

## Гидротехническое строительство

УДК 502/504 : 532.001.5:627.83

**П. А. МИХЕЕВ, В. А. ХРАПКОВСКИЙ**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

### **СОПРЯЖЕНИЕ БЬЕФОВ И БЕЗОПАСНОСТЬ РАБОТЫ ВОДОСБРОСНОГО СООРУЖЕНИЯ КРАСНОДАРСКОГО ГИДРОУЗЛА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

*Дана оценка сопряжения бьефов в современных условиях эксплуатации водосброса, характеризующихся значительным понижением уровня воды в реке Кубань. Получены графические зависимости, позволяющие определить диапазон изменения расходов, напоров, схему работы, при которых обеспечиваются нормальные условия эксплуатации сооружения. Определены величины расходов и напоров, при которых возникает отгон гидравлического прыжка и угроза безопасности сооружения.*

*Сопряжение объектов, безопасность работы водосбросного сооружения, Краснодарский гидроузел, грунтовая плотина, водоснабжение населения, Кубанский водохозяйственный комплекс.*

*There is given an estimation of the upstream and downstream transition of the weir dam operation under the present conditions characterized by a considerable decrease of water level in the river Kuban. Graphical dependencies have been obtained which allow determining a range of discharge and weir heads changes, an operational scheme ensuring normal conditions of the waterworks operation. Quantities of discharges and heads are determined under which there is arising a driving away of the hydraulic jump and threat to the structure safety.*

*Conjunction of objects, safety of the weir dam operation, the Krasnodar hydraulic works, ground dam, the population water supply, the Kuban water economy complex.*

Краснодарское водохранилище, расположенное в среднем течении реки Кубань, выше города Краснодара, с 1975 года, после завершения строительства, находится в постоянной эксплуа-

тации. Это водохранилище, являясь составной частью Кубанского водохозяйственного комплекса, обеспечивает защиту низовий Кубани от наводнений, гарантированную подачу воды

на оросительные системы, улучшает водоснабжение населения края и условия судоходства.

В состав Краснодарского гидроузла входит грунтовая плотина, водосбросное сооружение и судоходный шлюз. Конструктивно водосбросное сооружение состо-

ит из четырех пролетов шириной по 10 м водосливной плотины, на гребне которой установлены плоские затворы (рис. 1). Водосбросное сооружение относится ко II классу, рассчитано на пропуск расчетного расхода 1 % обеспеченности, равного 1 250 м<sup>3</sup>/с, и поверочного расхода 15 00 м<sup>3</sup>/с.

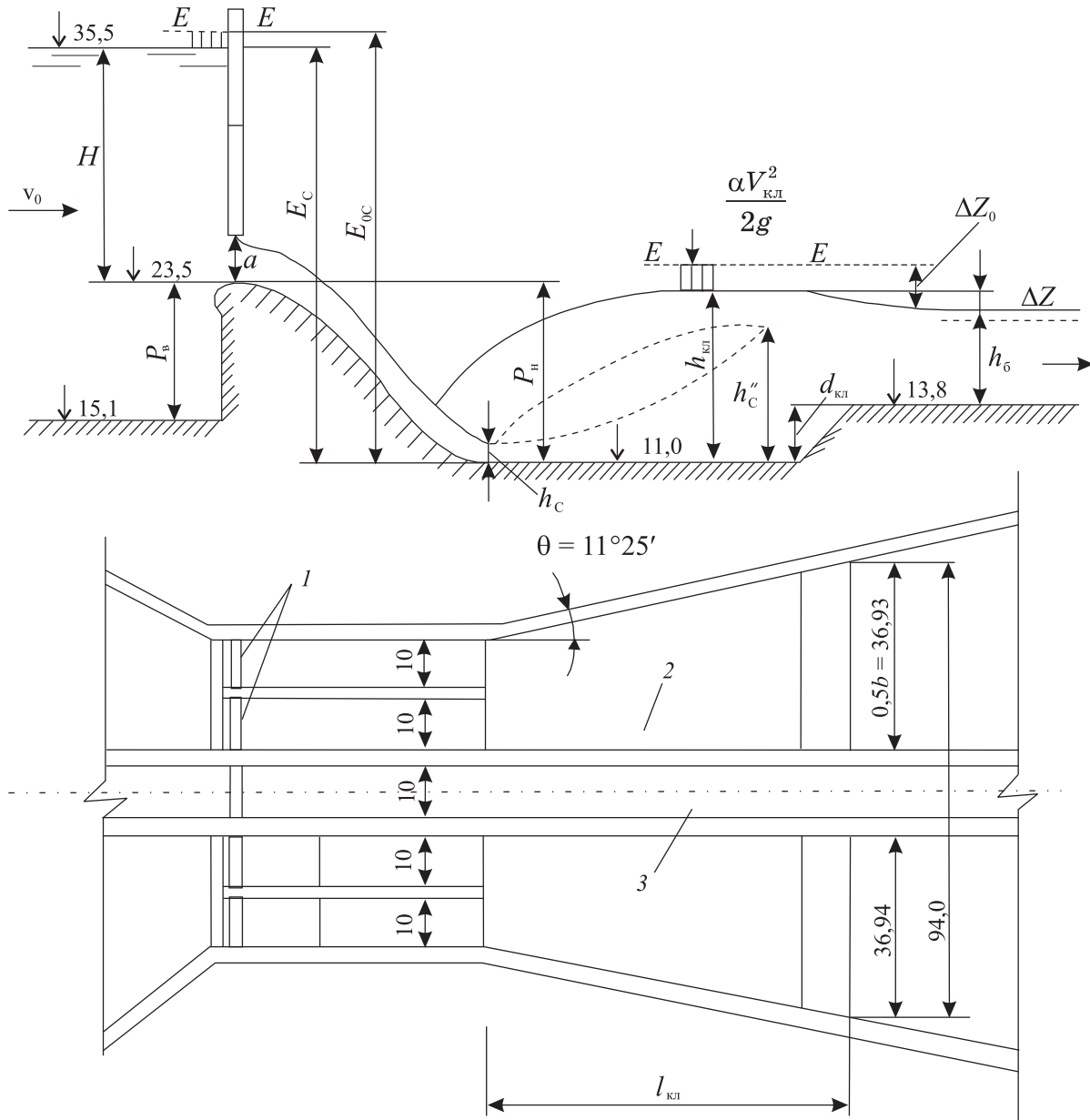


Рис. 1 **Схема водосбросного сооружения:** 1 – пролеты водосливной плотины; 2 – водобойный колодец; 3 – рыбоподъемник;  $P_B, P_H$  – высота водослива соответственно в верхнем и нижнем бьефах;  $H$  – напор на водосливе при полном открытии затвора;  $a$  – открытие затвора;  $E_c$  – геометрический напор воды в верхнем бьефе относительно дна нижнего бьефа;  $E_{0c}$  – напор воды в верхнем бьефе относительно дна нижнего бьефа с учетом скорости подхода воды  $V_0$ ;  $V_0$  – скорость подхода воды в верхнем бьефе;  $h_{сж}$  – сжатая глубина;  $h_c$  – глубина, сопряженная сжатой;  $h_{кв}$  – глубина воды в колодце, необходимая для затопления прыжка;  $d_{кв}$  – глубина водобойного колодца;  $l_{кв}$  – длина водобойного кольца;  $\alpha$  – корректив кинетической энергии;  $V_{кв}$  – скорость подхода воды в нижнем бьефе;  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\Delta Z$  – геометрический перепад уровней воды на выходе из колодца;  $\Delta Z_0$  – полный перепад уровней воды на выходе из колодца с учетом скоростного напора;  $h_6$  – глубина воды (бытовая) в нижнем бьефе, соответствующая бытовым условиям; E–E – напорная линия, или линия полной удельной энергии

В состав водосброса входит рыбоподъемник, разделяющий водосливной фронт, водобой и часть рисбермы на две части. Выходная часть сооружения имеет непризматическую форму с центральным углом расширения боковых стенок  $22^{\circ}50'$ . Для обеспечения сопряжения бьефов по типу затопленного гидравлического прыжка запроектирован расширяющийся водобойный колодец глубиной  $d_{\text{кл}} = 2,80$  м и длиной  $l_{\text{кл}} = 66,5$  м. Вода, прошедшая через водосбросное сооружение, отводится в реку Кубань по отводящему трапецеидальному каналу шириной по дну 150 м и длиной 650 м.

После перекрытия реки Кубань в ноябре 1972 года почти на стокилометровом участке реки ниже гидроузла был нарушен естественный ход русловых процессов. Объем ежегодного поступления твердого стока в нижний бьеф Краснодарского гидроузла после его возведения уменьшился более чем в 20–30 раз, а мутность воды – более чем в 10 раз. В результате нарушения русловых процессов, увеличения размывающей способности «осветленного» потока произошло значительное понижение базиса эрозии и понижение уровней воды в реке Кубань ниже гидроузла при одинаковых расходах, причем наиболее интенсивным наблюдалось понижение уровней в первые четыре года. В последующие годы интенсивность падения уровней уменьшилась и составляла от 0,1 до 0,05 м в год. По информации на июль 2004 года, понижение уровней воды составило при расходах 800...1500 м<sup>3</sup>/с более 1,80 м.

В результате понижения уровня воды в реке Кубань и в нижнем бьефе водосбросного сооружения произошли существенные изменения условий сопряжения потоков и работы рыбопропускного сооружения. Оценка негативного влияния понижения уровней в нижнем бьефе на ухудшение условий привлечения рыб к рыбопропускному сооружению и некоторые предложения по оптимизации его конструкции и

режимов управления течениями в зоне поисков рыб имеются в работах В. В. Ванжа, П. А. Михеева, М. А. Чеботарева, А. А. Чистякова, В. Н. Шкура, в которых отмечается, что при современных условиях возможность оптимизации параметров привлечения и накопления рыб крайне ограничена.

Опыт эксплуатации водосбросного сооружения в современных условиях, характеризующихся значительным понижением уровней воды в нижнем бьефе, показывает ухудшение гидравлического режима работы выходной части вследствие уменьшения затопления гидравлического прыжка в водобойном колодце. При пропуске расходов более 800 м<sup>3</sup>/с в нижнем бьефе наблюдается форма сопряжения, близкая к критической, когда начало гидравлического прыжка приближается к сжатому сечению, расположенному у подошвы водосливной плотины. При неблагоприятных условиях (высоких уровнях воды в верхнем бьефе) наблюдается начальная стадия отгона гидравлического прыжка, которая, как показали постановочные опыты в Новочеркасской государственной мелиоративной академии (2007), при дальнейшем незначительном понижении уровня может привести к быстрому неуправляемому отгону гидравлического прыжка за пределы водобойного колодца.

Снижение эффективности работы водобойного колодца, неполное гашение избыточной кинетической энергии потока обусловили образование местных размывов в нижнем бьефе – рисбермы и отводящего канала. Ремонтно-восстановительные работы в нижнем бьефе сооружения велись неоднократно. В 2002–2003 годах при ремонте была сделана попытка улучшить условия для затопления гидравлического прыжка за счет устройства каменной наброски, однако значительная часть объема наброски была размывта и перенесена потоком вниз по течению.

В связи с тревожной ситуацией, связанной с обеспечением надежности

в работе водосбросного сооружения и повышением его класса с II на I, были выполнены гидравлические расчеты сопряжения бьефов с учетом фактических изменившихся условий эксплуатации сооружения. Исследования по научному обоснованию и оценке условий работы нижнего бьефа водосбросного сооружения Краснодарского гидроузла при пропуске «высоких» сбросных расходов и низких уровнях воды до настоящего времени не проводились.

В зависимости от условий эксплуатации водосбросное сооружение может работать по одной из двух схем – схеме истечения через водослив (при полном открытии затворов) и комбинированной схеме – истечения из-под щита, установленного на оголовке водосливной плотины (при частичном открытии затворов). Условия сопряжения потоков в нижнем бьефе водосброса являются пространственными, обусловленными разными формами и размерами водосливных отверстий и отводящего русла. Основой для расчетов явились основные зависимости теории сопряжения бьефов инже-

нерной гидравлики и данные натурных измерений фактических глубин в нижнем бьефе при пропуске различных расходов. Расчет сопряжения потоков в нижнем бьефе водосбросного сооружения Краснодарского водохранилища выполнен при пропуске расходов 80, 240, 320, 640, 800, 1000, 1250, и 1500 м<sup>3</sup>/с.

Анализ результатов аналитических расчетов позволяет сделать следующие основные выводы:

1. Условия сопряжения потоков в нижнем бьефе являются пространственными, определяются конструкцией выходной части, непризматической формой водобойного колодца и гидравлическими характеристиками потоков. Графические зависимости, обобщающие результаты аналитических расчетов, представленные на рис. 2, позволяют определить условия сопряжения бьефов при эксплуатации гидроузла, оценить надежность работы сооружения и в определенной степени оптимизировать условия сопряжения и пропуск повышенных расходов за счет изменения схемы работы сооружения.

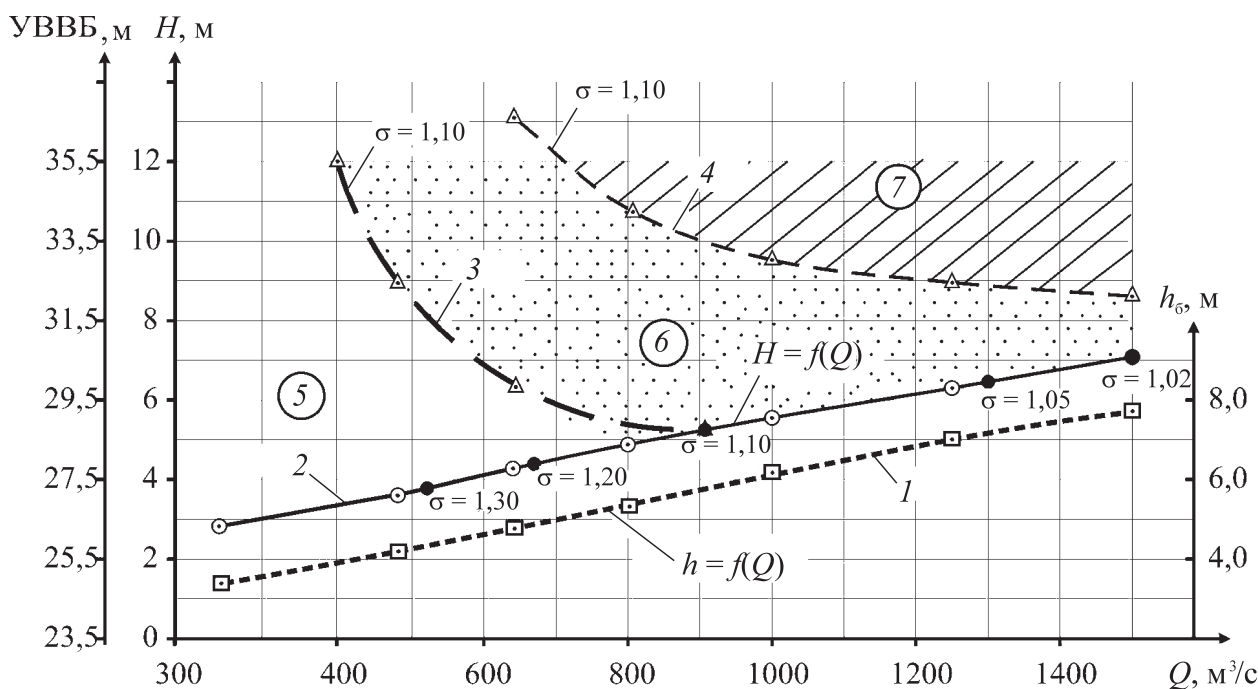


Рис. 2. График зависимости условий сопряжения потоков в нижнем бьефе водосбросного сооружения: 1 – кривая  $h_b = f(Q)$  фактических глубин в нижнем бьефе на 06.2004 года; 2 – кривая  $H = f(Q)$  напоров в верхнем бьефе при работе по схеме истечения через водослив; 3, 4 – кривые  $H_{п} = f(Q)$  предельных напоров в верхнем бьефе при работе сооружения по схеме истечения из-под щита, при которых фактические глубины  $h_b$  обеспечивают затопление прыжка с  $\sigma = 1,10$  и  $\sigma = 1,00$ ;  $Q$  – расход воды; УВВБ – уровень воды верхнего бьефа

2. На условия сопряжения бьефов оказывает влияние положение уровня воды в верхнем бьефе (величина напора), величина расхода, принятая схема работы сооружения и величина открытия затворов.

Изменение гидравлической схемы работы сооружения – истечение через водослив на истечение из-под щита при пропуске одинаковых расходов приводит к ухудшению условий сопряжения.

3. При работе сооружения по схеме истечения через водослив фактические бытовые глубины воды в нижнем бьефе сооружения  $h_6$  обеспечивают затопление гидравлического прыжка при пропуске всех расходов, но коэффициент затопления прыжка с увеличением расходов уменьшается и становится меньше предельно допустимого  $\sigma = 1,10$  при расходах более  $920 \text{ м}^3/\text{с}$ . При максимальном расходе  $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{с}$  и фактической глубине  $h_6 = 7,82 \text{ м}$  коэффициент  $\sigma = 1,02$ , а дефицит глубины  $h_6$  для надежной формы сопряжения с  $\sigma = 1,10$  составляет  $0,83 \text{ м}$ . На кривой 2 напоров в верхнем бьефе  $H = f(Q)$  для этой схемы работы сооружения нанесены численные значения коэффициентов затопления гидравлического прыжка.

4. При работе сооружения по схеме истечения из-под щита условия сопряжения ухудшаются и зависят от положения уровня воды в верхнем бьефе и величины расхода, причем наиболее тяжелыми они будут при пропуске расходов при максимальной отметке  $\nabla = 35,50 \text{ м}$ . Например, при условии поддержания уровня в верхнем бьефе на  $\nabla = 35,50 \text{ м}$  фактические глубины в нижнем бьефе обеспечивают надежное затопление прыжка с  $\sigma \geq 1,10$  только при расходах до  $380 \text{ м}^3/\text{с}$ , при расходе  $710 \text{ м}^3/\text{с}$  наблюдается критическая форма сопря-

жения, а при больших расходах прыжок будет отогнан. При максимальном расходе  $Q = 1500 \text{ м}^3/\text{с}$  дефицит  $h_6$  для обеспечения надежного затопления прыжка с  $\sigma = 1,10$  составляет  $1,57 \text{ м}$ .

5. На графике выделены три области возможных условий и надежности работы сооружения:

а) область 5 – область возможного регулирования расходов и уровней воды в верхнем бьефе, в которой фактические глубины в нижнем бьефе обеспечивают безопасную работу сооружения с коэффициентом затопления прыжка  $\sigma \geq 1,10$ ;

б) область 6 – область работы сооружения, в которой фактические глубины  $h_6$  недостаточны для безопасной работы сооружения, так как коэффициент затопления прыжка в этой области становится меньше допустимого и находится в пределах  $\sigma = 1,10 \dots 1,00$ ;

в) в области 7 гидравлический прыжок будет отогнан, поэтому работа сооружения в таких условиях является недопустимой из условий безопасности.

Для разработки научно обоснованных рекомендаций по повышению надежности работы водосбросного сооружения и эксплуатации сооружений Краснодарского гидроузла в условиях пропуска повышенных сбросных расходов воды и значительном понижении уровня воды в реке Кубань необходимы комплексные лабораторные исследования.

Материал поступил в редакцию 30.04.09.

**Михеев Павел Александрович**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Гидротехнические сооружения»

Тел. 8 (8635) 22–30–18

E-mail: micheepa@yandex.ru

**Храпковский Виктор Абрамович**, кандидат технических наук, доцент, ст. научный сотрудник

Тел. 8 (8635) 22–26–96