

История создания, экспериментальные исследования и состояние малопролётного водосброса в Подмоскowie

Черных О. Н.¹, кандидат техн. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет-МСХ имени К. А. Тимирязева,

Суэтина Т. А., доктор техн. наук, профессор,

Бурлаченко А. В., кандидат техн. наук, доцент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Проведён анализ результатов натурных обследований состояния недостроенного двухпролётного водосброса подмосковного гидроузла II класса опасности. Приведена рациональная конструкция устройств нижнего бьефа и результаты лабораторных исследований по оценке основных параметрических показателей, обеспечивающих его надёжную и безопасную работу. Излагаются результаты гидравлических и гидродинамических исследований на пространственной модели (масштаб 1:30) поверхностного водосброса с подобранной конструкцией устройств нижнего бьефа, обеспечивающей эффективное гашение энергии и предотвращение образования опасных сбойных течений и размывов за расширяющимся выходным оголовком водосброса. Обсуждаются результаты квазистатического расчёта суммарного гидродинамического воздействия на плиты водобоя и риббермы оценки устойчивости отдельных элементов крепления нижнего бьефа. Отмечена целесообразность реанимации проекта и строительства каскада гидроузлов, формирующих “Подольское море”.

Ключевые слова: лабораторное проектирование, малопролётный водосброс, гидродинамические нагрузки, гасители энергии, плиты крепления нижнего бьефа.

History of creation, experimental investigations and the state of a small-sleep discharge in the moscow region

Chernykh O. N.¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Agrarian University named after K. A. Timiryazev,

Suetina T. A., Doctor of Technical Sciences, Professor,

Burlachenko A. V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

An analysis of the results of field surveys of the state of an unfinished two-span spillway of a hydroelectric complex near Moscow of hazard class II was carried out. The rational design of the tailpipe devices and the results of laboratory studies on the assessment of the main parametric indicators that ensure its reliable and safe operation are presented. The results of hydraulic and hydrodynamic studies are presented on a spatial model (scale 1:30) of a surface spillway with a selected design of downstream devices that ensures efficient energy dissipation and prevention of the formation of dangerous disruptive currents and washouts behind the expanding head of the spillway. The results of a quasi-static calculation of the total hydrodynamic impact on the water break plates and apron for assessing the stability of individual downstream fastening elements are discussed. The expediency of resuscitation of the project and the construction of a cascade of hydroelectric facilities that form the “Podolsk Sea” was noted.

Keywords: laboratory design, short-span spillway, hydrodynamic loads, energy absorbers, downstream attachment plates.

По данным Ростехнадзора в Московской области в настоящее время явно прослеживается устойчивая тенденция снижения количества бесхозных гидротехнических сооружений (ГТС), несмотря на то, что их количество составляет примерно 16 % от общего числа поднадзорных ГТС (для сравнения — в Ивановской области 0 %, Ярославской области — 0,03 % и т.д.) [1 – 3]. Существует резкий контраст, каким выглядят на фоне масштабных подмосковных ГТС I класса опасности (техническое состояние их всех 6-ти, поднадзорных Рос-

технадзору, находится в удовлетворительном состоянии) бесхозные и неэксплуатируемые ГТС, особенно недостроенные или “гидротехнические брошенки”, о которых в отчётах обычно даже не упоминается. Вероятность аварий на таких ГТС высока и может привести к чрезвычайным ситуациям и социальным ущербам [4, 5].

Создание рекреационных водных объектов всегда являлось одной из главных задач обустройства территорий, поэтому появление комфортной курортной зоны на юге Подмоскowie в условиях современного изменения климата, и развития отечественного туризма сегодня очень актуальна. Эти за-

¹ chon36@mail.ru



а)



б)

Рис. 1. Вид на верхний (а) и нижний бьеф (б) недостроенного водосброса. 2020 г.

дачи уже пытались решить на данной территории для москвичей, подольчан и туристов в послесоветские времена. Исторические этапы создания “Подольского моря” и ГТС на нём кратко можно охарактеризовать так (рис. 1).

17.11.1975 г. Мособлсоветом было подписано постановление о создании “Подольского моря” площадью 850 га, выселены 300 семей и получили квартиры в г. Подольск, построен посёлок Гидростроителей. Предполагалось создать каскад из трёх гидроузлов для обеспечения устойчивого уровня воды на территории более чем в 1000 га, которые были отчуждены.

1978 г. завершены проектирование, гидротехнические и гидравлические исследования основных ГТС гидрокомплекса, выпущен приказ о запрете прописки, подселения и любого нового строительства в зоне водохранилища.

1980 г. — начало строительства гидроузлов: возведение бетонной части плотины первого гидроузла в районе д. Лемешёво и Кутьино, намечено два других гидроузла каскада, в зоне планируемого затопления вырублены леса.

1990 г. — выполнено примерно от 1/5 до 1/3 работ по сооружению основного объекта: насыпана часть земляной дамбы и практически построен бетонный водосброс. В связи с ограничением финансирования, в том числе и для решения инженерно-геологических особенностей местности и проблем с удержанием воды в чаше водного объекта, изобилующей скальными трещинами, карстовыми пустотами, пещерами, подземными ходами и каменоломнями, стройка плотины была сначала законсервирована, потом целиком остановлена и не возобновлена до сих пор.

Попытки реанимировать проектные проработки предпринимались в 2004, 2009, 2012 и 2014 гг., но резко ухудшилась финансовая ситуация. В

2020 – 2023 гг. река Пахра (длина 135 км, скорость 3...4 км/ч, впадает более 200 ручьёв и малых рек, площадь бассейна 2580 км²) частично входит в состав Новой Москвы.

Технический проект “Регулирующий гидроузел на р. Пахра” был разработан институтом Гидропроект по заданию Мособлмелиоводхоза в 70-х гг. прошлого века. Он предназначался для регулирования стока р. Пахры с целью возможно более полного использования довольно крупного водохранилища для водоснабжения населения, промышленности, сельского хозяйства, улучшения судоходства, санитарного оздоровления р. Пахры и отдыха населения. “Подольское море” планировалось создать в месте впадения р. Моча в р. Пахра (рис. 2), где в XIX веке уже была плотина с прудом, которые обеспечивали работу Даниловской шерстопрядильной фабрики и водяной мельницы. Ещё до начала проектирования р. Пахра сильно обмелела, перестала быть судоходной. Бассейн р. Пахры — правого притока Москвы-реки расположен на территории Подольского, частично Нарофоминского и Ленинского районов южной части Московской области и сегодня отличается высокоразвитой промышленностью, большой плотностью населения, а ранее — и интенсивным сельским хозяйством. В настоящее время ориентировочный дефицит водных ресурсов в южных районах Московской области, в частности в Подольском районе, составляет больше 50 тыс. м³ в сутки. Строительство же этого водохранилища позволит ликвидировать дефицит с запасом ежегодно 40 млн. м³.

Водные ресурсы бассейна представлены подземными водами и стоком р. Пахра, который характеризуется большой неравномерностью: до 70 % его проходит в половодье, а в межень расходы воды в реке снижаются до 1 м³/с. В этой связи в проекте предусматривались санитарные попуски не менее

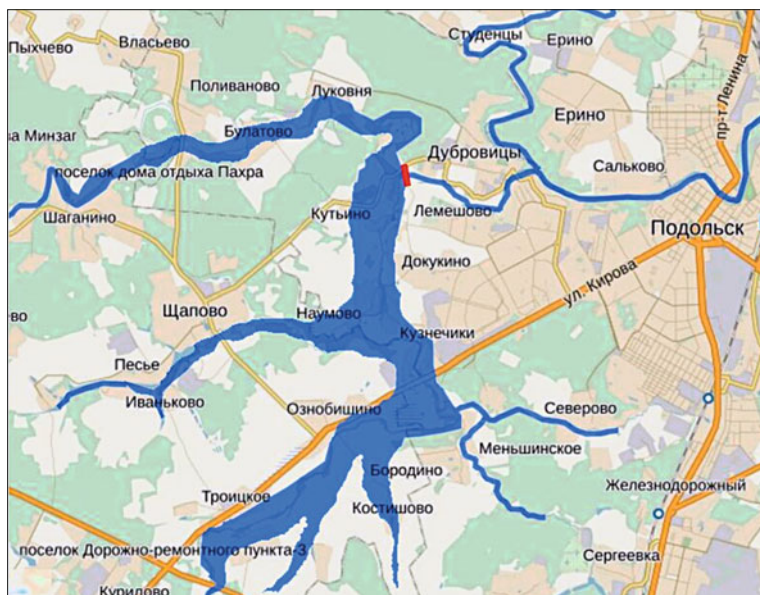


Рис. 2. Гипотетическая карта зоны затопления территории “Подольским морем”. Красная метка — плотина гидроузла

6 м³/с. Протяжённость водохранилища по периметру составляла больше 60 км, общий объём — 47 млн. м³, полезный объём — около 40 млн. м³. В состав ГТС гидроузла при длине напорного фронта 450 м вошли (рис. 3): земляная плотина максимальной высотой 21,4 м; трубчатые водовыпуски, совмещённые с водосбросом, располагаемые в право- и левобережном устоях, оборудованные цилиндрическими затворами и рассчитанные на пропуск расхода 10 м³/с каждый; бетонный водосброс. Класс опасности ГТС по действующим нормам и с учётом расположенных ниже плотин и населённых пунктов был назначен II [6]. Принятой компоновкой гидроузла предполагалось, что водосбросное сооружение будет располагаться в русловой части

речной долины с некоторым смещением к правому берегу.

Водосброс Подольского гидроузла был запроектирован в виде двухпролётной водосливной плотины практического профиля, рассчитанной на пропуск расхода 350 м³/с (рис. 4). Ширина каждого из пролётов составляла 5 м, напор на гребне водослива при отметке НПУ — 7 м, допускалась форсировка — 0,3 м. Пролёты были оборудованы сегментными затворами. В нижнем бьефе предполагалось устройство водобойного колодца с центральным углом расширения в плане $\Theta = 14,2^\circ$, длиной 36 м, глубиной 2 м. Стенки раструба за колодцем продлевались на расстоянии 66 м от водосброса. В основании водосливной плотины и крепления нижнего бьефа залегают доломитизированные трещинова-



Рис. 3. Вид сверху (а) и поперечного сечения (б) возведённой части водосброса, фото авторов 2022 г. и 2023 г.

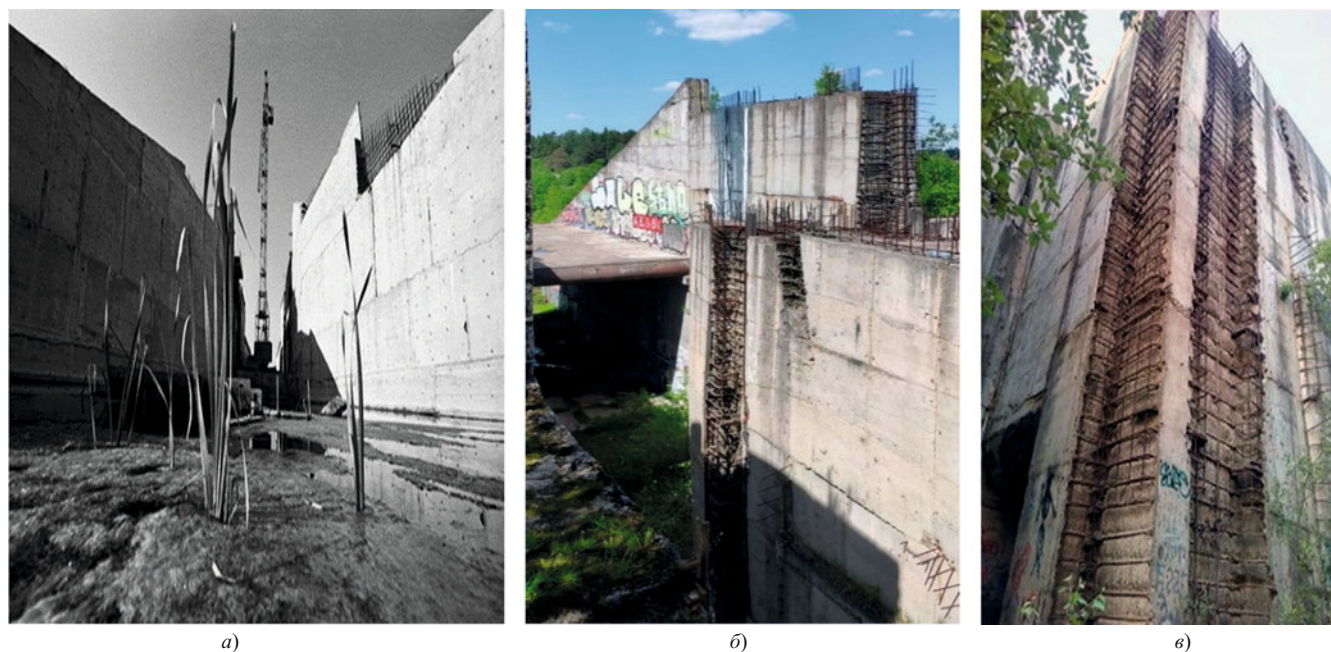


Рис. 4. Недостроенный Подольский гидроузел: а — 1998 г., фото ТАСС; б — 2020 г.; в — 2022 г.

тые серовато-белые известняки, размер скальных отдельностей 0,2 м. Дно отводящего канала в большей части представлено скальными грунтами, переходящими в аллювиальные отложения. Высотное положение водосброса можно представить следующим образом: отметка дна подводящего канала 126,5 м; отметка гребня водослива плотины 137 м; УМО = 135 м; НПУ = 144 м; ФПУ = 144,3 м; отметка дна отводящего канала 124 м.

Материал и методы. Натурные обследования для оценки современного состояния гидроузла, выполненные в 2020 – 2023 гг. показали, что недостроенная часть бетонной плотины, похожая на 9-ти этажный дом, сильно обветшала: поверхность стен береговых устоев и быков, испещрённая рисунками граффити, имеет выколы, бетон осыпается, много трещин, потерн, незаполненных межблочных швов, плиты перекрытия частично разрушены, очень много торчащей и корродирующей арматуры, хотя наиболее доступная часть её в некоторых местах срезана народными умельцами. Котлован и брошенная стройплощадка с недостроенными бетонными элементами водосброса не огорожены, поэтому широко используются для неорганизованного туризма, байкерами, и представляют опасность для посетителей, территория сильно заболочена, как и ГТС сильно заросла, много строительного мусора и обломков бетонных элементов.

Экспериментальные исследования гидравлических условий работы водосброса в лабораторном комплексе НИСа Гидропроекта были выполнены на пространственной модели масштабом 1:30, которая воспроизводила: водосброс, совмещённый с водоспусками; подводящий канал; участок отводя-

щего канала длиной 150 м, шириной по дну 28,5 м и заложением откосов 1:2,5; фрагмент грунтовой плотины, примыкающей к водосбросу. Масштаб модели был выбран из условий соблюдения основных закономерностей подобия при преобладающем действии сил тяжести и обеспечения автомодельности по числу Рейнольдса, изменяющемуся в опытах в пределах от 20 000 до 100 000. Модель располагалась в зеркальном лотке общей длиной 9 м, шириной 1,5 и высотой 1 м. Участок лотка, где располагался верхний бьеф, наращивался из условия обеспечения необходимых уровней воды на модели. Водосброс и водоспуски были изготовлены из оргстекла, водобой из дерева, отводящее русло формовалось из песка и покрывалось цементной коркой. Уровни воды, глубины и отметки определялись с помощью шпигельмасштаба, скорости измерялись микровертушкой, осреднённое давление — с помощью статического отверстия трубки Пито и пьезометрами, а пульсационная — точечными индуктивными датчиками давления с диаметром мембраны 6 мм и собственной частотой колебаний в воде 2 кГц [6 – 9].

В задачу лабораторных исследований входило: определение пропускной способности водосброса при полном и частичном открытии затворов пролётов; изучение режимов сопряжения бьефов и гашения энергии потока при разных схемах открытия затворов; поиск эффективных схем гасителей энергии; обоснование типов и параметров крепления нижнего бьефа из условия допустимых местных размывов за ним, отсутствия сбойных течений и минимума суммарных нагрузок, действующих на его элементы.

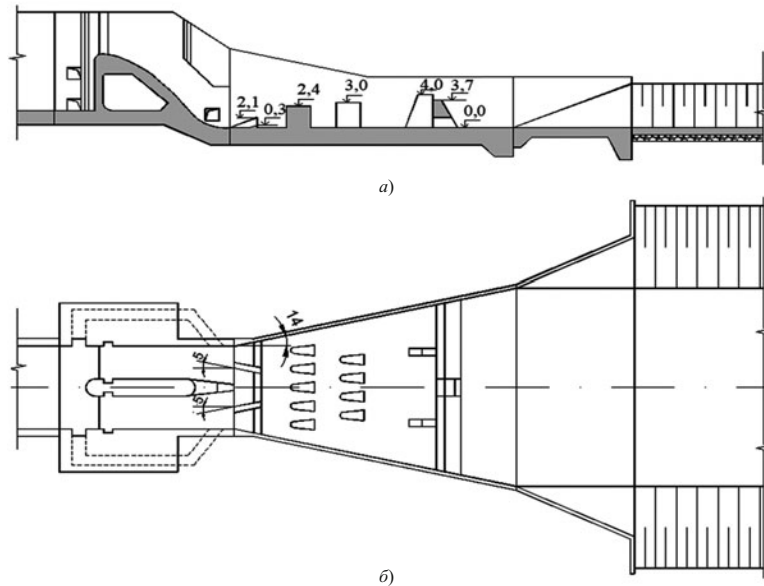


Рис. 5. Принципиальная схема разработанных устройств нижнего бьефа Подольского гидроузла: а — продольный разрез по оси сооружения; б — план

Результаты. Исследования проводились сначала на неразрываемой модели проектного варианта. Однако уже предварительные гидравлические исследования показали, что при любом варианте маневрирования затворами нижний бьеф запроектированного сооружения работает неудовлетворительно [6, 10, 11]. Так при пропуске максимального расхода через оба полностью открытых пролёта плановое распределение скоростей в расширяющемся водобойном колодце и в отводящем канале носило ярко выраженный несимметричный характер. Средние и придонные скорости в створах, расположенных в начале колодца, оказались у бортов в 1,4...1,6 раза большими, чем на оси сооружения. В конце колодца эта неравномерность увеличивалась в 2,5 раза. Весьма неравномерно было распределение скоростей в зоне рисбермы и отводящего канала. При пропуске расхода $175 \text{ м}^3/\text{с}$ через один пролёт водосброса существенная неравномерность распределения скоростей наблюдалась как в колодце (у левого борта скорости в 1,6...1,7 раза больше, чем у правого), так и в отводящем канале. Движе-

ние потока в отводящем канале в этом случае сопровождалось также возникновением сбойности.

Поиск мероприятий по исправлению картины растекания потока при сохранении общей конструкции нижнего бьефа не дал приемлемого решения для проектного варианта. Основной причиной, по-видимому, было то, что в рассматриваемых условиях возникли непреодолимые сложности для гашения избыточной энергии потока при его истечении из относительно узких пролётов в водобойный колодец с незначительным плановым расширением. Одновременно с этим по условиям производства работ в районе строительства гидроузла возникли трудности с водоотливом и необходимостью уменьшения высоты подпорных стенок береговых устоев и водобойного колодца, что вкуче потребовало перехода к конструкции с горизонтальным водобоем и гасителями.

Для решения поставленной задачи было необходимо найти эффективную систему расположения и конструктивного оформления гасителей энергии. Наиболее оптимальным решением в данном случае и стала конструкция крепления нижнего бьефа, изображённая на рис. 5. При такой схеме нижняя часть отдельного бычка немного удлинилась, сужаясь к корме до 1 м с радиусом закругления 0,5 м. Против каждого из пролётов была предусмотрена установка клиновидных сходящихся расщепителей постоянной ширины с максимальной высотой 2,1 м. За расщепителями располагались два ряда треугольных растекателей, установленных в шахматном порядке, в первом ряду — 4 растекателя высотой 3 м.

Наиболее тщательно подбирались высота и местоположение водобойной стенки за треугольными

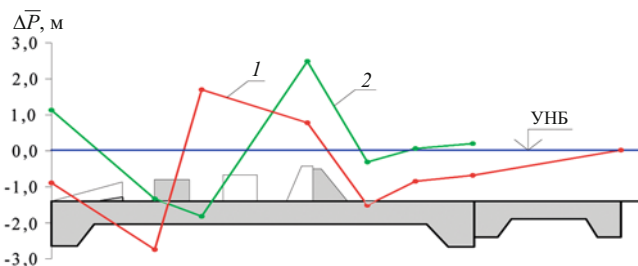


Рис. 6. Эпюры перепадов давления (по оси сооружения) при разных режимах работы водосброса: 1 — при 2-х работающих пролётах, $Q = 350 \text{ м}^3/\text{с}$; 2 — при одном работающем пролёте, $Q = 175 \text{ м}^3/\text{с}$; УНБ — уровень нижнего бьефа

растекателями. Было установлено, что оптимальной со всех точек зрения является водобойная стенка высотой 3,7 м, расположенная на расстоянии 22,4 м от начала водобоя. Центральный угол боковых стенок расширяющегося водобоя был принят 28° , а за водобойной стенкой — 60° . Водобойная стенка была снабжена двумя бычками-контрфорсами высотой 4 м, служащими для ликвидации вихревых течений, направленных вдоль водобойной стенки.

Исследования предложенной конструкции крепления нижнего бьефа показали, что растекание потока в плане при всех режимах работы водосброса стало вполне приемлемым: откосные участки отводящего канала работали при относительно невысоких скоростях; эпюры скоростей в плане на сходе с водобоя стали близки к эпюрам движения потока при равномерном режиме течения. Одна из главных особенностей предложенной конструкции — это отсутствие сбойных течений при несимметричном сбросе расхода. Режим работы одним пролётом отличается лишь незначительной неравномерностью распределения скоростей. Устройство водобойной стенки высотой 3,7 м привело к появлению 2-метрового перепада уровня над ней. Вслед за стенкой образовался донный гидравлический прыжок, а из-за некоторого увеличения в этом месте придонных скоростей потребовалось утолщение плит рисбермы и устройство в её конце бетонного зуба с отметкой подошвы не выше 122 м, заглубленного ниже отметки максимального возможного размыва дна. В соответствии с проведённым прогнозом кавитация на гасителях и дне водобоя не ожидается. На участке длиной не менее 40 м от конца бетонного крепления рекомендовано закрепить откосы камнем: на начальном участке со средним диаметром $d_{cp} = 0,3$ м, а в конце крепления $d_{cp} = 0,15 \dots 0,2$ м. Толщина каменного крепления должна быть $\geq 4d_{cp}$ и заканчиваться зубом глубиной ≥ 1 м.

Исследования распределения гидродинамических нагрузок на поверхность крепления показали, что осреднённое давление вдоль крепления изменяется наиболее резко в том случае, когда все пролёты сооружения открыты полностью. За первым рядом растекателей величина осреднённого давления P_i падает до 2,8 м.в.ст. Ниже первого ряда гасителей давление несколько повышается, достигая максимальных значений перед вторым рядом растекателей. За водобойной стенкой во всех створах наблюдается область пониженного давления. В конце расходящегося в плане участка крепления давление потока на дно постепенно увеличивается, и в зоне рисбермы оно соответствует уровню нижнего бьефа. Вследствие пульсаций давления и аэрации в зоне плиты водобоя создаётся дефицит давления P_i , равный разнице между осреднённым давлением

под плитой и осреднённым давлением потока на плиту сверху. Так как крепление не дренировано, то с некоторым запасом, можно считать, что в подплитном фильтре устанавливается пьезометрическое давление соответствующее уровню нижнего бьефа:

$$\Delta P_i = h_{2\gamma} - P_i, \quad (1)$$

где h_2 — глубина воды в нижнем бьефе; γ — объёмный вес воды.

Наибольшие дефициты давления наблюдались во время гидравлических исследований данной конструкции в случае пропуска расчётного расхода двумя пролётами — в зоне клиновидных расщепителей [12]. При работе же сооружения в режиме маневрирования затворами, в частности, при открытом одном пролёте — за первым рядом растекателей (рис. 6). Таким образом, в последнем случае водобой испытывал самое большое пригружающее давление потока.

Другими словами, при пропуске расчётного расхода $350 \text{ м}^3/\text{с}$ двумя пролётами одновременно водобойная плита работает в наиболее тяжёлых условиях. Исследования пульсации на поверхности водобоя показали (рис. 7), что динамические нагрузки на плиты водобоя и рисбермы можно довольно корректно оценить по аналогии с нагрузками под прыжком в двухмерном потоке [13, 14]. Наибольшие значения пульсационных нагрузок P^1 наблюдались, как и осреднённых, при пропуске $Q = 350 \text{ м}^3/\text{с}$ всем фронтом сооружения. Поэтому данный режим и был принят в качестве расчётного.

Для квазистатического расчёта водобой условно был разбит на два участка: до и после водобойной стенки. Максимальная удельная пульсационная нагрузка на плиты, соответствующая вырывающей силе и опрокидывающему моменту, определялась по формулам:

$$P^1_{\max} = P^1 K_O K_A, \quad (2)$$

$$P^1_{M \max} = P^1 K_{OM} K_A, \quad (3)$$

где P^1 — стандарт пульсации давления, средний по длине плиты; K_O , K_{OM} — коэффициенты осреднения, учитывающие одновременность воздействия по длине плиты; $K_A = 4$ — коэффициент перехода от стандарта нагрузки к максимальным значениям. Так как на плитах крепления нет дренажных отверстий, то пульсация давления под плитами в расчёте не учитывалась, а при оценке толщин плит в формулу включался коэффициент динамичности $K_d = 1,1$ [15 – 17]. Для построения экстремального квазистатического загружения в качестве расчётно-

го было принято загрузке при нахождении максимального повышения давления за гасителями первого ряда и водобойной стенкой (рис. 8).

Выполненная на основе полученных во время лабораторного проектирования данных оценка устойчивости плиты водобоя показала, что устойчивость будет обеспечена при толщине плит не менее 2 м. Аналогичная проверка для плит рисбермы позволила установить, что они будут устойчивы при толщине не менее 1,5 м. При проведении расчётов толщины плит определялись в основном наибольшим опрокидывающим моментом относительно низового ребра плиты $M_{O \text{ опр}}$:

$$h_{\text{п}} = \frac{M_{O \text{ опр}}}{M_{O \text{ уд}}} K_3 K_d, \quad (4)$$

где коэффициент запаса $K_3 = 1 \dots 1,2$. Но из-за отсутствия необходимости производить проверку грунтов основания на динамическую устойчивость его можно увеличить до 1,3...1,5 [6, 18, 19].

При вычислении осреднённых нагрузок учитывалась разница в отметках верхней и нижней граней плиты и связанная с этой разницей Архимедова сила. Горизонтальная составляющая гидродинамического давления вычислялась по формуле:

$$\overline{P_{\Gamma_i}} = \gamma c \omega V_{\text{наб}}^2, \quad (5)$$

где c — коэффициент динамического сопротивления; ω — площадь поперечного (миделевого) сечения гасителя; $V_{\text{наб}}$ — скорость набегания потока на гаситель, определяемая экспериментальным путём; $g = 9,81 \text{ м}^2/\text{с}$. В соответствии с данными [9] в расчёте для условий Подольского гидроузла были приняты значения коэффициентов c : для треугольных шашек 0,65; для водобойной стенки 1,0.

Проверка устойчивости водобоя на сдвиг вод воздействием горизонтальных сил по поверхности подстилающего грунта была выполнена по известным обобщённым зависимостям $K \geq [K]$, где допустимый (нормативный) коэффициент запаса $[K] = \gamma_n \gamma_{1c}$, являющийся критерием надёжности и устойчивости, γ_n — коэффициент надёжности по ответственности, равный для ГТС II класса 1,2, γ_{1c} — коэффициент сочетания нагрузок, равный 1 для основного сочетания [15, 16]. С учётом коэффициента трения бетона по щебню фильтра $f = 0,8$ коэффициент устойчивости плиты водобоя на сдвиг составил:

$$K_{\text{сдв}} = \frac{fW_{\text{уд}}}{W_{\text{сд}}} = 1,43, \quad (6)$$

на всплытие $K_{\text{сдв}} = fW_{\text{уд}}/W_{\text{всп}}$, соответственно для водобоя — 2,79, рисбермы — 2,69.

Таким образом, поскольку значения коэффициентов устойчивости превышают нормативные, то устойчивость элементов крепления нижнего бьефа при назначенных толщинах плит (2 м водобой и 1,5 рисберма) при нормальной эксплуатации будет обеспечена. Однако при проектировании в случае реновации гидроузла и выполнении водобоя доковой конструкции целесообразно выполнить поверочный расчёт по оценке условий пространственной устойчивости всего блока в целом и уточнить с учётом рационального армирования толщины элементов крепления нижнего бьефа ГТС. При этом нагрузки от поверхностного потока можно учитывать по приведённым выше рекомендациям.

Выводы

Ввиду недостатка курортных мест в Подмосковье и Москве, расположения крупных водохранилищ в основном на севере, западе и востоке губернии, относительной недоступности в настоящее время иностранных купальных зон рекреации и перегруженности отечественных пляжей, а также для удовлетворения растущих потребностей региона в питьевой и технической воде и значительного роста числа жителей на трансграничной территории, а соответственно и рекреационной нагрузки на эту ландшафтную территорию, представляется целесообразным вернуться к рассмотрению продолжения строительства или возведению нового рекреационного гидроузла на юге Московской области. При этом стоит учитывать экологическую значимость гидроузла, являющегося составной частью системы регулирования рек ближайшего Подмосковья, что приведёт к улучшению экологической ситуации в бассейнах р. Пахра и Моча при их ревитализации. Несомненно, это будет способствовать развитию организованного отечественного туризма, что тоже сегодня очень актуально и соответствует требованиям основных национальных проектов РФ: “Жильё и городская среда”, “Экология” и др.

Запроектированный, исследованный и частично построенный водослив плотины Подольского гидроузла с отметкой гребня 137 м обеспечит пропуск максимального расчётного расхода $350 \text{ м}^3/\text{с}$ при форсированном уровне верхнего бьефа 144,3 м. Рекомендовано на подходе к водосливу со стороны верхнего бьефа устроить направляющие стенки длиной 10...15 м с закруглёнными оголовками и высотой выше уровня воды. При реанимировании проекта после консервации и продолжении строительства необходимо учесть предложенные в результате модельных исследований конструктивные изменения в нижнем бьефе гидроузла для обеспе-

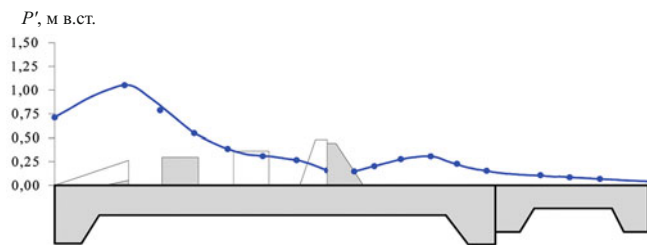


Рис. 7. Распределение стандарта пульсации давления P^1 вдоль водобоя при двух работающих пролётах водосброса. $Q = 350 \text{ м}^3/\text{с}$

чения необходимого гашения избыточной энергии потока и бесбойного растекания его в плане (удлинение и утолщение раздельного бычка, установка 4-х рядов гасителей, изменение угла раструбности, зуб в конце крепления, который заводится на откосы и пр.). При дальнейшей эксплуатации следует так же учитывать нежелательность работы боковых водовыпусков во время сброса максимального расхода из-за резкого ухудшения гидравлического режима на водобое, и как следствие, в отводящем канале.

Соблюдение этических норм

Конфликт интересов: от имени всех авторов автор-корреспондент заявляет, что конфликта интересов нет.

Финансирование: исследование, приведшее к этим результатам, получило финансирование от Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках грантового соглашения по договору № 23-29-00928 от 13 января 2023 г. “Совершенствование методов инженерно-мелиоративного обустройства малых водных объектов АПК”.

Финансовые интересы: авторы заявляют, что у них нет финансовых интересов.

Нефинансовые интересы: отсутствуют.

Вклад авторов: участие всех авторов в равных долях. Авторы не имеют финансовых или имущественных интересов в отношении каких-либо материалов, обсуждаемых в этой статье.

Список литературы

1. Черных О. Н., Сабитов М. А., Бурлаченко А. В. Специфика реконструкции бесхозяйных плотин // *Природообустройство*. 2017. № 2, с. 12 – 20.
2. Алтунин В. И., Аграновский А. М., Черных О. Н., Алтунина А. В. Техническое состояние гидроузлов и водопропускных переходов подмосковных рыбодоводных хозяйств // *Вопросы мелиорации*. 2008. № 1 – 2. С. 69 – 80.
3. Черных О. Н., Бурлаченко А. В. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой плотиной. — М.: ФГБОУВО РГАУ-МСХА, 2022. — 172 с.
4. Черных О. Н., Волков В. И. Проведение обследований при оценке безопасности гидротехнических сооружений. — М.: ФГБНУ Росинформротех, 2017. — 180 с.
5. Черных О. Н., Бурлаченко А. В. К вопросу оценки условий эксплуатации и локализации аварийной ситуации на прудах подмосковных рыбхозов // *Сборник статей IV Международного научно-исследовательского конкурса*. — Петрозаводск: МЦНП “Новая наука”, 2023. С. 74 – 80.
6. Кавешников Н. Т., Китов Е. И., Черных О. Н. и др.; под ред. Розанова Н. П. Устройства нижнего бьефа водосбросов. — М.: Колос, 1984. — 269 с.
7. Altunin V. I., Chernikh O. N., Burlachenko A. V. Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // *Power Technology and engineering*. November 2016. Vol. 50. Iss. 4. Pp. 385 – 390.
8. Chernykh O. N. Rational types and designs of tall water arrangements in open spillway tunnels and enlvert type spillways. XIII Congress international commission on large dams, India, 1979. Co-authors: Rozanov N. P., Rumiantsev T. S., Kaveshnikov N. T. and so.
9. Chernykh O. N., Komelkov L. V. Hydrodynamic loads and stability of the lower-pool apron of hydraulic structures // *Hydro-technical Construction*, 1983. Vol. 17(8). Pp. 410 – 416.
10. Черных О. Н., Бурлаченко А. В. Экспериментальные и имитационные методы исследования режимов сопряжения потока в нижнем бьефе природоохранных водосбросных и сопрягающих сооружений АПК // *Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования*. 2021. № 21. С. 72 – 80.
11. Suetina T. A., Chernykh O. N., Burlachenko A. V. Decrease in ecological damage of water throughput tubular transitions on spawning / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1159, International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control (DS ART 2020) 14th-16th December 2020, Moscow, Russia, Accepted papers received: 04 June 2021.
12. Khidirov S., Artikbekova F., Azimov A., Yulchiev D. Hydrodynamic characteristics of water flow in area of lower pool junction of spillway structures // *AIP Conference Proceedings* 2612, 020029 (2023); doi: 10.1051 / e3sconf / 202336503037
13. Лятхер В. М., Черных О. Н. Оценка устойчивости креплений нижнего бьефа водосбросных сооружений // *Гидротехника и мелиорация*. № 2. 1980. С. 25 – 30.
14. Лятхер В. М. Турбулентность в гидросооружениях. — М: Энергия, 1968. — 297 с.
15. *Гидравлические расчёты водосбросных гидротехнических сооружений: справочное пособие* / Лаппо Д. Д. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 624 с.
16. Черных О. Н. К расчёту железобетонного крепления в нижнем бьефе трубчатых водопропускных сооружений. *Труды МГМИ*. Т. 58. — М.: 1978. С. 167 – 180.
17. Черных О. Н. Пространственно-временные корреляции и функции спектральной плотности пульсации давления на плитах крепления нижнего бьефа трубчатых сооружений // *Сборник научных трудов. Гидротехнические сооружения, основания и фундаменты, инженерные конструкции*. — М.: МГМИ, 1982. С. 158 – 167.
18. Burlachenko A. V., Chernykh O. N., Brakeni Abderrezak Hydrodynamic effect on the elements of deep cushion pools. *Larhyss Journal*, ISSN 1112 – 3680. № 50, June 2022. Pp. 109 – 123. 2022. All rights reserved, Legal Deposit 1266 – 2002.
19. Burlachenko A. V., Chernykh O. N., Khanov N. V., Bazarov D. R. Damping of Increased Turbulence Beyond a Deep and Relatively Short Spillway Basin. Cite as: *AIP Conference Proceedings* 2612, 020029 (2023); doi: 10.1063 / 5.0116112 Published Online: 15 March 2023.