

УДК 502/504:532.5+627.8

**А. П. ГУРЬЕВ, Д. В. КОЗЛОВ, Н. В. ХАНОВ, А. С. ЕЛИСТРАТОВ**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

**ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ СТРУИ ПРИ ЕЕ ОТБРОСЕ НОСКОМ-ТРАМПЛИНОМ ВЫСОКОПОРОГОВОГО ВОДОСБРОСА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЯМЫ РАЗМЫВА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ***Рассмотрены варианты компоновок водосброса № 2 Богучанской ГЭС с гладкой сливной гранью и носком-трамплином для отброса струи без отклонителя и с отклонителем струи в пролете № 1.**Водосброс, носок-трамплин, отклонитель струи, отброс струи, яма размыва.**The article considers the lay-out alternatives for spillway № 2 of the Boguchansk hydro-power plant with a smooth overflow face and a ski jump bucket for jet repelling without a jet deflector and with a jet deflector in span № 1.**Spillway, ski jump bucket, jet deflector, jet repeller, scouring basin.*

При гашении избыточной энергии потока путем отброса струи одной из нерешенных задач является размыв грунта за носком-трамплином. Очень важно точно рассчитать яму размыва и предотвратить разрушение сооружений ГЭС. Целью исследования является водосброс № 2 Богучанской ГЭС в период временной эксплуатации.

Гидроузел был спроектирован на основании СНиП II-50-74[1]. Строительство гидроузла начато в 1980 году. С 1992 по 2005 год строительство было заморожено из-за недостаточного финансирования, в 2005 году продолжено. По новому СНиП 30-01-2003 изменились условия пропуска расчетного и поверочного расходов. На гидроузле было возведено водосбросное сооружение, состоящее из десяти глубинных (донных) отверстий. По новым санитарным нормам и правилам условие пропуска расходов изменилось, сооружение не могло пропустить нужного объема воды.

Для обеспечения пропуска расчетных расходов потребовалось строительство дополнительного водосброса. Чтобы разместить его в составе гидроузла, приняли решение удалить три агрегата ГЭС и на этом месте построить высокопороговый водосброс № 2 практичес-

кого профиля криволинейного очертания с носком-трамплином. Гребень оголовка водосброса № 2 в строительный период располагался на отметке 179 м, а ребро носка трамплина – на отметке 143,8 м, чему соответствовал перепад высот в 35,2 м.

Расход в строительный период составлял 13 500 м<sup>3</sup>/с при обеспеченности  $P = 0,2$  % (рис. 1).

Перед проектировщиками стояла задача спроектировать водосброс № 2 таким образом, чтобы проходящий через него расход воды не привел к разрушению концевой участка и всех сооружений ГЭС, расположенных в нижнем бьефе. Задачу усложнял тот факт, что основание водосброса было сложено трещиноватой скалой.

Трещины пронизывали всю толщу основания, дробя его на отдельные блоки с размерами от 0,3×0,3 до 5×5 м на поверхности от 1×1 м до 20×20×10 м в основании водосброса № 2. После подробного изучения геологического строения основания данного гидроузла в Московском государственном университете природообустройства была разработана методика моделирования трещиноватого скального грунта. По этой методике использовался щебень трех фракций, соответствующий

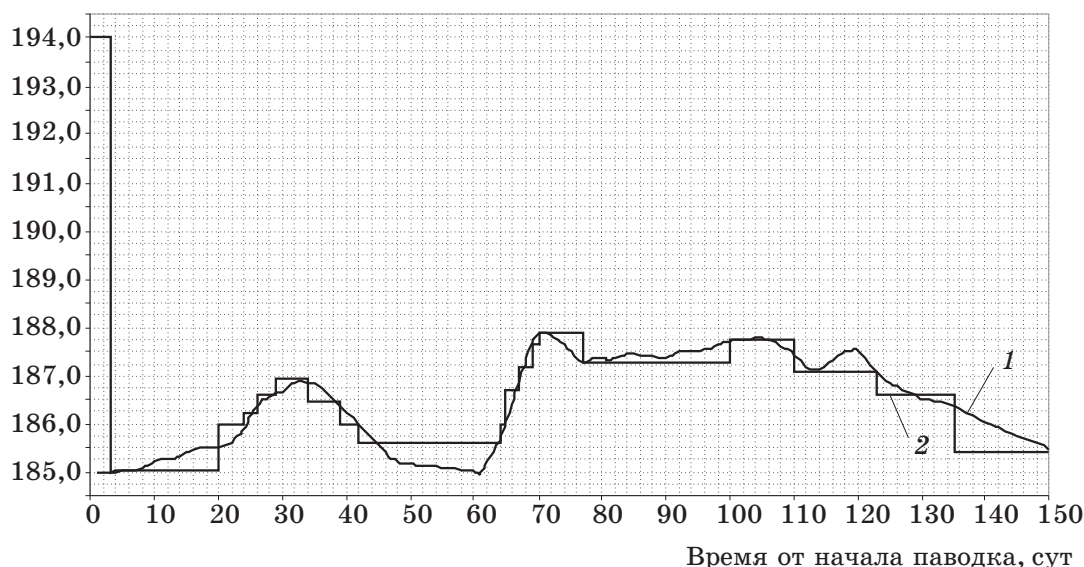


Рис. 1. Трансформированный гидрограф паводка с  $Q_p = 0,2 \% = 13\,500 \text{ м}^3/\text{с}$  при строительном пропуске расхода (1) и модельный гидрограф (2)

характеристикам натурального грунта. На основании этих данных была создана модель данного гидроузла в масштабе 1:60.

В процессе экспериментов были изучены два варианта водосброса: а) с отбросом струи без отклонения ее траектории и б) с отклонением траектории струи при помощи ступенчатого отклонителя, расположенного в первом пролете. Нумерацию пролетов водосброса № 2 считали относительно здания ГЭС.

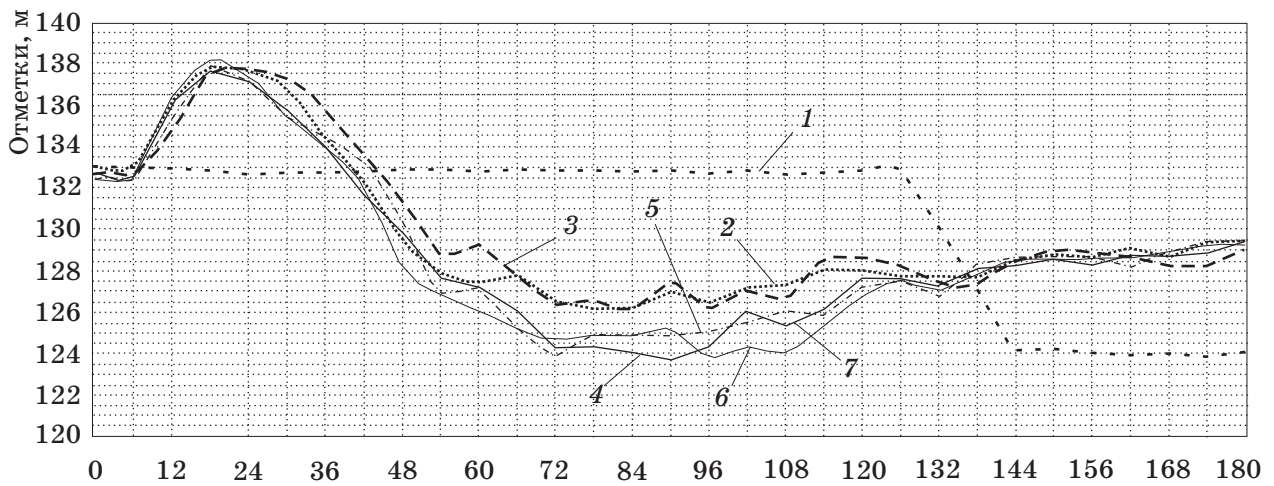
В первом варианте экспериментов при последовательном пропуске расходов, начиная с пятого пролета, отклонитель не использовали. Во втором варианте экспериментов при последовательном пропуске расходов, начиная с первого пролета, отклонитель использовали.

Во время строительства гидроузла пропуск строительных расходов осуществлялся через водосброс № 1. При этом ширина потока была сужена в 15–18 раз — удельные расходы в русле реки Ангары соответственно увеличились. Естественно, что такое стеснение живого сечения потока должно было привести к деформации русла за водосбросом № 1. Для обеспечения правильных граничных условий за водосбором № 2 на модели были выполнены опыты, посвященные изучению размывов дна, после чего включился в работу водосброс № 2.

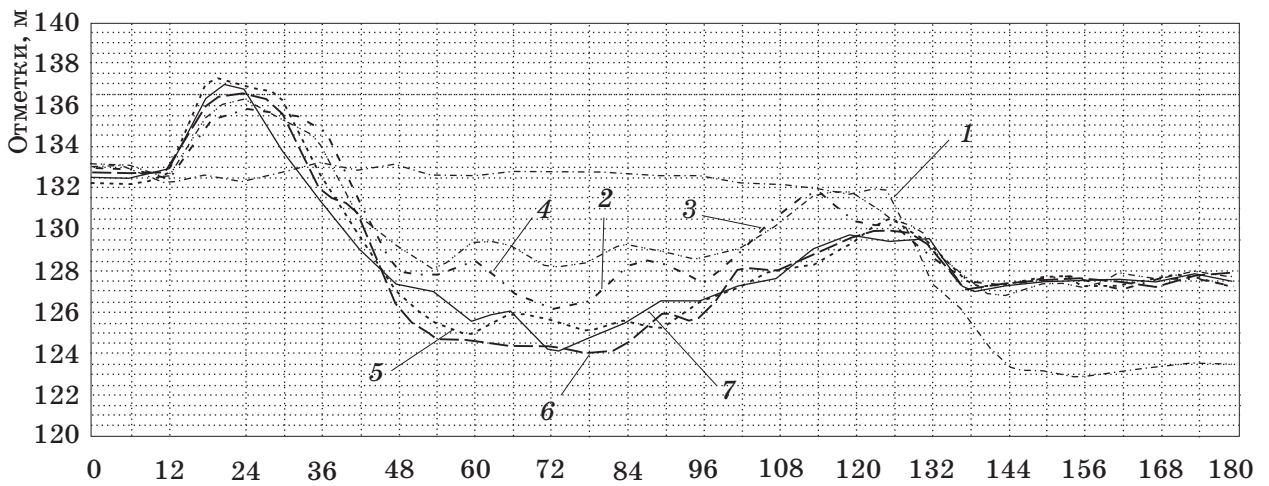
Предполагалось, что при открытии затворов с пятого по первый должна была сформироваться яма размыва, объединенная с ямой, возникшей за водосбросом № 1. При включении второго и первого пролета за ямой размыва начал формироваться бар, частично смещенный в сторону задания ГЭС. Однако этот бар не привел к ухудшению работы ГЭС. В подструйном пространстве за счет эжекции произошло понижение уровня воды, которое распространилось и в зону выходного сечения отсасывающих труб ГЭС, что было зафиксировано пьезометрами, установленными в них. Тем не менее, для повышения надежности работы ГЭС была предпринята попытка уменьшения размера бара в зоне гидроэлектростанции.

Ямы размывов в варианте без отклонителя потока показаны на рисунках 2а и 4а — соответственно на расстоянии 66 и 120 м от торцевой грани водосброса № 2.

В процессе проведения экспериментальных исследований был разработан отклонитель, который позволил изменить траекторию струи в направлении водосброса № 1. Отклонитель был выполнен в виде трех ступеней, что позволило отклонить струю «каскадом», т.е. распределить след падения струи



а



б

Рис. 2. Поперечный разрез ямы размыва на расстоянии 66 м от торцевой грани водосброса № 2 без использования отклонителя (а) и с использованием отклонителя струи в первом пролете относительно оси турбинных камер: 1 – исходная поверхность; 2 – в1 + 2т + в2, УВБ – 187,92 м (12.09.08); 3 – В1 – 9 ч. УВБ = 194 м (26.08.08); 4 – в1 + 2т + в2, УВБ – 187,74 м (17.09.08); 5 – в1 + 2т + в2, 9 ч, УВБ – 186, 96 м (05.08.08); 6 – в1 + 2т + в2, УВБ – 185,4 м (19.09.08); 7 – в1 + 2т + в2, УВБ – 185,6 м (19.09.08)

на большую площадь основания и тем самым уменьшить глубину размывов. Примерный угол отклонения струи составил 10° (рис. 3).

Данная конструкция позволила отклонить струю от здания ГЭС в сторону водосброса № 1 и привести к снижению бара в зоне ГЭС.

Яма размыва в варианте с отклонителем потока показана на рисунках 2б и 4б – соответственно на расстоянии 66 и 120 м от торцевой грани водосброса № 2.



Рис. 3. Общий вид потока на выходе из водосброса № 2 с использованием отклонителя. Начало пропуска расходов с первого пролета относительно оси турбинных камер

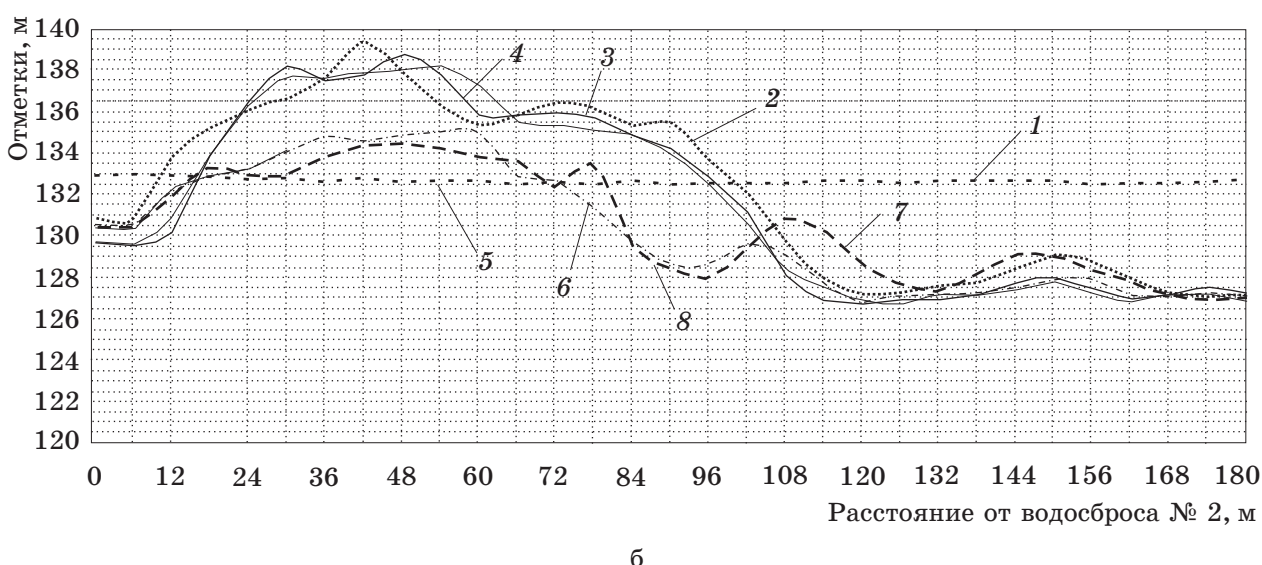
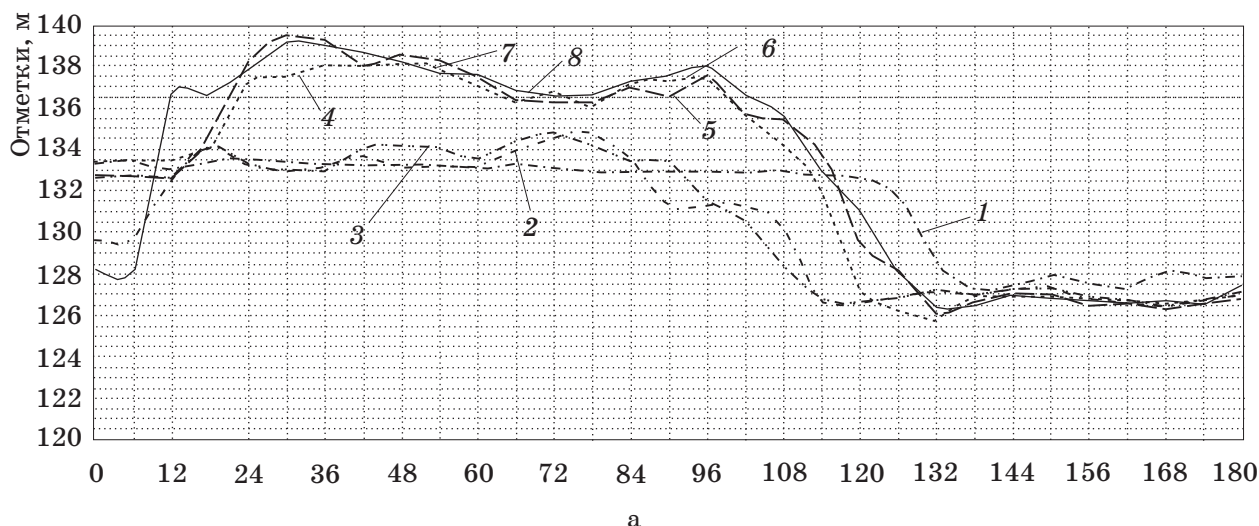


Рис. 4. Поперечный разрез ямы размыва на расстоянии 120 м от торцевой грани водосброса № 2 без использования отклонителя (а) и с использованием отклонителя (б) струи в первом пролете относительно оси турбинных камер: 1 – исходная поверхность; 2 –  $v_1 + v_2$ ; 3 –  $v_1 + v_2, 5,5 \text{ ч}$ ; 4 –  $v_1 + v_2, 4 \text{ ч}$ ; 5 –  $v_1 + v_2, 8 \text{ ч}$ ; 6 –  $v_1 + v_2, 4 \text{ ч}$ ; 7 –  $v_1 + v_2, 3 \text{ ч}$ ; 8 –  $v_1 + v_2, 4 \text{ ч}$

### Выводы

Использование отклонителя позволило уменьшить образование бара за отсасывающими трубами агрегатов 7...9.

Работа отклонителя наиболее благоприятна при больших напорах. Следовательно, в эксплуатационном режиме можно ожидать более эффективной работы отклонителя.

При использовании отклонителя и пропуске расхода с первого по пятый пролет происходит разделение в плане потока на два фронта. Так, поток, направленный пятым, четвертым и частично третьим

пролетами, а также продукты ямы размыва при отбросе носком-трамплином ориентированы в сторону промоины, образованной водосбросом № 1, тогда как первый и второй пролеты, несмотря на наличие отклонителя, увеличивают глубину в яме размыва против второго и третьего пролетов.

Для более эффективной работы водосброса № 2 необходимо начинать пропуск расходов с пятого по первый пролет относительно оси турбинных камер при использовании отклонителя (в настоящее время ведутся исследования).



1. **СНиП II-50-74.** Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования; разработ. ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева и Гидропроектом имени С. Я. Жука Минэнерго СССР с участием Гипроречтранс Минречфлота РСФСР и др.; утв. Государственным комитетом СССР по делам строительства 13.09.1974. – М.: Стройиздат, 1975. – 24 с.

2. **СНиП 33-01-2003.** Гидротехнические сооружения. Основные положения; разработ. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева с участием ОАО «Институт Гидропроект», ОАО «Ленгидропроект» и др.; утв. Государственным комитетом Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России) 30.06.2003. – М.: ЦИТП Госстроя России, 2004. – 23 с.

3. **СНиП 2.06.01-86.** Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования; разработ. ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева, Гидропроектом имени С. Я. Жука, ЛО «Атомтеплоэлектропроект» и др.; утв. Государственным комитетом СССР по делам строительства 01.07.1987. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 32 с.

4. **Новикова И. С., Родионов В. Б., Семенков В. М.** Гидравлические исследова-

ния и выбор конструкции эксплуатационного водосброса № 2 Богучанской ГЭС // Гидротехническое строительство. – 2007. – № 9. – С. 54–60.

5. **Павловский Н. Н.** Гидравлический справочник – Л. – М.: ОНТИ, Главная ред. энергетич. лит., 1937. – 890 с.

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

Материал поступил в редакцию 13.04.10.

**Гурьев Алим Петрович**, кандидат технических наук, профессор кафедры «Комплексное использование водных ресурсов»

Тел. 8 (499) 976-21-56

**Козлов Дмитрий Вячеславович**, доктор технических наук, профессор, ректор

Тел. 8 (499) 976-29-62

E-mail: kozlovdu@mail.ru

**Ханов Нартмир Владимирович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Гидравлика»

Тел. 8 (499) 976-00-19

E-mail: nvkhanov@yahoo.com

**Елистратов Александр Сергеевич**, аспирант кафедры «Гидравлика»

Тел. 8(499) 976-00-19

E-mail: elistratovaleksandr@rambler.ru