

Оригинальная статья

УДК 626.8:69.05:631.6

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-59-66



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЗОК НА ЭЛЕМЕНТЫ КРЕПЛЕНИЯ ЗА ВОДОСБРОСАМИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ АПК

Черных Ольга Николаевна¹✉, канд. техн. наук, доцент;

WoSResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID: 0000-0003-2905-446X; SPIN-код: 7757-7969;
AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Бурлаченко Алёна Владимировна², канд. техн. наук, доцент;

WoSResearcherID: HPE-1499-2023; Scopus AuthorID: 57191856023; ORCID: 0000-0003-2617-9515, SPIN-код: 3155-2490;
AuthorID: 1098780; chtara@mail.ru

Бурлаченко Ярослав Юрьевич¹, соискатель;

yaroslav.burlachenko@sneak-mail.ru

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64, Россия

Аннотация. На водных объектах АПК широко применяются малоочковые трубчатые водопропускные сооружения, выходной оголовок которых выполнен в виде расширяющегося раструба с гасителями энергии шашечного типа. Только в Московской области такие сооружения, построенные в основном в 60-70-е гг. прошлого столетия, составляют 76% от общего количества сооружений водных систем. Состояние от 70 до 85% из них в зависимости от региона является неудовлетворительным: разрушены гасители, облицовка водобоя и рисбермы; наблюдаются чрезмерные размывы и зарастание отводящего канала. В работе излагаются результаты гидродинамических исследований осредненного и пульсационного давления на элементах крепления нижнего бьефа и в начале отводящего канала. На основании анализа характера распределения давления потока для расчета квазистатического нагружения, прогнозирования суммарной нагрузки на элементы крепления и выбора их оптимальных параметров оценено влияние величины затопления гидравлического прыжка и энергетического параметра на пульсационную составляющую давления потока и ее частотные характеристики применительно к низконапорным мелиоративным и рыбохозяйственным трубчатым водосбросам, а также дорожным водопропускным сооружениям.

Ключевые слова: плиты крепления, трубчатые сооружения, стандартпульсации давления, гасители энергии, средненные нагрузки

Формат цитирования: Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. Экспериментальные и аналитические исследования нагрузок на элементы крепления за водосбросами водных объектов АПК // Природообустройство. 2023. № 4. С. 59-66. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-59-66.

© Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю., 2023

Original article

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL STUDIES OF LOADS ON FASTENING ELEMENTS FOR SPILLWAYS OF WATER BODIES OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Chernykh Olga Nikolaevna¹✉, doctor of technical sciences, professor

WoSResearcherID: S-2542-2018; Scopus AuthorID: 57213261727; ORCID: 0000-0003-2905-446X; SPIN-код: 7757-7969;
AuthorID: 692667; chernih@rgau-msha.ru

Burlachenko Alyona Vladimirovna², candidate of technical sciences, associate professor;

WoSResearcher ID: HPE-1499-2023; Scopus Author ID: 57191856023; ORCID: 0000-0003-2617-9515, SPIN-код: 3155-2490;
Author ID: 1098780; chtara@mail.ru

Burlachenko Yaroslav Yurievich¹, applicant;

yaroslav.burlachenko@sneak-mail.ru

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskayast., 49, Russia

²Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 125319, Moscow, Leningradsky prospect, 64, Russia

Annotation. On the water objects of the agro-industrial complex, low-pointed tubular culverts are widely used, the outlet head of which is made in the form of an expanding socket with checker-type energy absorbers. Only in the Moscow region such structures, built mainly in the 60-70s of the last century, account for 76% of the total number of water system structures. The condition of 70% to 85% of them, depending on the region, is unsatisfactory: extinguishers, dam lining and apron are destroyed; excessive erosion and overgrowth of the discharge channel are observed. The results of hydrodynamic studies of the averaged and pulsating pressure on the downstream attachment elements and at the beginning of the discharge channel are presented. Based on the analysis of the nature of the flow pressure distribution for calculating quasi-static loading, predicting the total load on the fastening elements and choosing their optimal parameters, the influence of the flooding value of the hydraulic jump and the energy parameter on the pulsating component of the flow pressure and its frequency characteristics in relation to low-pressure reclamation and fishery tubular spillways, as well as road culverts.

Keywords: fastening plates, tubular structures, pressure pulsation standard, energy absorbers, averaged loads

Format of citation: Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Y.Y. Experimental and analytical studies of loads on fastening elements for spillways of water bodies of the agro-industrial complex // Prirodoobustroystvo. 2023. No 4. P 59-66. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-4-59-66.

Введение. Нижний бьеф трубчатых водопропускных сооружений часто выполняется в виде расширяющегося раструба (величина центрального угла раструбности θ – от 30 до 60°), на дне которого устанавливаются гасители энергии шапечного типа. Анализ проектных решений одно-, двух- и трехочковых трубчатых сооружений, построенных и обследованных на низконапорных гидроузлах в Московской области (МО) и в других регионах АПК выполнен сотрудниками кафедры гидротехнических сооружений (ГТС) Московского гидромелиоративного института, а затем Института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева с 1973-2022 гг.). Проведенный анализ показал, что эти сооружения, эксплуатируемые больше 60 лет, находились во время натурных обследований в основном в неудовлетворительном состоянии (от 70 до 85% в разных районах МО). Малая доля их пока функционирует, но аварийная ситуация может произойти в любой момент [1-4].

Обычно при расчете элементов крепления нижнего бьефа низконапорных трубчатых сооружений используются методы, разработанные для массивных креплений высоконапорных ГТС. Это приводит в одних случаях к существенному завышению запаса устойчивости плит крепления, особенно сборных, к потере устойчивости гасителей энергии на водобое или к деформации не только

рисбермы, но и отводящего участка канала за гидроузлом (рис. 1) [3, 5].

Материалы и методы исследований.

Для выбора оптимальных параметров бетонного крепления, оценки его устойчивости и прочности необходимо знать распределение по площади элементов крепления суммарных (осредненных и пульсационных) нагрузок. За ГТС рассматриваемого типа определение пульсаций составляющей нагрузки можно сделать лишь экспериментально. В гидравлической лаборатории кафедры ГТС, помимо натурных обследований ГТС водохозяйственных систем, на протяжении ряда лет проводились гидродинамические исследования малопроектных и малоочковых, соответственно открытых и закрытых водопропускных сооружений [6-11], – в частности, модели трехочкового трубчатого водосброса/водовыпуска, выполненного в масштабе 1:15. На расширяющемся (угол θ изменялся в интервале 30...45°) выходном оголовке мелиоративного ГТС устанавливались инновационные и типовые конструкции гасителей энергии потока, обеспечивающие бесбойное сопряжение бьефов при разных схемах маневрирования затворами водопропускного тракта (рис. 2).

Условия экспериментов: числа Рейнольдса $(20...75)10^3$; напор в верхнем бьефе $(1...5) h_1$; глубина в отводящем канале $h_2 = (0,5...2,4) h_1$; энергия потока в выходном сечении труб $\mathcal{E}_1 = (h_1 + V_1^2/2g) = (1,5...4,5) h_1$, – где h_1



Рис. 1. Разрушение крепления нижнего бьефа водопропускных ГТС АПК, возведённых по типовым проектам (фото авторов):

а – оползень в зоне рисбермы водосброса пруда на р. Незнайке у д. Волохово в Серпуховском районе МО, 2021 г.;

б – отводящего канала на р. Средний Цивиль в Чувашии перед капремонтом, 2012 г.;

в – деформация крепления и зарастание отводящего канала Птицегоградского пруда на р. Торгоше Сергиево-Посадского района МО, 2005 г.;

г – канал за трубой-переездом автомагистрали Дон в районе пруда № 6 рыбхоза Белеутово в Ленинском районе МО, 2022 г.

Fig. 1. Destruction of the fastening of the downstream of the culverts of the agro-industrial complex, erected according to standard designs (photo by the authors):

a – landslide in the apron area of the pond spillway on the Neznaika River near the village of Volokhovo in the Serpukhov District of the Moscow Region, 2021;

b – diversion canal on the SrednyTsivil River in Chuvashia before the overhaul, 2012;

v – deformation of fastening and overgrowth of the outlet canal of the Ptitsegradsky pond on the Torgosh River of the SergievPosad district of the Moscow Region, 2005;

g – a canal behind the pipe-crossing of the Don highway in the area of pond No. 6 of the Beleutovo fish farm in the Leninsky district of the Moscow Region, 2022

и V_1 – глубина и осредненная скорость потока на выходе из трубы, g – ускорение силы тяжести.

Для проведения гидродинамических исследований в нижнем бьефе на расширяющемся водобое за треугольными растекателями, шашками и на рисберме были установлены пьезометры и точечные индуктивные датчики пульсации давления с диаметром мембраны 6 мм и собственной частотой колебаний в воде 2 кГц (всего около 80 шт.). Суммарная нагрузка и опрокидывающие моменты, действующие на плиты крепления, фиксировались площадным датчиком, приемная пластина которого соответствовала размерам исследуемых плит, представляющим собой съемную площадку, соответствующую в натуре плитам размерами 1,5 × 3 м и 1 × 1,5 м. Конструкция

трехкомпонентной плиты-датчика позволяла одновременно замерять вертикальную нагрузку и моменты от продольных и поперечных сил [12, 13]. Собственная частота колебания датчика в воде для гасителя первого ряда составляла примерно 40 Гц, второго ряда – 60 Гц, на воздухе – соответственно 70 и 90 Гц. По записям пульсации давления в точках водобоя и рисбермы вычислялись максимальные размахи пульсации давления ($2A_{max}$), а затем – стандарты P^l в предположении нормального закона распределения.

Исследования нагрузок на элементы водобоя и рисбермы выполнялись при постоянном расходе Q , изменяющемся на модели от 7 до 63 л/с, что соответствовало энергетическому параметру \mathcal{E}_l для трех режимов сопряжения в нижнем бьефе: донном, поверхностном и переходном. При этом коэффициент подтопления трубы со стороны нижнего бьефа $\epsilon_n = (h_1 - p) / h_2$, где p – перепад (разность отметок низа трубы в выходном сечении и дна отводящего

канала) для данной конструктивной схемы гасителей – был равен 0. Относительная удельная энергия потока диаметром d , выходящего из трубы, составляла $\mathcal{E}_l/d = 1,5...4,5$. Принималось 5...7 значений расхода в интервале, охватывающем возможность безнапорной и напорной работы трубчатого водосброса или малого транспортно-перехода [14-16]. Определение гидродинамических нагрузок производилось при работе сооружения как всем фронтом, так и в режиме несимметричного открытия затворов.

Результаты и их обсуждение. Осредненное давление на плиты крепления сверху для каждого из гидравлических режимов определялось высотой пьезометрической линии над отметкой дна. На водобое наблюдалось характерное

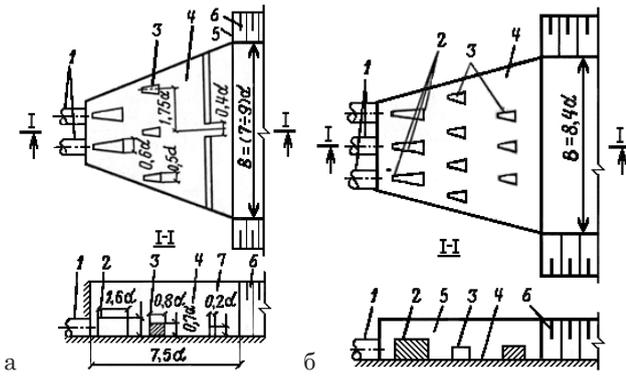


Рис. 2. Выходной оголовок двух- (а) и трехточкового (б) трубчатого водопропускного сооружений с исследованными гасителями: 1 – трубы; 2 – треугольные растекатели первого ряда; 3 – треугольные шашки; 4 – дно раструбы; 5 – раструбная стенка; 6 – отводящий канал

Fig. 2. The outlet head of a two- (a) and three-point (b) tubular culvert with the studied dampers: 1 – pipes; 2 – triangular spreaders of the first row; 3 – triangular checkers; 4 – the bottom of the socket; 5 – socket wall; 6 – discharge channel

чередование пиков и впадин – соответственно перед и за каждым из гасителей. Наибольшие изменения осредненного давления наблюдаются на водобое за гасителями энергии первого ряда (рис. 3а), значительно превышая давления нижнего бьефа, достигая при обтекании треугольного растекателя до $\bar{P}_i = (0,5...2,0) \gamma h_2$. Наибольший относительный дефицит давления $\beta = \Delta \bar{P}_i / \gamma V_1^2 / 2g$ возникает за первым до ($\beta = 0,4$) и за последним (до $\beta = 0,28$) рядом шашек.

Отсутствие гасителей в раструбе не только вносит существенное изменение в параметры перехода одной формы сопряжения в другую, но и значительно влияет на картину распределения осредненного давления по площади крепления (рис. 3б). Воздействию максимума дефицита давления подвергается область непосредственно за выходным сечением труб, в месте сжатого сечения $\beta = 0,5$, причём наибольшие значения β соответствуют минимальной степени затопления прыжка, а при увеличении ϵ_n т 1 до 2 они уменьшаются примерно в 3 раза, что отмечалось и Н.Н. Беляшевским для гладкого водобоя водосливных плотин [16, 17]. При гладком водобое устойчивость плит крепления снижается примерно на 40%. Перепад давления $\Delta \bar{P}_i = (P_i - \gamma h_2)$ стремится к нулю при $l \approx 16d$. Изменение угла раструбности $\theta = 30...46^\circ$ не влияет на характер продольных и поперечных диаграмм распределения осредненного давления в раструбе и за ним.

С учетом всего вышесказанного разработаны универсальные схемы статического нагружения вертикальной осредненной нагрузкой

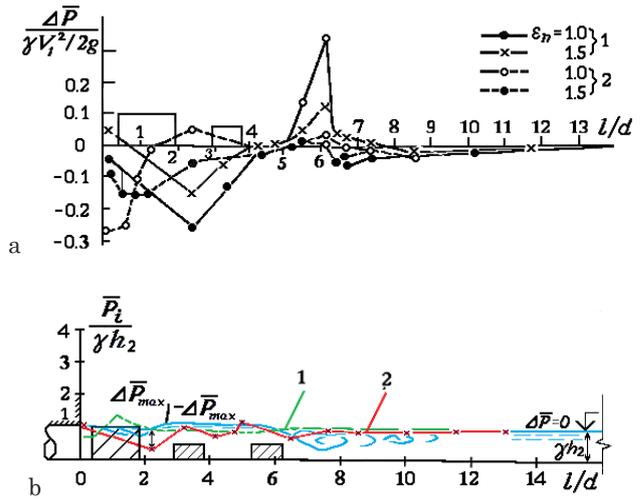


Рис. 3. Распределение осредненных давлений потока по поверхности водобоя и рисбермы при установке треугольных растекателей за двух- (а) и трехточковым трубчатым водосбросом (б): $\mathcal{E}_l/h_l = 2,5$ и $\epsilon_n = 1,0...1,5$ в створах: 1 – по оси труб; 2 – по оси сооружения

Fig. 3. Distribution of the average flow pressures on the surface of the cullet and apron when installing triangular spreaders behind a two- (a) and three-point tubular spillway (b): $\mathcal{E}_l/h_l = 2.5$ and $\epsilon_n = 1.0 \dots 1.5$, in the sections: 1 – along the axis of the pipes; 2 – along the axis of the structure

от поверхностного потока в основных створах излома эпюр, где численное значение перепадов давления определяется по номограммам

$$\pm \Delta \bar{P}_i / \gamma V_1^2 / 2g = f(\mathcal{E}_l/h_l; \epsilon_n).$$

При отсутствии гасителей энергии характер распределения интенсивности пульсации давления на дне водобоя идентичен данным об изменении стандарта пульсации давления в плоских условиях, полученных исследователями О.Ф. Васильевым, В.М. Лятхером, А.А. Ивойловым, Г.А. Юдицким и др. [15-17, 19]. Однако наличие значительного расширения потока ($\theta = 46^\circ$), усложняющего его кинематическую и турбулентную структуру по сравнению с плоскими условиями, приводит к повышению гидродинамического давления как на водобойном участке (на 40%), так и на рисберме (на 60%). В конце рисбермы, где поток близок к равномерному, стандарт пульсации составляет около $0,01 \gamma V_1^2 / 2g$ [17, 19]. Максимальные значения стандарта пульсации P^l наблюдаются вблизи от границ областей отрыва за растекателями (рис. 4). При изменении параметра \mathcal{E}_l/h_l от 1,5 до 4,5 они составляют $(0,075...0,1) \rho V_1^2 / 2$, где $\rho = \gamma / g$ – плотность воды; γ – объемный вес воды.

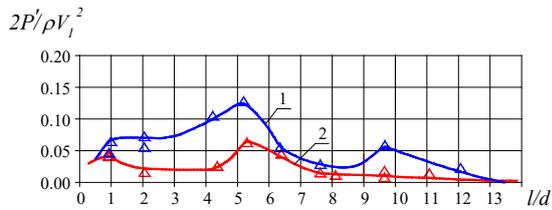


Рис. 4. Распределение относительных стандартов пульсации давления $2P^l/\rho V_1^2$ при работе двухточкового сооружения при $\mathcal{D}_l/h_1=4,5$ и $\varepsilon_n=1,0$:
1 – одной трубой; 2 – всеми трубами

Fig. 4. Distribution of relative standards for pressure pulsation $2P^l/\rho V_1^2$ during the operation of a two-point structure at $\mathcal{D}_l/h_1=4.5$ and $\varepsilon_n=1.0$:
1 – with one pipe; 2- all pipes

В районе шашечных гасителей величина P^l достигает $0,065(\rho V_1^2/2)$. Здесь же отмечался и максимальный разброс измеренных значений стандартов пульсации в точках, что свидетельствует о сложном локальном влиянии гасителей на пульсацию давления на водобойной плите.

Частотные характеристики колебаний, связанных с влиянием главным образом вертикальных слоев смешения, заметно отличаются от наблюдаемых обычно под плоским прыжком при больших числах Фруда. Преобладающая частота колебаний за гасителями составляет около $0,5 \text{ с}^{-1}$. Она и обеспечивает наибольший вклад в дисперсию колебаний. Спектр колебаний – многокомпонентный. Корреляция между колебаниями давлений в точках резко падает поперек и вдоль потока.

При различных схемах маневрирования затворами водопропускных отверстий смена гидравлических режимов на водобое для сечений с наибольшей интенсивностью гидродинамического воздействия не приводит к существенному изменению картины распределения пульсационного давления потока. Однако с переходом к режиму с несимметричным открытием затворов интенсивность пульсации на водобое возрастает, и затухает она медленнее. За раструбом на рисберме при $h_2 \geq 1,25h_1$ характер течения близок к поверхностному, поэтому стандарты пульсации давления существенно ниже, чем между гасителями на водобое ($P^l = 0,02 \rho V_1^2/2$). В спектрах колебаний появляются низкочастотные компоненты, обусловленные колебаниями свободной поверхности потока. Наиболее энергоемкие пульсации имеют частоту $0,15 \text{ с}^{-1}$. На водобое за гасителями первого ряда поверхностный валец практически отсутствует, а градиенты скорости по глубине изменяются значительно, поэтому здесь сильное влияние оказывают боковые зоны раздела, располагаемые в межтрубных

областях и в примыканиях к вертикальным стенкам раструба. В зонах с максимальными значениями стандарта пульсации давления выделяются преобладающие частоты. Сопоставление с частотой вращения вальца над струей ω_6 по зависимости, предложенной доктором технических наук профессором В.М. Лятхером, при $\varepsilon_n < 1,2$ за гасителями первого ряда показало довольно хорошее совпадение (точность – 4,8%) [15, 18]:

$$\omega_6 \approx 2V/(h_2 - h_1) = (0,8 \dots 0,5) V_l/0,5 L_6, \quad (1)$$

где V – вертикальная составляющая скорости в прыжке; L_6 – длина вальца.

Преобладающие частоты колебаний давления в точках поверхности водобоя за растекателями в области их влияния составляют $0,3 \dots 0,8$ Гц. Датчики, удаленные от границ раздела, регистрируют и более низкочастотные колебания (рис. 5а). Высокая интенсивность пульсации давления при $\varepsilon_n = 1,5$ за гасителями энергии объясняется приближением вихря к дну и наличием высокочувствительной компоненты, вносящей значительный вклад в общую дисперсию колебаний давления в начальных сечениях прыжка. С удалением границы раздела при приближении прыжка ко второму, а потом и к третьему ряду гасителей возрастает роль низкочастотных компонент, за счет которых и формируется дисперсия.

При переходе к поверхностному режиму сопряжения с образованием донного вальца слой смешения от дна удаляется, и появляется низкочастотная компонента в спектре колебаний давления. На рисберме за выходным оголовком спектры точечных пульсаций имеют еще более низкую частоту. Значения преобладающих частот колеблются в пределах $0,1$ Гц. В отводящем канале и на откосах колебание давления происходит в основном за счет волнения поверхности, поэтому на автокорреляционных функциях прослеживается низкочастотная компонента, определяющая форму спектра.

Ба основании анализа спектральных характеристик процессов для построения спектров нагрузок и моментов по спектру давления в отдельных точках дна водного тракта найдены показатели степени функций «осреднения» (рис. 5б).

Таким образом, для водобоя, рисбермы и отводящего канала определен коэффициент перехода от среднеквадратичного значения нагрузки к максимальному отклонению $K_a = 3,94 \dots 4,2$, разработаны графические зависимости коэффициента осреднения для перехода от пульсации давления в точке к пульсационным нагрузкам

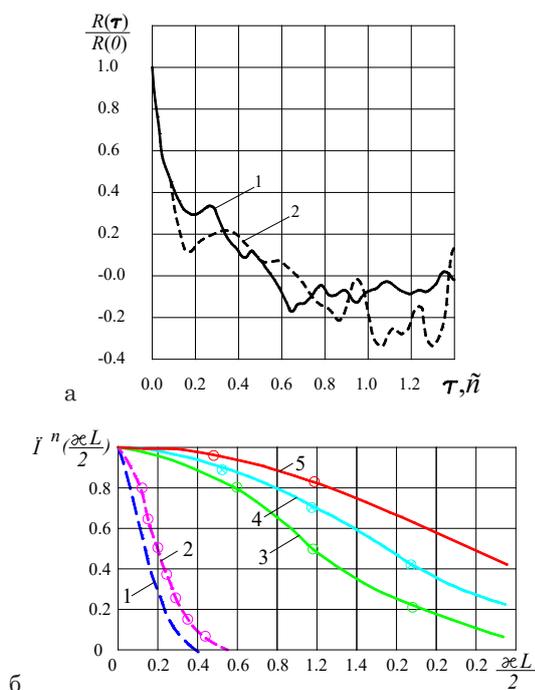


Рис. 5. Графические зависимости, отражающие изменение пульсационной нагрузки на плиты крепления:

а – нормированные автокорреляционные функции на рисберме (1 – по оси сооружения, 2 – по оси крайней трубы);

б – показатели степени функций усреднения для построения спектров нагрузок (1, 3, 4) и моментов (2, 5) от пульсации давления на дне водобоя

Fig. 5. Graphical dependencies reflecting the change in the pulsation load on the fastening plates:

a – normalized autocorrelation functions on the apron (1 – along the axis of the structure; 2 – along the axis of the outer pipe);

b – indicators of the degree of averaging functions for constructing the spectra of loads (1, 3, 4) and moments (2, 5) from the pressure pulsation at the bottom of the cullet

на плиты разных размеров. Коэффициенты усреднения опрокидывающего момента $K_{ам}$ в среднем на 38% превышают значения коэффициента K_o для вертикальной нагрузки. Различие в характере турбулентности приводит к тому, что на водобое значения K_o и $K_{ам}$ являются низкими, и процессы «усреднения» происходят значительно интенсивнее, чем на рисберме [7, 8].

Учитывая вышесказанное, предварительную оценку частот максимума амплитудно-частотного спектра за треугольными растекателями первого ряда можно выполнять при проектировании и расчетах элементов нижнего бьефа по рекомендациям В.М. Лятхера [14, 15].

Для плит крепления, расположенных на рисберме и в отводящем канале, более тяжелым оказывается гидравлический режим,

возникающий при работе сооружения двумя смежными трубами. Максимальные значения стандарта пульсации давления P^l при этом составляют $0,07(\rho V_1^2/2)$.

Для трехочковых сооружений с удалением от раструба величина пульсации давления убывает выше соответствующих значений для одно- и двухочковых трубчатых сооружений в среднем в 1,2...1,8 раза, что связано с неидентичными условиями сопряжения. На откосах отводящего канала пульсации являются незначительными и достигают не более $(0,006...0,002)(\rho V_1^2/2)$.

На основании анализа процессов усреднения пульсации давления в точках для разных участков крепления за мелиоративными малоочковыми трубчатыми сооружениями разработаны комплекты графических зависимостей по определению стандарта удельной вертикальной пульсационной нагрузки P^l_{Σ} и нагрузки, эквивалентной действию опрокидывающего момента $P^l_{\Sigma M}$ при известной относительной энергии потока на выходе из трубы \mathcal{E}_1/h_1 и подтопления ϵ_n [7, 8]. Экспериментально доказано, что при построении квазистатического нагружения плит мгновенной пульсационной нагрузкой для расширяющегося водобоя с треугольными растекателями и гасителями шашечного типа можно вполне корректно использовать продольную и поперечную корреляции, соответствующие пространственной турбулентности, а на рисберме – однородной [7, 14, 18]. При этом скорость сноса возмущений для произведения перехода от частотных к продольным спектрам можно принимать: за треугольными растекателями – примерно 0,7, а в начальных сечениях рисбермы за последним рядом гасителей и соответственно за выходным сечением раструба в отводящем канале – 0,2...0,04 от средней скорости течения потока.

Выводы

Проведенные исследования позволили установить особенности изменения усредненно-го давления и амплитудно-частотных характеристик пульсации давления в отдельных точках крепления нижнего бьефа за малоочковыми трубчатыми водопропускными сооружениями с раструбными выходными оголовками и треугольными гасителями энергии на них. Они широко распространены в Московской области на прудах мелиоративного и рекреационного назначения, играют важную роль как при обустройстве и реновации водных объектов агропромышленного комплекса, так и при строительстве или релининге малых мостовых и трубчатых переходов на автодорогах.

Получены графические зависимости, позволяющие определить осредненные и пульсационные нагрузки, действующие на плиты крепления водобоя и рисбермы нижнего бьефа трубчатых водосбросов. Это является базисом для выбора рациональной конструкции крепления нижнего бьефа и расчета оптимальной толщины его железобетонной части в границах влияния расширяющегося выходного оголовка и в отводящем канале за трехочковым водопропускным сооружением.

Предварительная оценка частот максимума амплитудно-частотного спектра за треугольными растекателями первого ряда может

выполняться при проектировании и расчетах элементов нижнего бьефа по рекомендациям В.М. Лятхера для вальца под струей. Обнаружено, что за раструбом при квазистатическом загрузении плит актуальной пульсационной нагрузкой можно использовать пространственную корреляцию, соответствующую однородной турбулентности. Максимальные значения амплитуды пульсационной нагрузки на плиты любых размеров следует рассчитывать с коэффициентом перехода, для плит водобоя равным не более 4,5, а для плит рисбермы и начальных участков отводящего канала – примерно 3,9.

Работа выполнена за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-29-00928.

The work was supported by the Russian Science Foundation grant no. 23-29-00928, <https://rscf.ru/project/23-29-00928>.

Список использованных источников

1. Черных О.Н., Сабитов М.А., Бурлаченко А.В. Специфика реконструкции бесхозяйных плотин // Природообустройство. 2017. № 2. С. 12-20.
2. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного гидроузла с грунтовой плотиной: учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА, 2022. 172 с.
3. Черных О.Н., Волков В.И. Проведение обследований при оценке безопасности гидротехнических сооружений: учебник. М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2017. 180 с.
4. Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V. Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering. 2016. V. 50, Is. 4. Pp. 385-390.
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. Chernykh O.N., Rozanov N.P., Rumiantsev T.S., Kaveshnikov N.T. Rational types and designs of tall water arrangements in open spillway tunnels and enlvert type spillways /Rozanov N.P., Rumiantsev T.S., Kaveshnikov N.T. and so. // XIII Congress international commission on large dams, India, 1979.
7. Устройства нижнего бьефа водосбросов / Н.П. Розанов, Н.Т. Кавешников, О.Н. Черных и др.; Под ред. проф. Н.П. Розанова. М.: Колос, 1984. 269 с.
8. Chernykh O.N., Komelkov L.V. Hydrodynamic loads and stability of the lower-pool apron of hydraulic structures // Hydrotechnical Construction. 1983. Vol. 17(8). Pp. 410-416.
9. 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. Pp. 72-80.

References

1. Chernykh O.N., Sabitov M.A., Burlachenko A.V. The specifics of the reconstruction of ownerless dams // Prirodoobustrojstvo, 2017, 2, p. 12-20.
2. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Ensuring the safety of hydraulic structures of a meliorative hydroelectric complex with an earth dam. M.: RGAU-MSHA, 2022. 172 p.
3. Chernykh O.N., Volkov V.I. Conducting surveys in assessing the safety of hydraulic structures. M.: FGBNU Rosinformagrotech, 2017. 180 p.
4. Altunin V.I., Chernyh O.N., Burlachenko A.V. Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance // Power Technology and engineering, 2016, V. 50, Issue 4, pp. 385-390.
5. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. On the issue of assessing the operating conditions and localization of an emergency situation on the ponds of fish farms near Moscow // Collection of articles of the IV International Research Competition. Petrozavodsk: MTSNP "New Science", 2023. 475 p. P. 74-80.
6. 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.
7. Kaveshnikov N.T., Rozanov N.P., Chernykh O.N. and other. Devices for the downstream spillway. M.: Kolos, 1984. 269 p.
8. Chernykh O.N., Komelkov L.V. Hydrodynamic loads and stability of the lower-pool apron of hydraulic structures // Hydrotechnical Construction, 1983. Vol. 17(8). Pp. 410-416.
9. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Experimental and simulation methods for studying flow conjugation modes in the downstream of environmental spillway and conjugating structures of the agro-industrial complex // Bulletin of the educational and methodological association for education in the field of environmental management and water use, 2021, No. 21, p. 72-80.
10. Chernykh O.N., Litvinov A.V., Distinguishing features of hydraulic conditions in a deep stilling // Abstracts XX Congress IAHR, v. VII, 1983, p. 97-101.

10. Chernykh O.N., Litvinov A.V. Distinguishing features of hydraulic conditions in a deep stilling // Abstracts XX Congress IAHR. 1983.V, VII. Pp. 97-101.

11. Suetina T.A., Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Koroteev D.D. Hydraulic parameters of culverts from pipes with normal and spiral form of corrugation // Journal of Physics: International Conference on Engineering Systems. Conference Series, 2020.

12. Burlachenko A.V., Chernykh O.N., BrakeniAbderrezak. Hydrodynamic effect on the elements of deep cushion pools // Larhyss Journal. 2022. № 50. Pp. 109-123.

13. Burlachenko A.V., Chernykh O.N., Khanov N.V. and Bazarov D.R. Damping of Increased Turbulence Beyond a Deep and Relatively Short Spillway Basin // Cite as: AIP Conference Proceedings. 2023. 15 March. <https://doi.org/10.1063/5.0116112> Published Online.

14. Лятхер В.М., Черных О.Н. Оценка устойчивости креплений нижнего бьефа водосбросных сооружений // Гидротехника и мелиорация. 1980. № 2. С. 25-30.

15. Лятхер В.М. Турбулентность в гидросооружениях. М.: Энергия, 1968. 297 с.

16. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие / Д.Д. Лаппо. М.: Энергоатомиздат, 1988. 624 с.

17. Черных О.Н. К расчету железобетонного крепления в нижнем бьефе трубчатых водопропускных сооружений // Труды МГМИ. 1978. Т. 58. С. 167-180.

18. Черных О.Н. Пространственно-временные корреляции и функции спектральной плотности пульсации давления на плитах крепления нижнего бьефа трубчатых сооружений // Гидротехнические сооружения, основания и инженерные конструкции: сборник научных трудов. М.: МГМИ, 1982. С. 158-167.

Критерии авторства

Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Бурлаченко Я.Ю. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Вклад авторов

Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Статья поступила в редакцию 05.06.2023

Одобрена после рецензирования 10.06.2023

Принята к публикации 15.06.2023

11. Suetina T.A., Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Koroteev D.D. Hydraulic parameters of culverts from pipes with normal and spiral form of corrugation // International Conference on Engineering Systems 2020. Journal of Physics: Conference Series 1687(2020) 012037.

12. Burlachenko A.V., Chernykh O.N., BrakeniAbderrezak Hydrodynamic effect on the elements of deep cushion pools. Larhyss Journal, ISSN1112-3680, n°50, June 2022, pp. 109-123 © 2022 All rights reserved, Legal Deposit 1266-2002.

13. Burlachenko A.V., Chernykh O.N., Khanov N.V. and Bazarov D.R. Damping of Increased Turbulence Beyond a Deep and Relatively Short Spillway Basin. Cite as: AIP Conference Proceedings 2612, 020029 (2023); <https://doi.org/10.1063/5.0116112>. Published Online: 15 March 2023.

14. Lyakher V.M., Chernykh O.N. Evaluation of the stability of the downstream fastenings of the spillways // Hydraulic engineering and melioration No. 2, 1980. p. 25-30.

15. Lyakher V.M. Turbulence in hydraulic structures. M: Energy, 1968, 297 p.

16. Hydraulic calculations of spillway hydraulic structures: a reference guide / Lappo D.D. M.: Energoatomizdat, 1988. 624 p.

17. Chernykh O.N. To the calculation of reinforced concrete fastening in the downstream of tubular culverts. Proceedings of MGMI, vol. 58. M.: 1978. p. 167-180.

18. Chernykh O.N. Spatial-temporal correlations and functions of the spectral density of pressure pulsations on the plates for fastening the downstream of tubular structures // Collection of scientific papers. Hydraulic structures, bases and foundations, engineering structures. M.: MGMI, 1982. With. 158-167.

Criteria of authorship

Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Y.Y. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which the generalized and wrote the manuscript. Chernykh O.N., Burlachenko A.V., Burlachenko Y.Y. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declares that there are no conflicts of interest

Contribution of authors

All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

The article was submitted to the editorial office 05.06.2023

Approved after reviewing 10.06.2023

Accepted for publication 15.06.2023