строительных расходов гидроузла. Основание гидроузла представлено трещиноватой скалой. Трещины дробят основание на отдельные блоки размерами от 0,3×0,3 до 5×5 м на поверхности 1×1 м до 20×20×10 м в основании.

Для эксперимента был использован поверхностный водослив безвакуумного профиля с горизонтальной вставкой на гребне на отметке 179,0 м с гладкой сливной гранью с носком-трамплином для отброса струи на концевом участке.

Особенностью конструкции поверхностного водосброса является его размещение на оконечном участке основания

с крупнообломочными блоками трещиноватой скалы, выходящем на поверхность с небольшим углом падения в сторону верхнего бьефа. За участком с крупнообломочными блоками располагался массив со средне- и мелкообломочными блоками, покрытыми в русловой части отложениями диаметром 0,3 м и менее.

**Материалы и методы.** Для изучения размыва в нижнем бьефе, представленном трещиноватой скалой, необходимо точно смоделировать зерновой состав основания. С этой целью для моделирования грунта основания в экспериментах использовался щебень трех фракций с диаметром 2...5 мм, 5...20 и 20...40 мм, который по размывающей способности соответствовал основным породам основания при выполнении модели в масштабе 1:60, принятой в исследованиях. Принятие модельного грунта в виде щебня удовлетворяло условия моделирования свойств сцепления отдельностей основания природы за счет угловатой структуры щебня и частичного их зацепления [1].

Строительство Богучанской ГЭС было начато в 1980 г. С 1992 по 2005 гг.

строительство было заморожено по причине недостаточного финансирования. В 2003 г. был принят новый СНиП 30.01-2003 взамен СНиП 2.06.01-86, который требовал кардинальных изменений компоновки сооружений. Изменились и условия пропуска расчетного и поверочного расхода. С 2005 г. строительство было возобновлено с учетом новых норм, согласно которым первое водосбросное сооружение из 10 глубинных (донных) отверстий не могло пропустить нужный объем воды [2-4]. Размещение дополнительного водосброса удалось осуществить за счет удаления трех агрегатов ГЭС и размещения на их месте поверхностного водосброса № 2 практического профиля с прямолинейной вставкой длиной 1,69 м на гребне.

Несмотря на приостановление строительства, донный водосброс продолжал функционировать, в связи с чем рельеф дна русла, расположенного за ним в нижнем бьефе, претерпел существенные изменения [1].

В бытовых условиях при прохождении паводков ширина русел в створе гидроузла достигала 2000 м, а суммарная ширина водосливных глубинных донных отверстий составляла всего 100 м, в результате чего удельные расходы за водосбросом были увеличены в 20 раз. Естественно предположить, что в таких гидравлических условиях размывы дна русла достигли существенных величин за 20 лет эксплуатации донного водосброса. Ввиду непрерывной эксплуатации донного

водосброса натурные измерения деформации русла не представлялись возможными.

**Результаты и обсуждение.** Для обеспечения точного воспроизведения в лабораторных условиях гидравлических режимов при работе водосброса № 2 необходимо было точно смоделировать рельеф дна в нижнем бьефе гидроузла [1]. Для этого поверхность нижнего бьефа была смоделирована в соответствии с проектным вариантом, по которому поверхность по всей ширине основания была выровнена в виде горизонтальной плоскости. Для приближения поверхности русла к реальному состоянию перед началом работы водосброса № 2 была осуществлена работа водосброса № 1 до полной стабилизации размыва основания.

Работа водосбросных сооружений гидроузла выполнялась в режиме моделирования пропуска паводка с расходом  $13500 \text{ м}^3/\text{с}$  обеспеченностью  $0,2\%$  [4]. Гидрограф паводка обеспеченностью  $p = 0,2\%$  для пропуска на модели был аппроксимирован ступенчатой линией. Расчетный и аппроксимированный гидрографы представлены на рисунке 1, для пропуска которого был принят порядок последовательного открытия затворов от 5-го к 1-му пролету.

Исследуемый вариант имел 5 пролетов шириной в свету по  $10,0 \text{ м}$ . На горизонтальном водобойном участке разделительные стенки пролетов имели высоту  $3,0 \text{ м}$  и ширину через один по  $2,0$  и  $3,0 \text{ м}$ .

На рисунке 2 показан план водосброса № 2 Богучанской ГЭС.

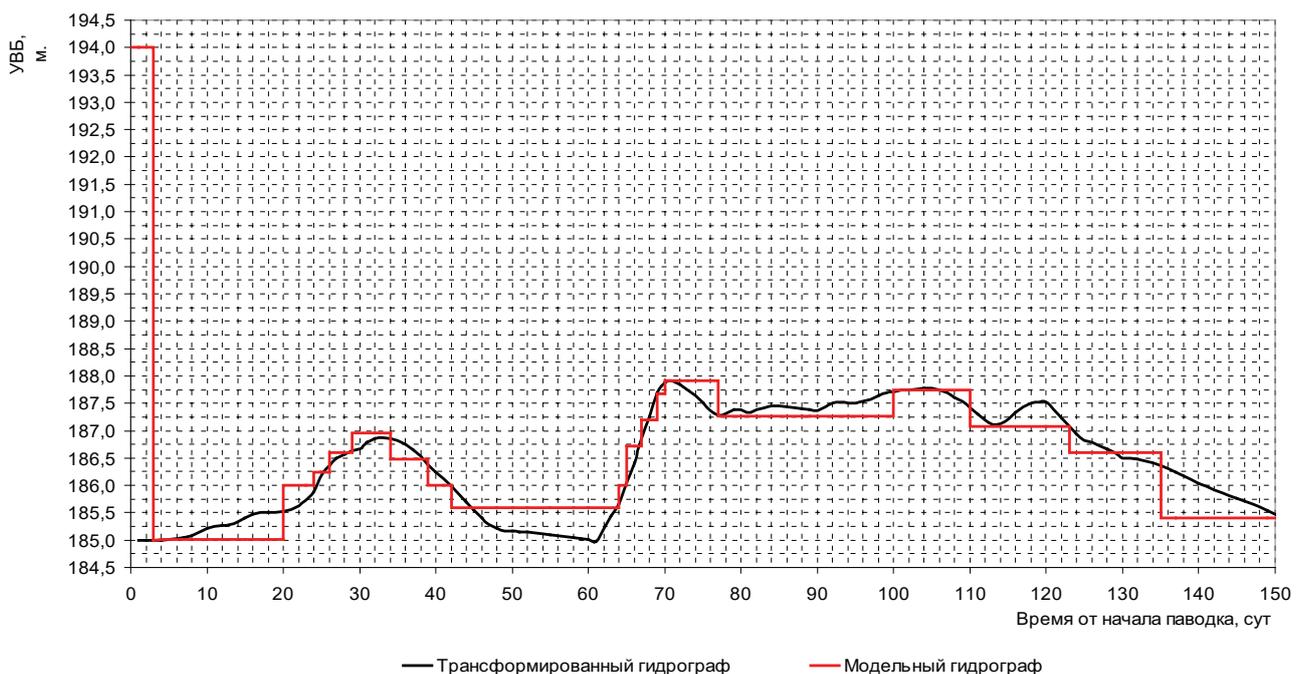


Рис. 1. Расчетный и аппроксимированный гидрографы паводка с  $Q_p = 0,2\% = 13500 \text{ куб. м/с}$

Fig. 1. Calculated and approximated flood hydrographers with  $Q_p = 0.2\% = 13,500 \text{ cub. m/s}$

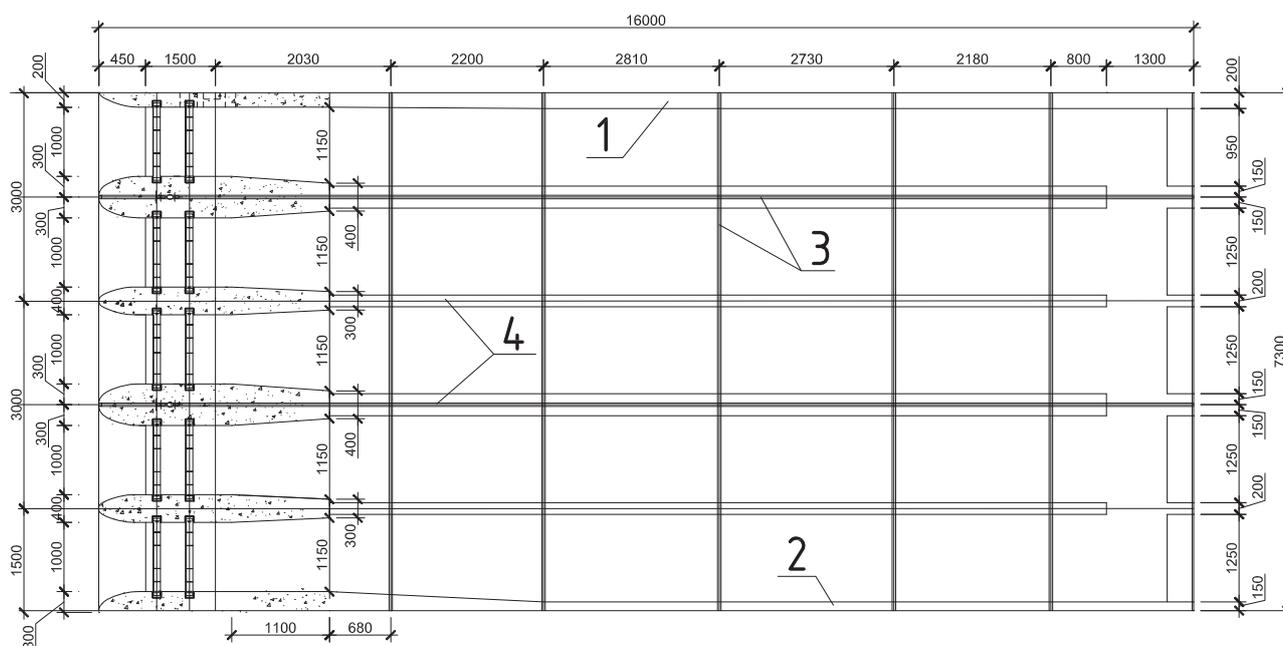


Рис. 2. План проектного варианта водосброса № 2:

1 – левобережная сопрягающая стенка; 2 – правобережная сопрягающая стенка;  
3 – деформационные швы; 4 – разделительные стенки между пролетами

Fig. 2. Plan of the design version of the spillway No.2:

1 – left-bank connecting wall; 2 – right-bank connecting wall;  
3 – deformation seams; 4 – dividing walls between spans

Носок-трамплин представлен в виде разбитого на пять отдельных частей трамплина в соответствии с шириной пролета на водобое в плане. Разделительные стенки не доходили до носков-трамплинов. Эта конструкция позволяет избежать перемешивания потоков и распределить сбрасываемый объем на максимальную площадь.

Недостатком принятой конструкции водосброса № 2 было его близкое расположение к зданию ГЭС, от которого он был отделен разделительной стенкой толщиной всего 2,0 м. При такой компоновке сооружений гидроузла неизбежно отрицательное влияние водосброса № 2 на работу гидроагрегатов ГЭС, что и показали исследования работы этого водосброса [5, 7-9].

Для снижения отрицательного влияния работы водосброса № 2 на работу агрегатов ГЭС была изучена работа варианта водосброса № 2 со стенкой, отклоняющей в плане струю пролета № 1 в сторону центра водосброса № 2. Конструкция отклонителя струи 1-го пролета показана на снимке модели (рис. 3).

Для получения большего эффекта отклонитель струи выполнен ступенчатым по высоте [10].

На рисунке 4 показана работа отклонителя струи.



Рис. 3. Ступенчатый отклонитель струи пролета № 1

Fig. 3. Jet step deflector of the span No.1



Рис. 4. Работа отклонителя струи  
Fig. 4. Photo of the jet deflector operation

Основная задача данного отклонителя заключается в том, чтобы направить поток пролета № 1 и тем самым обеспечить более эффективную работу турбинных камер агрегатов 7, 8, 9 в сторону от потока здания ГЭС и не создавать сопротивления турбинным потокам. Как следует из рисунка 2, отклонитель выполнен в виде трех ступеней высотой относительно друг друга  $\Delta h = 1,5$  м. Как указано в работе [10], эффективность отклонения струи от первоначального направления тем выше, чем больше угол поворота отклонителя и чем больше отношение радиуса поворота  $R$  к толщине струи, в данном случае – к ее ширине в плане. Выполнив отклонитель ступенчатым, мы тем самым разделяем струю на три более узкие,

что автоматически повышает эффективность поворота.

Как следует из рисунка 4, принятой конструкцией отклонителя в стесненном геометрическом пространстве удалось удалить левую границу сбрасываемого с водосброса № 2 потока, отдалить от границы разделительной стенки на величину ширины пролёта № 1. Но это неизбежно увеличивает удельные расходы смешанного потока пролетов № 1 и № 2. Следствием увеличения удельных расходов становится увеличение глубины местного размыва в зоне падения объединенной струи.

В таблице приведена подборка наиболее часто используемых в литературе по гидравлике формул для расчета местных размывов в полускальных грунтах.

Таблица

Формулы, используемые по расчёту размыва основания в полускальных грунтах

Table

## Formulas used for calculation of the base erosion in semi-rocky soils

№ п/п <i>It-s №</i>	Автор <i>Author</i>	Расчётная формула <i>Calculated formula</i>
1	Damle	$t + h_2 = 0,652q^{0,5}z_2^{0,5}$
2	Chain	$t + h_2 = 1,18q^{0,51}z_2^{0,235}$
3	Мартинс-1	$t + h_2 = 1,5q^{0,6}z_2^{0,1}$
4	Incyth	$t + h_2 = 1,413q^{0,5}z_2^{0,25}$
5	Sofreles	$t + h_2 = 2,3q^{0,6}z_2^{0,1}$
6	Taraimovich	$t + h_2 = 0,633q^{0,67}z_2^{0,25}$
7	Veronese	$t + h_2 = 1,9q^{0,554}z_2^{0,225}$
8	Fanlbusch	$t + h_2 = 1,86q^{0,5}z_2^{0,25}$
9	Machado-1	$t + h_2 = 1,35q^{0,6}z_2^{0,1}$
10	Machado-2	$t + h_2 = 2,98K_a^{0,5}q^{0,5}z_2^{0,25}$
11	Machado-3	$t + h_2 = 1,35 \frac{K_a^{0,5}q^{0,5}z_2^{0,3249}}{d_{90}^{0,0645}}$ <b><math>K_a</math> – коэфф. аэрации</b> <i><math>K_a</math> – coeff. of aeration</i>
12	Kotoulas	$t + h_2 = 0,78 \frac{q^{0,7}z_2^{0,35}}{d_{90}^{0,4}}$
13	Tachopp Bisaz	$t + h_2 = 2,756K_a^{0,5}q^{0,5}z_2^{0,25} - 7,125d_{90}$
14	Mason-1	$t + h_2 = 3,27 \frac{q^{0,6}z_2^{0,15}H^{0,05}}{g^{0,3}d_{50}^{0,1}}$
15	Mason-2	$t + h_2 = 3,39 \frac{q^{0,6}z_2^{0,16}(1 + \beta)^{0,3}}{g^{0,3}d_{50}^{0,06}}; \beta = 0,13 \sqrt{\frac{L_1}{t_0}}$
16	Студеничников <i>Studenichnikov</i>	$t + h_2 = 0,164 \cdot \kappa_{\text{кон}} \cdot (7,56 + \frac{z}{h_{\text{кр}}} \phi^2 \kappa_a) \frac{q^{0,8}}{d^{0,2}}$
17	Соловьёва <i>Solovjeva</i>	$h_p = (0,1 + 0,45 \cdot \sqrt[4]{Fr_r}) \cdot \sqrt{Fr_r} \cdot \sqrt[4]{h_2 / d} \cdot h_r$
18	Амиров Л.А. <i>Amirov L.A.</i>	$h_3 = 4 \cdot (d_{0,90} + 0,2)^{-0,3} \cdot q^{0,567} \left( \frac{z}{g} \right)^{0,15}$

Как следует из приведенных формул, по данным различных авторов, глубина местных размывов пропорциональна удельному расходу в степени от 0,5 до 0,8. Следовательно, при увеличении удельного расхода в 2 раза местная воронка размыва может увеличиться в 1,4...1,8 раза в зависимости от того, какой формулой воспользуемся для расчетов.

Однако в данном случае опасна не сама величина размыва, а граница воронки – то, как близко она подойдет к сооружению. Естественно, что при отклонении струи пролета № 1 в сторону от здания ГЭС, улучшается гидравлика за ее турбинными блоками.

Было экспериментально изучено два варианта пропусков расходов:

1. Эксперименты по определению размывов при гашении энергии отбросом струи при последовательном открытии затворов от первого пролета к пятому.

2. Эксперименты по определению размывов при гашении энергии отбросом струи при последовательном открытии затворов от пятого пролета к первому.

Нумерация пролетов принята от здания ГЭС.

Рассмотрим каждый из вариантов экспериментов:

1. Эксперименты по определению размывов при гашении энергии отбросом струи при последовательном открытии затворов от первого пролета к пятому

Пропуск расходов осуществляется от первого пролета и далее по направлению к водосбросу № 1. Открытие первого пролета с установленным в нем ступенчатым отклонителем позволило изменить траекторию потока со смещением в сторону водосброса № 1. Дальнейшее открытие второго пролета приведет к незначительному изменению траектории в плане струи первого пролета. Открытие третьего и последующих пролетов водосброса № 2 практически не изменило координаты левой границы сбрасываемого потока, а в третьем пролёте не меняет свою траекторию. Однако открытие третьего, четвертого и пятого пролетов сместило зону вхождения потока в воронку размыва влево от водосброса № 1 и подвинуло левую границу ямы размыва в сторону ГЭС.

На рисунке 5 приведены результаты размыва русла в нижнем бьефе водосброса № 2 по оси первого пролета при открытии затворов от 1-го к 5-му пролету, а на рисунке 6 приведены результаты размыва русла в нижнем бьефе водосброса № 2 по оси четвертого пролета при открытии затворов от 1-го к 5-му пролету.

Как следует из рисунка 5, минимальная отметка воронки размыва по оси 1-го пролета составила 126,5 м, а по оси 4-го пролета – 124,5 м, то есть на 2 м больше несмотря на то, что во 2-м пролете удельные расходы были в два раза больше.

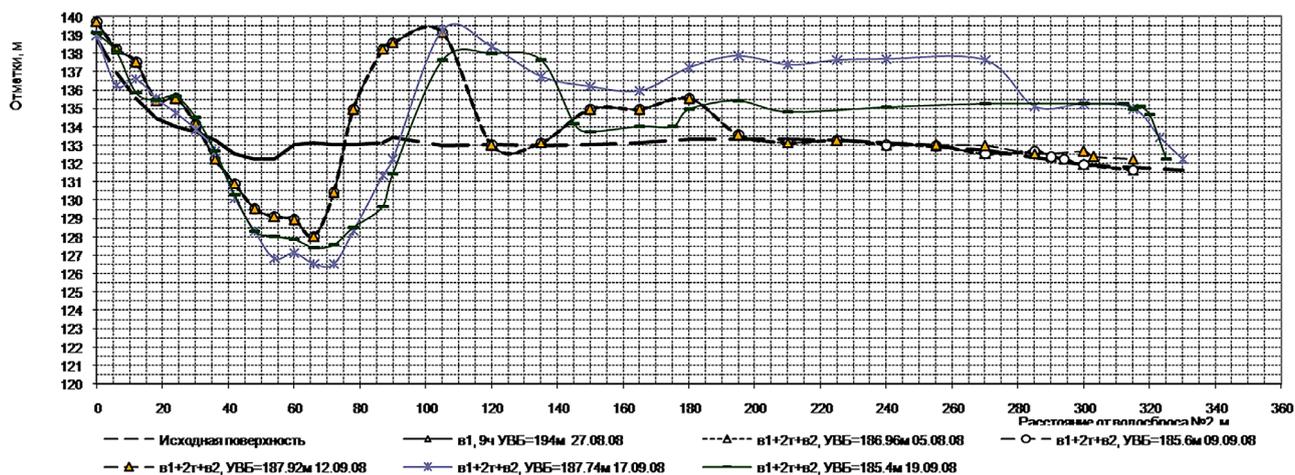


Рис. 5. Продольный разрез воронки размыва по оси пролета № 1 при открытии затворов от 1-го пролета к 5-му

Fig. 5. Longitudinal cut of the erosion funnel on the axis of span No.1 when opening the gates from the 1st span to the 5th

2. Эксперимент с отбросом струи при последовательном пропуске расходов с пятого пролета по первый (с нумерацией пролетов от здания ГЭС)

Пропуск расходов осуществляется с пятого пролета и далее по направлению к зданию ГЭС. Поток из пятого пролета формирует воронку размыва, которая правым бортом

смыкается с воронкой размыва за водосбросом № 1. Это привело к частичному растеканию струи 5-го пролета в поток водосброса № 1. При открытии четвертого и третьего пролетов поток аналогично продолжал смещение воронки размыва в сторону водосброса № 1 и соответствующее формирование в ней потока. Отброс струи при открытии второго пролета не менял свою траекторию. Но при включении первого пролета отклонитель вынуждает существенно изменить траекторию потока 1-го пролета в сторону пролета № 2 вплоть до соединения этих

потоков в зоне спада траектории. При этом объединенный поток смещается частично в сторону потока 3-го пролета, смещая его в сторону 4-го пролета, что в свою очередь приводит к изменению траектории отброса струи.

На рисунке 7 приведены результаты размыва русла в нижнем бьефе водосброса № 2 по оси первого пролета при открытии затворов от 5-го к 1-му пролету, а на рисунке 8 – результаты размыва русла в нижнем бьефе водосброса № 2 по оси четвертого пролета при открытии затворов от 5-го к 1-му пролету [2].

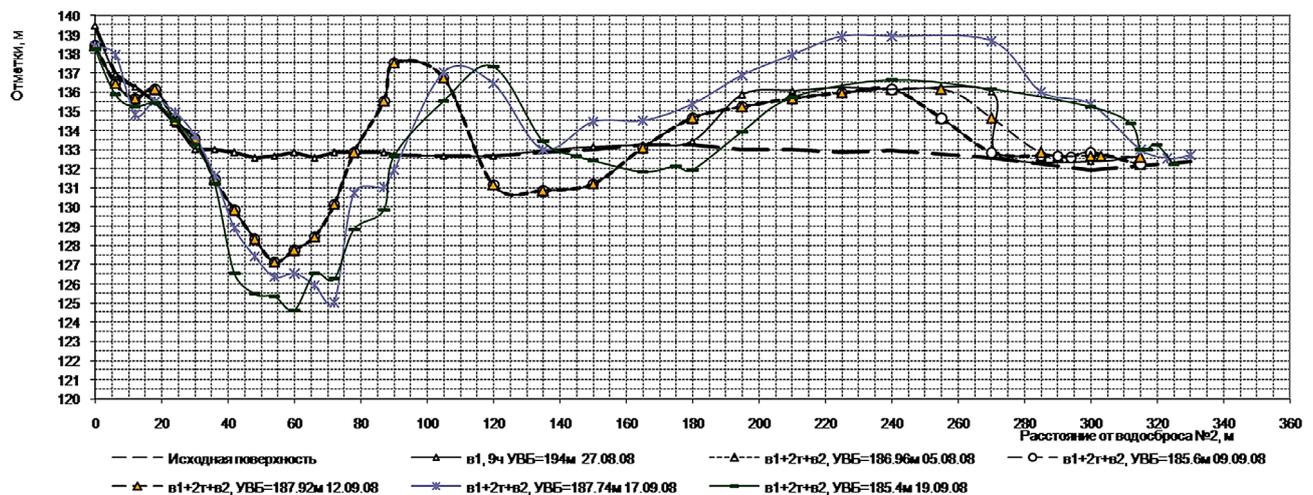


Рис. 6. Продольный разрез воронки размыва по оси пролета № 4 при открытии затворов от 1-го пролета к 5-му

Fig. 6. Longitudinal cut of the erosion funnel on the axis of span № 4 when opening the gates from the 1st span to the 5th

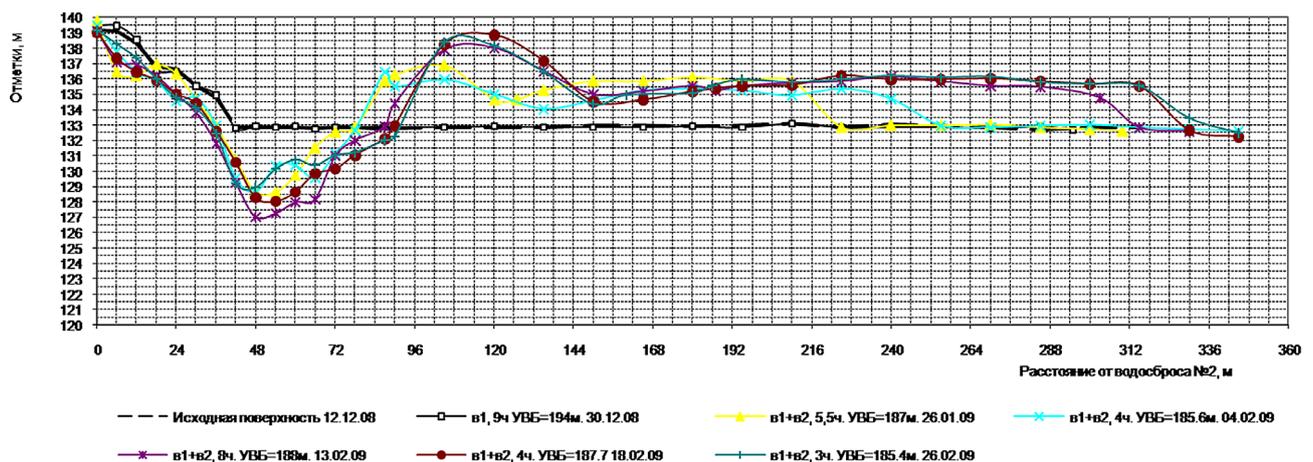


Рис. 7. Продольный разрез воронки размыва по оси пролета № 1 при открытии затворов от 5-го пролета к 1-му пролету

Fig. 7. Longitudinal cut of the erosion funnel on the axis of span № 1 when opening the gates from the 5th span to the 1st

Как следует из рисунка 7, минимальная отметка воронки размыва по оси 1-го пролета составила 127,0 мм, а по оси 4-го

пролета – 123,5м, то есть на 3,5 м больше несмотря на то, что во 2-м пролете удельные расходы были в два раза больше.

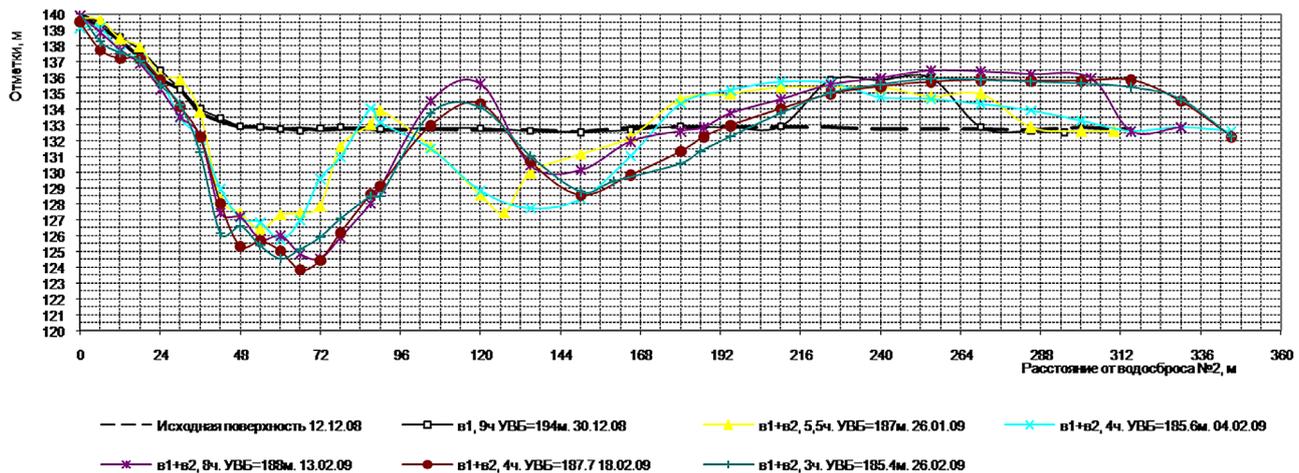


Рис. 8. Продольный разрез воронки размыва по оси пролета № 4 при открытии затворов от 5-го пролета к 1-му пролету  
 Fig. 8. Longitudinal cut of the erosion funnel on the axis of span № 4 when opening the gates from the 5th span to the 1st

При открытии затворов от 5-го к 1-му пролету был облегчен размыв грунта наличием воронки размыва за водосбросом № 1, которая левой стороной уже заходила в зону падения струи пролета № 5. При подключении последующих пролетов в воронке размыва потоком водосброса № 2 формировался поперечный винтовой поток, интенсивность размыва которым больше, чем плоским потоком. Но мощность этого винта сходила на нет к первому пролету, что и послужило причиной меньшего размыва за ним.

### Выводы

Подводя итоги анализа размыва грунта за водосбросом № 2, можно сделать вывод о том, что безопасность эксплуатации сооружений, расположенных в нижнем бьефе, обеспечена. При открытии пятого и четвертого пролетов продукты размыва перемещаются

в сторону водосброса № 1 и далее течением сносятся в нижний бьеф. Открытие третьего и второго пролетов изменяет траекторию струи после включения первого и направлены в сторону водосброса № 1. Тем самым обеспечивается беспрепятственная работа крайних турбинных агрегатов 7, 8 и 9.

Несмотря на то, что при открытии затворов водосброса № 2 от 5-го к 1-му размывы увеличились более чем на 1 м, этот режим является более предпочтительным, поскольку по оси 1-го пролета размывы уменьшились.

По результатам проведенных исследований данная компоновка и порядок открытия затворов являются оптимальными. Благодаря этому будет обеспечена безопасность не только сооружений, расположенных в нижнем бьефе, но и уменьшения срока окупаемости данного гидроузла за счет увеличения выработки 7, 8 и 9 агрегатов ГЭС.

### Библиографический список

1. Отчёт о научно-исследовательской работе: «Разработка и гидравлическое обоснование конструкции водосброса № 2 с отбросом струи в русло реки и гидравлические исследования деформации в нижнем бьефе Богучанской ГЭС». Этап I: «Научный анализ проектных решений водосброса № 2 Богучанской ГЭС». – М.: МГУП, 2007.
2. СНиП II-50-74. Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования; утв. Государственным комитетом СССР по делам строительства 13.09.1974. – М.: Стройиздат, 1975. – 24 с.
3. СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения

### References

1. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote: «Razrabotka i gidravlichesкое обоснование konstruksii vodosbrosa № 2 s otbrosom strui v ruslo reki i gidravlicheskie issledovaniya deformatsii v nizhnem bjefe Boguchanskoj GES». Etap I: «Nauchny analiz proektnyh reshenij vodosbrosa № 2 Boguchanskoj GES». – М.: MGUP, 2007.
2. SNiP II-50-74. Gidrotehnicheskie sooruzheniya rechnye. Osnovnyye polozheniya proektirovaniya; utv. Gosudarstvennym komitetom SSSR po delam stroitelstva 13.09.1974. – М.: Strojizdat, 1975. – 24 s.
3. SP 58.13330.2019 Gidrotehnicheskie sooruzheniya. Osnovnyye polozheniya

СНиП 33-01-2003 <http://docs.cntd.ru/document/564542210>

4. СНиП 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 32 с.

5. Отчёт о научно-исследовательской работе «Разработка и гидравлическое обоснование конструкции водосброса № 2 с отбросом струи в русло реки и гидравлические исследования деформации в нижнем бьефе Богучанской ГЭС». Этап III: «Гидравлические исследования перестроения русла реки и характеристик течения в нижнем бьефе Богучанской ГЭС». – М.: МГУП, 2008.

6. Отчёт о научно-исследовательской работе «Разработка и гидравлическое обоснование конструкции водосброса № 2 с отбросом струи в русло реки и гидравлические исследования деформации в нижнем бьефе Богучанской ГЭС». Этап II: Определение гидродинамических нагрузок на элементы водосброса № 2 и обеспечение кавитационной безопасности тракта водосброса. – М.: МГУП, 2008.

7. Научно-технический отчёт «Гидравлические исследования по актуализации проекта водосбросных сооружений Богучанской ГЭС с отметкой НПУ = 208.0 м». – М.: ОАО НИИЭС, 2006.

8. Новикова И.С., Родионов В.Б., Семенов В.М. Гидравлические исследования и выбор конструкции эксплуатационного водосброса № 2 Богучанской ГЭС // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 9. – С. 54-60.

9. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие / Д.Д. Лаппо, А.Б. Векслер Т.Г. Войнич-Сяноженцкий. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 624 с.

10. Орлов В.Т. Построение кривой свободной поверхности и кривой распределения давления на участке сопряжения водосливной поверхности плотины с дном нижнего бьефа // Известия ВНИИГ. – 1968. – т. 87.

#### Критерии авторства

Елистратов А.С., Гурьев А.П., Ханов Н.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Елистратов А.С., Гурьев А.П., Ханов Н.В. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 05.02.2021 г.

Одобрена после рецензирования 16.02.2021 г.

Принята к публикации 26.02.2021 г.

SNiP 33-01-2003 <http://docs.cntd.ru/document/564542210>

4. SNiP 2.06.01-86. Gidrotehniicheskie sooruzheniya. Osnovnye polozheniya proektirovaniya. – M.: TSITP Gosstroya SSSR, 1987. – 32 s.

5. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote: «Razrabotka i gidravlichesкое obosnovanie konstruktsii vodosbrosa № 2 s otbrosom strui v ruslo reki i gidravlicheskie issledovaniya deformatsii v nizhnem bjefe Boguchanskoj GES». Etap III: «Gidravlicheskie issledovaniya pereformirovaniya rusla reki i harakteristiktecheniya v nizhnem bjefe Boguchanskoj GES». – M.: MGUP, 2008.

6. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote: «Razrabotka i gidravlichesкое obosnovanie konstruktsii vodosbrosa № 2 s otbrosom strui v ruslo reki i gidravlicheskie issledovaniya deformatsii v nizhnem bjefe Boguchanskoj GES». Etap II: Opredelenie gidrodinamicheskikh nagruzok na element vodosbrosa № 2 i obespechenie kavitatsionnoj bezopasnosti trakta vodosbrosa. – M.: MGUP, 2008.

7. Nauchno-tehnicheskij otchet «Gidravlicheskie issledovaniya po aktualizatsii projekta vodosbrosnyh sooruzhenij Boguchanskoj GES s otmetkoj NPU = 208.0 m». – M.: OAO NIIES, 2006.

8. Novikova I.S., Rodionov V.B., Semenov V.M. Gidravlicheskie issledovaniya i izbor konstruktsii ekspluatatsionnogo vodosbrosa № 2 Boguchanskoj GES // Gidrotehniicheskoe stroitelstvo. – 2007. – № 9. – S. 54-60.

9. Gidravlicheskie raschety vodosbrosnyh gidrotehniicheskikh sooruzhenij: Spravochnoe posobie / D.D. Lappo, A.B. Veksler, T.G. Vojnich-Syanozhentsky. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 624 s.

10. Orlov V.T. Postroenie krivoj svobodnoj poverhnosti i krivoj raspredeleniya davleniya na uchastke copryazheniya vodoslivnoj poverhnosti plotiny s dnom nizhnego bjefa // Izvestiya VNIIG. – 1968. – т. 87.

#### Criteria of Authorsip

Elistratov A.S., Gurjev A.P., Khanov N.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Elistratov A.S., Gurjev A.P., Khanov N.V. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 05.02.2021

Approved after reviewing 16.02.2021

Accepted for publication 26.02.2021