

Оригинальная статья

УДК 502/504:532.54:627.838

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-79-85

ОЦЕНКА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОТОКА НА ЭЛЕМЕНТЫ КРЕПЛЕНИЯ НИЖНЕГО БЬЕФА МЕЛИОРАТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ С КОЛОДЦЕМ ЗАГЛУБЛЕННОГО ТИПА

ЧЕРНЫХ ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА^{1✉}, канд. техн. наук, профессор
gtsmgup@mail.ru

БУРЛАЧЕНКО АЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА², канд. техн. наук, доцент
chtara@mail.ru

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

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

Представлены результаты комплексного изучения работы нижнего бьефа трехпролетных водопропускных сооружений мелиоративных систем с достаточно глубоким, но коротким водобойным колодецем при установке на нем дополнительных элементов, воздействующих на поток. Цель исследований – анализ гидравлических и гидродинамических параметров потока для обоснования оптимальных размеров гасителя и доработки его конструкции для получения наибольшего эффекта погашения избыточной энергии потока и улучшения работы нижнего бьефа при равномерном и неравномерном распределении удельных расходов, поступающих в колодец. Дана оценка гидродинамического воздействия потока на отдельных элементах гасителя при числах Фруда в сжатом сечении в пределах 20...120, числах Рейнольдса (5...10)10⁴ и удельных расходах в нижнем бьефе моделей от 0,017 до 0,042 м²/с. Представлены данные сопоставительного анализа уменьшения гидродинамических характеристик потока в зоне работы глубокого водобойного колодца и обычного прыжкового колодца. Полученная картина распределения осредненных и пульсационных составляющих давления на всем участке сопряжения позволила оценить нагрузку на элементы крепления дна колодца и отводящего канала, а также оценить их устойчивость. Рекомендовано водобойный глубокий колодец с прорезной стенкой на дне, уступ и рисберму на длину не менее трех глубин колодца выполнять из монолитного железобетона, а остальную часть укреплять сборными элементами. Разработанные рекомендации по оценке распределения осредненных и пульсационных составляющих давления на всем участке сопряжения, по выбору размеров и конструкции элементов участка крепления нижнего бьефа позволили значительно сократить габариты и уменьшить затраты на устройство участка сопряжения при обеспечении надежности каналов мелиоративных систем и безопасности их водопроводящих гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: водобойный колодец, заглубленного типа, пульсационное воздействие потока, комбинированный гаситель энергии, оптимальные параметры крепления

Формат цитирования: Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Оценка гидродинамического воздействия потока на элементы крепления нижнего бьефа мелиоративных сооружений с колодецем заглубленного типа // Природообустройство. – 2022. – № 2. – С. 79-85. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-79-85.

© Черных О.Н., Бурлаченко А.В., 2022

Original article

ASSESSMENT OF THE HYDRODYNAMIC EFFECT OF THE FLOW ON THE FASTENING ELEMENTS OF THE DOWNSTREAM OF THE RECLAMATION FACILITIES WITH A DEEP-TYPE WELL

CHERNYH OLGA NIKOLAEVNA^{1✉}, candidate of technical sciences, professor
gtsmgup@mail.ru

BURLACHENKO ALENA VLADIMIROVNA², candidate of technical sciences, associate professor
chtara@mail.ru

¹ Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49, Russia

² Moscow automobile-road state technical university (MADI); 125319, Moscow, Leningradsky prospect, 64, Russia

The results of a comprehensive study of the operation of the downstream of three-span culverts of reclamation systems with a sufficiently deep but short stilling well when additional elements are installed on it that affect the flow are presented. The purpose of the research was to analyze the hydraulic and hydrodynamic parameters of the flow to substantiate the optimal dimensions of the damper and refine its design to obtain the greatest effect of extinguishing the excess energy of the flow and to improve the operation of the downstream with a uniform and uneven distribution of unit flow rates entering the well. An estimate is given of the hydrodynamic effect of the flow on individual elements of the damper at Froude numbers in the compressed section in the range of 20 ... 120, Reynolds numbers (5 ... 10) 10⁴ and specific flow rates in the downstream of the models from 0.017 to 0.042 m³/s. The data of a comparative analysis of the decrease in the hydrodynamic characteristics of the flow in the zone of operation of a deep stilling well and a conventional jump well are presented. The obtained picture of the distribution of the averaged and pulsating pressure components over the entire interface section made it possible to estimate the load on the fixing elements of the bottom of the well and the outlet channel and to assess their stability. It is recommended to make a deep stilling well with a slotted wall at the bottom, the ledge and apron for a length of at least three depths of the well should be made of monolithic reinforced concrete, and the rest should be reinforced with prefabricated elements. The developed recommendations for assessing the distribution of the averaged and pulsating pressure components over the entire interface section, for choosing the size and design of the elements of the downstream attachment section have made it possible to significantly reduce the dimensions and reduce the cost of arranging the interface section while ensuring the reliability of the reclamation systems canals and the safety of their water-conducting hydraulic structures.

Keywords: submerged stilling well, pulsating effect of the flow, combined energy absorber, optimal fastening parameters

Format of citation: Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Assessment of the hydrodynamic effect of the flow on the fastening elements of the downstream of the reclamation facilities with a deep-type well // *Prirodobustroystvo*. – 2022. – № 2. – S. 79-85. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-79-85.

Введение. В практике водохозяйственно-го строительства до сих пор случаются разрушения больших и малых водопропускных сооружений мелиоративных систем в период пропуска паводков и ледохода, ненадлежащие надежность и долговечность отдельных элементов транзитной части, особенно устройств нижнего бьефа, наносящие заметный ущерб АПК [1-4]. Гашение энергии в нижнем бьефе водопропускных сооружений, то есть восстановление нормального режима движения, сопровождается постепенным затуханием осредненных скоростей и давлений и их пульсаций на определенном участке водотока. Тем самым уменьшается и размывающая способность потока, где необходимо делать крепление дна и берегов транзитного участка сооружения. Подмыв концевой части крепления можно предотвратить рациональным и правильным выбором гасителей энергии, устройством крепления с необходимой длиной и конструкцией укрепления отводящего русла. Для сокращения его длины и применяют различные гасители энергии [5, 6]. Но недостаточно исследована область применения для гашения энергии безнапорной

затопленной струи в ограниченном пространстве с жесткими границами [7, 8]. Именно в таких конструкциях (рис. 1) за счет увеличения интенсивности гашения энергии струи в довольно глубоком колодце использование общепризнанных расчетных зависимостей является некорректным [3-9].

Комплексное изучение работы нижнего бьефа применительно к одно-, двух- и трехпролетным природоохранным гидротехническим сооружениям подтверждает, что в отличие от обычного водобойного колодца прыжкового типа в глубоком «укороченном» колодце близко расположенный уступ оказывает существенное влияние на гидравлическую структуру потока [2, 7, 8, 10-13].

При поиске рациональных схем гасителей энергии и растекателей, устанавливаемых на таком водобойном участке, большую роль играют осредненные и пульсационные гидродинамические характеристики потока. В пространственных условиях сопряжения бьефов необходимо также учитывать способность гасителя выравнивать удельные расходы за сооружением, когда

при маневрировании затворами может быть нарушена устойчивость различных элементов крепления и грунтового основания [14-16]. Непосредственно исследованиями глубоких водобойных колодцев с уступом занимались А.Н. Рахманов, М.А. Михалёв, Р.М. Вагабов, Н.П. Розанов, А.В. Литвинов и др. [1-4, 8-11].

Материалы и методы исследований.

В исследованиях на трех разномасштабных «жестких» моделях комбинированного гасителя была использована современная аппаратура для регистрации пульсационных воздействий потока на элементы сооружения. Необходимость применения разномасштабных моделей была продиктована сочетанием разработки инновационного гасителя с детальным изучением гидравлических и гидродинамических режимов его работы. В подавляющем большинстве опытов в нижнем бьефе обеспечивались значения чисел Рейнольдса не менее 10000, рабочий диапазон чисел Фруда для сжатого сечения бурной струи для гладкого водобоя, расположенного на уровне дна отводящего канала, $Fr_1 = q^2/gh_1^3$, где h_1 – глубина в сжатом сечении при $d_k = 0$ составляла 20...130 [5-8].

Осредненное давление (P) для минимизации влияния колебания уровней оценивалось пьезометрированием. На вертикальных и наклонных поверхностях устройств нижнего бьефа малой модели приемные элементы пьезометров с диаметром отверстия 0,6 мм закреплялись при помощи резьбовых соединений. Замеры пульсационного давления P' производились при помощи индуктивных преобразователей ДД-7м с диаметром приемной части 7 мм и собственной частотой колебаний в воде 2 кГц. Неравномерность амплитудно-частотных характеристик не превышала 3 дБ при нелинейности 3%. Основной объем измерений осредненных и пульсационных гидродинамических давлений на элементах нижнего бьефа производился на модели № 2 с трапециевидальным отводящим каналом за трехпролетным регулятором с плавным регулированием открытия плоских затворов [2, 6].

Осредненные скорости V на моделях измерялись бесконтактными одно- и двухполюсными микровертушками типа Х-6, а пульсационные U' – однокомпонентным тензодатчиком консольного типа с диском диаметром 4 мм. Продолжительность реализации процесса пульсаций составляла 100 с. При обработке записей стандарты пульсаций U' и P' определялись в предположении нормального закона распределения вероятностей. Максимальная суммарная погрешность измерения расходов воды Q на моделях, оцениваемых по формуле Барра, не превышала 4,6%. Удельные расходы q изменялись от 0,017

до 0,042 м²/с, а глубины в отводящем канале h – от $0,29d_k$ до $0,65d_k$, где d_k – глубина водобойного колодца (рис. 1). Методика измерений колебаний горизонтов воды сводилась к определению максимальной высоты волны, разбивке волнового профиля на дискретные уровни и получению на каждом из них статистических рядов.

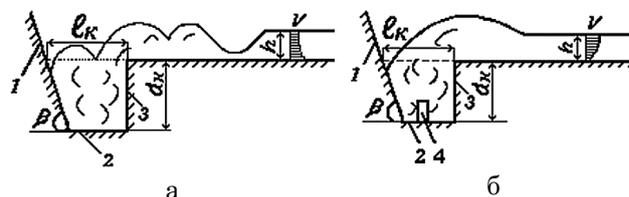


Рис. 1. Схемы глубоких, коротких, относительно прыжкового, колодцев: а – колодец АзНИИ ВП (схема 1, табл.); б – колодец с прорезной стенкой на дне (схема 12, табл.): 1 – передняя грань колодца; 2 – дно колодца; 3 – водобойный уступ; 4 – прорезная стенка

Fig. 1. Schemes of deep, short, relative to a jump one, wells:

a – well of AzNII VP (scheme 1. Tab.); b – a well with a slotted wall at the bottom (scheme 12. Tab.): 1 – the front face of the well; 2 – bottom of the well; 3 – water-breaking ledge; 4 – slotted wall

Во время исследований затопленный режим сопряжения в нижнем бьефе за гладким комбинированным колодцем заглубленного типа (АзНИИ ВП) формировался при меньших глубинах, чем в случае обычного колодца, но это сопровождалось относительно сильными вертикальными и продольными пульсациями скоростей и давлений, большой неравномерностью горизонтов воды на участке гашения [2, 4]. Поэтому для подбора оптимального размера укороченного колодца и угла входа струи в гаситель колодца вкуче с наибольшим эффектом гашения были предложены и исследованы основные режимы работы еще 14 комбинированных гасителей (табл.).

Анализ работы конструкций проводился с учетом:

- способности водобойного устройства понижать сопряженную глубину за прыжком до минимальной сопряженной глубины за колодцем h_3 ;
- распределения глубин потока на участке гашения энергии;
- распределения продольных осредненных и пульсационных скоростей за пределами вальцовых областей;
- волнения поверхности потока в начале отводящего канала и вертикальных колебаний воды на водобое;
- существования развитых вальцов за пределами водобойного участка.

Гидравлические параметры потока за разными типами глубоких водобойных колодцев

Table

Hydraulic flow parameters behind different types of deep stilling wells

№ схемы Scheme №	Краткая характеристика дополнительных гасителей энергии Brief description of additional energy dampers	$(h_k^{max} - d_k)/h_3$	h_6^{max}/h_3	h_3^{max}/h_3	U_x^{max}/V		
					$0,2h_3$	$0,5h_3$	$0,8h_3$
1	Глубокий водобойный колодец простых очертаний (АзНИИ ВП) [4] <i>Deep stilling well of simple outlines (AzNII VP) [4]</i>	2,84	0,77	1,54	1,7	2,00	2,07
2	Сплошной козырёк над уступом [9] <i>Solid canopy over ledge [9]</i>	2,77	0,48	1,29	2,76	3,13	3,16
3	Разрезной козырёк над уступом <i>Split canopy over ledge [9]</i>	2,02	0,43	1,25	1,70	1,53	1,49
4	Сплошная стенка за уступом <i>Solid web behind the ledge</i>	3,37	1,16	1,78	4,2	4,52	4,52
5	Ряд шашек за уступом <i>A row of blocks behind the ledge</i>	2,92	0,65	1,34	2,83	1,9	1,84
6	Прорезная стенка за уступом <i>Slotted web behind ledge</i>	2,89	0,81	1,54	3,27	1,94	2,05
7	Сплошная стенка в середине уступа <i>Solid web in the middle of the ledge</i>	2,17	0,43	1,23	2,84	2,05	1,86
8	Ряд шашек в середине уступа <i>A row of blocks in the middle of the ledge</i>	2,41	0,31	1,18	1,8	1,88	2,10
9	Прорезная стенка в середине уступа <i>Slotted web in the middle of the ledge</i>	1,95	0,38	1,31	1,78	1,82	1,71
10	Сплошная стенка в средней части дна колодца <i>Solid web in the middle part of the well bottom</i>	3,52	0,81	1,42	2,83	2,0	2,70
11	Ряд шашек в средней части дна колодца <i>A row of blocks in the middle part of the well bottom</i>	2,12	0,40	1,22	1,83	1,86	1,99
12	Прорезная стенка в средней части дна колодца <i>Slotted web in the middle part of the well bottom</i>	1,59	0,2	1,16	1,87	1,64	1,51
13	Сплошная стенка у подошвы водослива <i>Solid web at the sole of the spillway</i>	2,53	0,58	1,32	2,50	2,11	1,79
14	Ряд шашек у подошвы водослива <i>A row of blocks at the sole of the spillway</i>	2,36	0,36	1,18	1,95	1,82	2,10
15	Прорезная стенка у подошвы водослива <i>Slotted web at the sole of the spillway</i>	2,70	0,52	1,34	1,52	1,80	2,00

В схемах 2 и 3 длина козырька $l_{кз}$ принималась с соблюдением соотношения $l_{кз}/l_k = 0,276$. Коэффициент разрезки отдельных гасящих элементов был равен 0,5, что является наиболее употребительным при строительстве зубчатых порогов [3]. Предварительные этапы исследований показали, что устройство у водоската массивной прорезной стенки (схема 15, табл.) оказывает малое влияние на характер гашения энергии, а ее установка в средней части колодца (схема 12, табл.) больше всего выравнивает поверхность воды на водобое, практически исключает раскачку потока, обеспечивает наименьшие вертикальные выбросы в пределах гасителя и отсутствие вторичного прыжка за уступом. Самые низкие значения

актуальных скоростей у дна потока были отмечены за колодцем с разрезным козырьком, расположенным над уступом (схема 3, табл.), где значения U_d^{max} равны $1,49V$. Эпюры осредненных скоростей в отводящем участке за схемой 12 близки к эпюрам плавно изменяющегося движения, характерному для равномерного движения потока при разных схемах маневрирования затворами сооружения [2].

Результаты и их обсуждение. Образование макротурбулентных явлений при сопряжении бьефов за гладким водобойным колодцем ведет к образованию повышенного динамического воздействия на элементы крепления со стороны потока. Для всех комбинированных колодцев давление на дне распределяется

не по гидростатическому закону [6, 7]. В начале водобойной плиты при соударении струи с дном возникают крупные вихри, являющиеся источником значительных пульсаций давления. По мере удаления струи от дна колодца обе составляющие гидродинамического давления снижаются от максимальных для осредненных давлений $P = 0,69Z_{no}$ (в начале плиты крепления) и пульсационной составляющей давления $P' = 0,1Z_{no}$, достигая минимума примерно в центре колодезной плиты, Z_{no} – напор на сооружении (рис. 2, 3). На водобойном уступе прослеживаются явный

рост значений P и P' в нижней части вертикального крепления ($P = 0,35Z_{no}$ и $P' = 0,067Z_{no}$) и резкое снижение значений в верхней части стенки примерно в 3...4 раза. Частичное увеличение стандартов пульсации в нижней части уступа происходит за счет образования здесь небольшого донного вальца. Неравномерность распределения нагрузок даже при работе сооружения всеми пролетами приводит к тому, что в центре колодца нагрузки выше, чем у боковых стенок. Однако на водобойном уступе такое распределение наблюдается только у его основания.

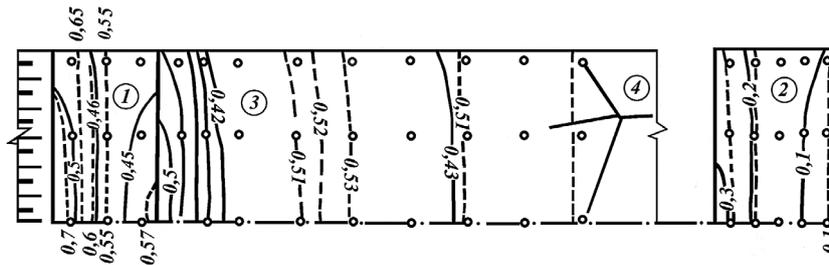


Рис. 2. Схема расположения приемных элементов пьезометров и распределения относительного осредненного давления P/Z_{no} по площади крепления нижнего бьефа: 1 – дно колодца; 2 – водобойный уступ; 3 – участок сопряжения за колодцем; 4 – приемные элементы пьезометров (сплошной линией обозначены изолинии при $h_b/d_k = 0,4$; пунктирной линией – при $h_b/d_k = 0,65$)

Fig. 2. Scheme of the location of the receiving elements of piezometers and the distribution of the relative average pressure P/Z_{no} on the area of fastening of the downstream: 1 – the bottom of the well; 2 – water-breaking ledge; 3 – the interface area behind the well; 4 – receiving elements of piezometers; a solid line indicates isolines at $h_b/d_k = 0,4$; dotted – at $h_b/d_k = 0,65$

За водобойным уступом и осредненное давление, и интенсивность пульсации давления уменьшаются, но в зоне вторичного гидравлического прыжка P' имеет еще довольно большие значения (например, в створе $x/d_k = 1,5$: $P = 0,18Z_{no}$ и $P' = 0,044Z_{no}$). Далее за прыжком, в том числе на рисберме, значение пульсационной составляющей давления быстро убывает. Это объясняется интенсификацией взаимодействия вихрей, сносимых из колодца и образующихся во вторичном гидравлическом прыжке за комбинированным гасителем, причем сопоставительный анализ с процессом затухания пульсаций за совершенным гидравлическим прыжком длиной l_n на гладком водобое (при $d_k = 0$) показал, что длина такого участка даже за гасителем АзНИИ ВП в 1,5 раза меньше (рис. 3) [5].

Гасящая способность комбинированного «укороченного» колодца резко повышается при обеспечении затопления гидравлического прыжка, формирующегося за уступом. Так, с ростом глубины в отводящем канале h_b от $0,4d_k$ до $0,65d_k$ разность между значениями P на осевых и краевых вертикалях уменьшается на $0,13Z_{no}$

в начале водобойного колодца, и на $0,017Z_{no}$ – в его конце. При этом плановая неравномерность

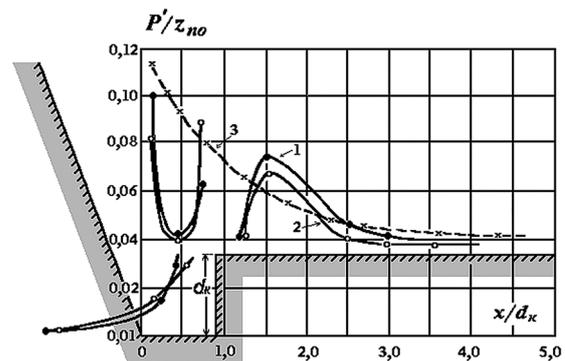


Рис. 3. Распределение стандарта пульсации давления P'/Z_{no} по оси транзитной части с гладким колодцем при работе сооружения полным фронтом: 1 и 2 – соответственно при $h_b/d_k = 0,4$ и $0,65$; 3 – на гладком водобое [6]

Fig. 3. Distribution of the pressure pulsation standard P'/Z_{no} along the axis of the transit part with a smooth well when the structure is operating at full front: 1 and 2 – respectively at $h_b/d_k = 0,4$ and $0,65$; 3 – on smooth apron [6]

распределения давлений и скоростей потока снижается, а значение стандарта пульсации давления P' падает на 20%. Это особенно ярко выражено в начале водобойной плиты дна колодца, но на водобойном уступе изменение P' при таком затоплении является незначительным.

При установке прорезной стенки на дне «укороченного» колодца (схема 12, рис. 1б) по сравнению с гладким комбинированным колодцем АЗНИИ ВП (схема 1, рис. 1а) во всех исследованных диапазонах чисел Fr_1 наибольшие осредненные давления сосредотачиваются в начале дна водобойного колодца, но относительно резко значения P снижаются при небольших значениях Fr_1 , и менее интенсивно – при увеличении бурности потока: соответственно при $Fr_1 = 20$ – на 64,6%; при $Fr_1 = 120$ – на 30%. За зубьями прорезной стенки происходит повторное уменьшение статической составляющей гидродинамического давления с интенсивностью снижения, обратно пропорциональной значениям параметра Fr_1 . С последующим удалением от гасителя происходит постепенное выравнивание P до гидростатического, что имеет место на расстоянии примерно $(0,7 \dots 0,8) l_n$ от начала водобойного участка.

Наиболее сложная картина распределения пульсационной составляющей давления P' на элементах крепления гасителя и за ним выявлена при одном работающем крайнем отверстии водосброса, когда значения P' как в поперечных, так и в продольных направлениях потока, отличаются сильной неравномерностью. В створах, на границе работающих труб с закрытыми отверстиями, если наибольшие размахи пульсации давления величиной до $0,7P'$ наблюдаются в начале водобойной плиты, то к уступу могут уменьшиться до $0,15P'$, а в отводящем канале на конце рисбермы – снизиться до $0,04$. При соответствующем увеличении подтопления значения P' в начальных створах уменьшаются,

и затухание пульсации происходит на более коротком участке (до $1,8l_n$).

Таким образом, исследованный тип комбинированного колодца с прорезной стенкой на дне не только в 1,4...2,5 раза эффективнее гасит энергию, но и примерно в 1,5 раза уменьшает область затухания пульсационной составляющей давления и скоростей за ним. Предварительные оценки суммарных гидродинамических нагрузок и расчеты устойчивости отдельных элементов крепления нижнего бьефа по существующим методикам квазистатического расчета элементов нижнего бьефа [8, 13-16] позволяют рекомендовать водобойный глубокий колодец с прорезной стенкой на дне, уступ и рисберму на длину не менее $3d_k$ выполнять из монолитного железобетона, а остальную часть укреплять сборными элементами. Это может привести к снижению в среднем на 24% затрат по устройству участка сопряжения с соблюдением современных требований по обеспечению безопасности мелиоративных ГТС и надежности каналов мелиоративных систем.

Выводы

Водобойный колодец заглубленного типа исследованной конструкции является достаточно эффективным для гашения избыточной энергии потока в нижнем бьефе малых водопропускных мелиоративных сооружений. Гасящая способность его резко повышается при обеспечении затопления гидравлического прыжка, формирующегося за уступом. Сокращение длины водобоя при устройстве даже базового гасителя с глубоким «укороченным» колодцем позволит примерно на 24% уменьшить затраты на устройство участка сопряжения при обеспечении надежной работы всего сооружения в целом. Большой эффект можно ожидать на низко- и средненапорных сооружениях с относительно большими перепадами и малыми расходами, где числа Фруда могут быть значительными.

Библиографический список

1. Черных О.Н., Ханов Н.В. Водные объекты в АПК и их эксплуатация // Картофель и овощи. – 2019. – № 11. – С. 6-10.
2. Черных О.Н., Бурлаченко А.В. Оценка кинематической структуры потока за колодцем заглубленного типа в нижнем бьефе водопропускных сооружений АПК // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 34-40.
3. Волков В.И., Черных О.Н., Румянцев И.С. и др. Открытые береговые водосбросы. – М.: Изд-во ФГБОУ ВПО МГУП, 2012. – 243 с.
4. Вагабов Р.М. Влияние изменения геометрических параметров водобойного колодца на кинематическую структуру потока // Труды АЗНИИ водных проблем. Вып. IX. – Баку: АЗНИИ, 1980. – С. 152-158.
5. Черных О.Н. Исследование сопряжения бьефов по типу затопленной струи за водосбросной

References

1. Chernykh O.N., Khanov N.V. Vodnye objekty v APK i ih ekspluatatsiya // Kartofel i ovoshchi. – 2019. – № 11. – S. 6-10.
2. Chernykh O.N., Burlachenko A.V. Otsenka kinematicheskoy struktury potoka za kolodtsem zaglublenogo tipa v nizhnem bjeфе vodopropusnykh sooruzhenij APK // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 1. – S. 34-40.
3. Volkov V.I., Chernykh O.N., Rummyantsev I.S. i dr. Otkrytye beregovye vodosbrosy. – M.: Iz-vo FGBOU VPO MGUP, – 2012. – 243 s.
4. Vagabov R.M. Vliyanie izmeneniya geometricheskikh parametrov vodobojnogo kolodtsa na kinematicheskuyu strukturu potoka // Trudy AZNII vodnyh problem, vyp. IX. – Baku: – 1980. – S. 152-158.
5. Chernykh O.N. Issledovanie sopryazheniya bjefov po tipu zatoplennoj strui za vodosbrosnoj plotinoj

плотиной при наличии глубокого короткого водобойного колодца: методические указания по выполнению лабораторной работы. – М.: МГМИ, 1991. – 29 с.

6. **Черных О.Н., Литвинов А.В.** Исследование гидродинамических нагрузок на элементы нижнего бьефа при наличии глубокого водобойного колодца // Исследования гидротехнических сооружений: сборник научных трудов. – М.: МГМИ, 1982. – С. 42-47.

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

8. **Черных О.Н.** Исследование устойчивости элементов крепления нижнего бьефа трубчатых водопропускных сооружений: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГМИ, 1980. – 24 с.

9. **Rotmund Hermann.** Energienn-Wadlung durch Strahlumlenkung in einer Toskammer- Ber. Versuchast // Wasserbau Techn. Hochschule: Munchen, 1966. – № 6. – 61 s.

10. **Черных О.Н., Ханов Н.В.** Методика совершенствования учебного процесса в лабораторном комплексе кафедры гидротехнических сооружений // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. – 2017. – № 10. – С. 44-52.

11. **Розанов Н.П., Черных О.Н., Литвинов А.В.** Оценка работы глубокого водобойного колодца // Труды МАДИ. Расчеты элементов гидравлических систем машин и механизмов. – М.: МАДИ, 1992. – С. 45-51.

12. **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

13. **Chernykh O.N., Komelkov L.V.** Hydrodynamic loads and stability of river beg protection downstream of hydraulic structures // Abstracts XX Congress IAHR. – 1983. – V. VII.

14. **Черных О.Н.** Оценка условий сопряжения бьефов и мероприятий по обеспечению надежности работы водосбросов высоконапорного гидрозла // Природообустройство. – 2020. – № 2. – С. 56-65.

15. **Altunin V.I.** Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance / V.I. Altunin, O.N. Chernykh, A.V. Burlachenko // Power Technology and engineering. – 2016. – Vol. 50, iss. 4. – P. 385-390.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 15.01.2022 г.

Одобрена после рецензирования 18.04.2022 г.

Принята к публикации 25.04.2022 г.

pri nalichii glubokogo korotkogo vodobojnogo kolodtsa. Metodicheskie ukazaniya po vypolneniyu laboratornoj raboty. – М.: МГМИ, – 1991. – 29 s.

6. **Chernykh O.N., Litvinov A.V.** Issledovanie gidrodinamicheskikh nagruzok na elementy nizhnego bjefa pri nalichii glubokogo vodobojnogo kolodtsa // Issledovanie gidrodinamicheskikh sooruzhenij. Sb. nauchnyh trudov. – М.: МГМИ, – 1982. – S. 42-47.

7. **Chernykh O.N., Litvinov A.V.** Distinguishing features of hydraulic conditions in a deep stilling // Abstracts XX Congress IAHR, v. VII, – М.: – 1983. – 97-101.

8. **Chernykh O.N.** Issledovanie ustojchivosti elementov krepleniya nizhnego bjefa trubchatyh vodopropusknyh sooruzhenij: Avtoref. dis... kand. nauk. – М.: МГМИ, – 1980. – 24 s.

9. **Rothmund Hermann.** Energy conversion through beam deflection in a stilling chamber. Experimental // Hydraulic Engineering Technical University, Munich. – 1966, № 6, – 61 p.

10. **Chernykh O.N., Khanov N.V.** Metodika sovershenstvovaniya uchebnogo protsessa v laboratornom komplekse kafedry gidrotehnicheskikh sooruzhenij // Vestnik uchebno-metodicheskogo objedineniya po obrazovaniyu v oblasti prirodoobustrojstva i vodopolzovaniya. – 2017. – No. 10. – S. 44-52.

11. **RozaNov N.P., Chernykh O.N., Litvinov A.V.** Otsenka raboty glubokogo vodobojnogo kolodtsa // Trudy MADI, vyp. Raschety elementov gidravlicheskih sistem mashin i mehanizmov. – М.: MADI, 1992. – S. 45-51.

12. **Chernykh O.N., Burlachenko A.V.** Eksperimentalnye i imitatsionnye metody issledovaniya rezhimov sopryazheniya potoka v nizhnem bjefe prirodohrannyh vodosbrosnyh i sopryagayushchih sooruzhenij APK // Vestnik uchebno-metodicheskogo objedineniya po obrazovaniyu v oblasti prirodoobustrojstva i vodopolzovaniya. – 2021. – No. 21. – S. 72-80.

13. **Chernykh O.N., Komelkov L.V.** Hydrodinamik loads and stability of river beg protection downstream of hydraulic structures // Abstracts XX Congress IAHR, v. VII, – М. – 1983.

14. **Chernykh O.N.** Otsenka uslovij sopryazheniya bjefov meropriyatij po obespecheniyu nedezhnosti raboty vodosbrosov vysokonapornogo gidrouzla // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – No. 2. – S. 56-65.

15. **Altunin V.I.** Hydraulic Resistance of Corrugated Metal Culvert Pipes with Elevated Abrasive Resistance / V.I. Altunin, O.N. Chernykh, A.V. Burlachenko // Power Technology and engineering. – November 2016, Volume 50, Issue 4. – P. 385-390.

Criteria of Authorship

Chernykh O.N., Burlachenko A.V. performed theoretical and experimental research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript.

Chernykh O.N., Burlachenko A.V. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 15.01.2022

Approved after reviewing 18.04.2022

Accepted for publication 2