

Оригинальная статья

УДК 502/504: 627.83:532.54

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-34-40

ОЦЕНКА КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ЗА КОЛОДЦЕМ ЗАГЛУБЛЕННОГО ТИПА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ АПК

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

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

¹ Росийский 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

Цель исследования – изучение условий работы нижнего бьефа низконапорных сопрягающих и водопроводящих сооружений мелиоративного комплекса АПК применительно к конструктивной схеме водобойных участков, работающих в условиях сопряжения бьефов по типу затопленной струи при наличии глубокого относительно короткого водобойного колодца. Дается краткое описание лабораторной установки, используемой измерительной аппаратуры, позволяющей фиксировать турбулентные характеристики потока, методологии выполнения модельных исследований. Приводятся результаты по отысканию и исследованию рациональных конструкций и устройств нижнего бьефа (водобой, гасители энергии, рисберма) с учетом пульсационных воздействий потока на элементы крепления. Установлены режимы течения потока за водопропускным сооружением и водосбросной плотиной с глубоким колодцем, приведены расчетные зависимости для определения его оптимальных параметров и оценки осредненной и пульсационной составляющих давления на основные элементы устройств нижнего бьефа. На модели, работающей при числах Рейнольдса более 10000 и числах Фруда в сжатом сечении от 20 до 120, подобрана конструкция, обеспечивающая наибольший эффект гашения энергии при угле входа бурной струи в колодец, изменяющийся в пределах 50°...70°, в состав которой, помимо глубокого короткого колодца, входят шашки. Это позволило проанализировать кинематическую структуру потока, выявить интенсивное затухание пульсационной составляющей скоростей и давлений потока по длине отводящего канала примерно на 20% по сравнению с прыжковым колодцем простых очертаний и уменьшение плановой неравномерности эпюр. Все это подтвердило эффективность работы конструкции на косогорных участках мелиоративной сети для сооружений с удельным расходом в пределах 0,15...5,5 м³/с. В результате проведенных исследований усовершенствована конструкция устройства и крепления нижнего бьефа, обеспечивающая необходимую надежность его работы.

Ключевые слова: сопряжение по типу затопленной струи, гидродинамические исследования, глубокий относительно короткий водобойный колодец, осредненное и пульсационное давление, рисберма, крепление

Формат цитирования: 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. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-34-40.

© Черных О.Н., Бурлаченко А.В., 2022

Original article

ASSESSMENT OF THE KINEMATIC STRUCTURE OF THE FLOW BEHIND THE WELL OF A BURIED TYPE OF DOWNSTREAM AIC CULVERTS

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. Timiryazev1; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

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

The purpose of the investigation is to study the operating conditions of the downstream of the low-pressure conjugation and water passageway structures of the reclamation complex of the agro-industrial complex (AIC) in relation to the structural scheme of culvert sections operating in the conditions of the conjugation of the pools by the type of a submerged jet in the presence of a deep, relatively short stilling well. A brief description of the laboratory installation, the measuring equipment used to record turbulent flow characteristics and the methodology for performing model studies is given. The results are given on finding and studying rational downstream structures and devices (hearth, baffles, apron) taking into account pulsating flow effects on the fastening elements. The flow modes behind the culvert structure and spillway dam with a deep well have been established, calculated dependences are given to determine its optimal parameters and assess the average and pulsation components of pressure on the main elements of the downstream devices. On the model operating at the Reynolds numbers over 10000 and Froude numbers in the compressed section from 20 to 120, a design was chosen that provides the greatest energy baffle effect at the angle of the turbulent jet entry into the well varying within 50°...70°, which includes blocks in addition to the deep short well. This made it possible to analyze the kinematic structure of the flow and reveal the intense attenuation of the pulsation component of the flow velocities and pressures along the length of the outlet channel by about 20% compared to a jump well of simple outlines, and a decrease in the planned irregularity of the diagrams. All this together confirmed the efficiency of the structure on the sloping sections of the reclamation network for the structures with a specific flow rate in the range of 0.15...5.5 m³/s. As a result of the research carried out, the design of the device and downstream anchorage has been improved providing the necessary reliability of its operation.

Keywords: conjugation by the type of a submerged jet, hydrodynamic studies, a deep relatively short stilling well, averaged and pulsating pressure, apron, fastening

Format of citation: Chernyh O.N., Burlachenko A.V. Assessment of the kinematic structure of the flow behind the well of a buried type of downstream AIC culverts // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 1. – S. 34-40. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-1-34-40.

Введение. Среди основных природоохранных гидротехнических сооружений на оросительных системах АПК можно выделить как наиболее распространенные трубчатые и открытые сопрягающие сооружения, стоимость устройств креплений нижнего бьефа которых доходит до 30...50% от стоимости всего сооружения. В то же время именно его конструктивное решение является наименее надежным ввиду деформации бетонной части крепления выходного участка, размыва, разрушения рисбермы и отводящего канала [1-5]. Задачи ликвидации неудовлетворительной работы действующих природоохранных сооружений на водных системах в целом и изучение вопросов гашения энергии в их нижнем бьефе имеют до сих пор важное значение несмотря на то, что в настоящее время накоплен большой материал зарубежных и отечественных исследований по вопросам гашения энергии в нижнем бьефе как уникальных, так и массовых мелиоративных сооружений [3-11].

Материалы и методы исследований. Эффективность гашения энергии за одно-, двух- и трехочковыми трубчатыми природоохранными гидротехническими сооружениями в глубоком «укороченном» колодце, где близко

расположенный уступ оказывает существенное влияние на гидравлическую структуру потока, экспериментально проверялась на трех моделях. При этом изучалась структура потока в нижнем бьефе, отрабатывались рациональные типы и конструкции устройств нижнего бьефа, обеспечивающие хорошее гашение энергии потока и отсутствие сбойных течений, исследовались поля скоростей и давлений (осредненных и их пульсационных составляющих). Основной объем лабораторных гидравлических и гидродинамических исследований нижнего бьефа мелиоративных водопропускных сооружений с $Q_n = 8...25 \text{ м}^3/\text{с}$ и удельными расходами $q_n = 0,2...5,2 \text{ м}^2/\text{с}$ для контроля за достоверностью результатов проводился на двух экспериментальных установках при числах Фруда в сжатом сечении 20...130 и числах Рейнольдса 16700...41700 [5-8]. Для апробации блок-схемы квазистатического расчета элементов крепления нижнего бьефа и сопоставления результатов виртуальных лабораторных исследований с модельными использовалась третья установка [8, 10, 12-15]. При проведении экспериментов глубины в отводящем канале (h_c) изменялись в диапазоне (0,29...0,65) $d_{кв}$, d_k глубина водобойного колодца (рис. 1).

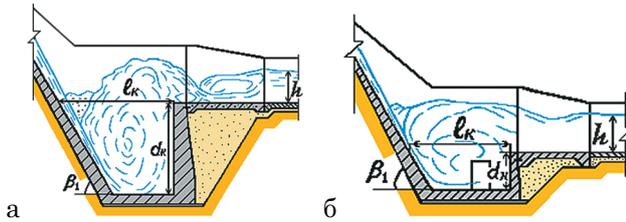


Рис. 1. Устройство нижнего бьефа глубокого и относительно короткого водобойного колодца для косогорных участков:
а – гладкого (АзНИИВП а/с № 729303);
б – с прорезной стенкой на дне (МГМИ, а/с № 1110866)

Fig. 1. Arrangement of the downstream of a deep and relatively short water well for sloping areas:
а – smooth (AzNIIVP a/s No. 729303);
б – with a slotted wall at the bottom (MGMI, a/s No. 1110866)

Выбор рациональной конструкции колодца заглубленного типа проводился среди 15 конструктивных схем гасителей, устраиваемых на дне колодца, уступе и на горизонтальном участке за ним, при минимальной глубине воды в нижнем бьефе, соответствующей сопряженной глубине за колодцем h_3 . Дополнительные гасители устраивались в зоне расположения прыжка, образующегося за колодцем схемы 1 (рис. 1а) [3]. Во всех экспериментах при изучении кинематической структуры потока гасители были прямолинейными в плане, а их фронтальная грань располагалась перпендикулярно основному направлению потока [7].

В опытах без гасителей определялись первая и вторая сопряженные глубины гидравлического прыжка и подсчитывалось число Фруда

в сжатом сечении $Fr_1 = V_1^2 / gh_1 = q^2 / gh_1^3$ – для гладкого водобоя, расположенного на уровне дна отводящего канала; h_1 и V_1 – глубина и скорость в сжатом сечении при $d_k = 0$; $q = Q/b$ – удельный расход по ширине b (в сжатом сечении).

Изучение скоростной структуры потока чаще всего производилось в створе $1,5l_n$ (l_n – длина прыжка на гладком водобое). В этом же створе давалась оценка вертикальных колебаний поверхности потока. При этом учитывались продольные пульсации скоростей за гасителями энергии, пульсации горизонтов воды в нижнем бьефе и осредненные гидродинамические нагрузки на элементы крепления участка сопряжения.

Для исследований осредненных и пульсационных гидродинамических давлений в нижнем бьефе, изучения гидравлики потока как при равномерном, так и при неравномерном подходе потока к участку гашения энергии, были устроены входная трехпролетная регулируемая часть с плоскими затворами и трапециевидальный отводящий канал с заложением откосов $m_k = 1,5$ (рис. 2) [6]. Модель была выполнена в масштабе $\alpha_L = 15$ и располагалась в бетонном лотке установки 2. Измерение осредненных скоростей V производилось резистивной микровертушкой Х-6, а измерение динамических составляющих – методом электротензометрии с диаметром диска 4 мм. Замеры осредненного давления выполнялись пьезометрами, а замеры пульсационного давления – индуктивными датчиками ДД-7м. При проведении гидродинамических исследований стандарт пульсаций давления определялся в допущении распределения пульсации по нормальному закону [9, 10].

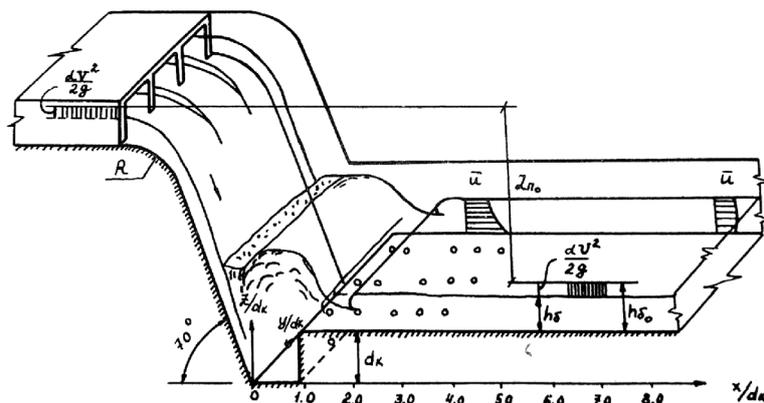


Рис. 2. Общая картина протекания потока при работе трехпролетного водопропускного сооружения (кружками обозначены места установки индуктивных датчиков динамического давления на дне отводящего участка)

Fig. 2. The general picture of the flow during the operation of a three-span culvert (circles indicate the places of installation of inductive dynamic pressure sensors at the bottom of the discharge section)

Результаты и обсуждение. Изучение изменения продольных актуальных скоростей показало, что по сравнению с обычным прыжковым водобойным колодцем гаситель схемы 1 интенсивно уменьшает скорость потока и выравнивает его при неравномерном распределении удельных расходов на регулирующем участке водосброса – разных схемах маневрирования затворами. Большие вертикальные колебания уровня воды, сильная раскочка потока приводят к значительному волнению воды в отводящем русле, где наибольшая высота волны h_6^{max} при гасителе АзНИИВП доходит до 77% от сопряженной глубины за гасителем h_3 , а глубина потока при наибольшем выбросе h_3^{max} превышает осредненную глубину h_3 более чем в 1,5 раза. Это объясняется наличием здесь фактически переходного от донного к поверхностному режиму сопряжения бьефов. Дополнительные макротурбулентные вихри, транспортирующиеся вверх вертикально движущейся вдоль уступа транзитной части потока на дневную поверхность, создают значительные вертикальные и горизонтальные пульсации. Наибольшие значения пульсационных скоростей U_x^{max} наблюдаются в придонной области, где $U_x^{max}/V = 2,07$, снижаясь к поверхности до $U_x^{max}/V = 1,7$.

Как показал анализ результатов исследований различных схем гасителей энергии потока, базой которых является глубокий водобойный колодец, дополнительные устройства, способные взаимодействовать с потоком, могут либо улучшить, либо совсем не оказывать влияние или даже ухудшать качество гашения энергии в нижнем бьефе малого сооружения. Поэтому представление о состоянии потока по отдельно взятым критериям гашения энергии потока может привести к ошибочным результатам при выборе наиболее эффективной конструкции водобоя.

Исследования разных конструктивных схем оформления глубокого водобойного колодца показали, что наибольшее влияние на гидравлическую структуру потока оказывает гаситель, когда за счет установки прорезной водобойной стенки, состоящей практически из ряда отдельно стоящих шапек во второй части водобойной плиты (рис. 2 б), совместное действие уступа и прорезной стенки значительно повышает эффективность гашения, приводя к дополнительному соударению струй воды, к уменьшению донных скоростей и в отводящем участке канала за гасителем.

Эпюры осредненных скоростей в отводящем участке близки к эпюрам плавно изменяющегося движения, характерного для равномерного движения потока при разных схемах маневрирования затворами сооружения. При работе сооружения

с такой схемой гашения максимальные мгновенные скорости на 23% отличаются от наименьших, наблюдающихся за глубоким колодцем с прорезной стенкой, расположенной у подошвы водоската, а пульсационные составляющие продольных колебаний здесь относительно небольшие.

С помощью метода анализа размерностей с учетом основных факторов, влияющих на гашение энергии в колодцах заглубленного типа, было получено безразмерное критериальное уравнение для назначения его оптимальных параметров, и на базе экспериментальной установки 3 составлена блок-схема расчета комбинированного гасящего устройства для виртуального численного эксперимента в рамках выполнения программы цифровизации лабораторных исследований и использования их в учебном процессе [12, 15]. Используя ее, оптимальные параметры комбинированного гасителя с прорезной стенкой на дне (длина l и глубина колодца/высота уступа d) можно найти как по графикам (рис. 3, 4) в соответствии с разным углом β_1 наклона водоската или входа бурной струи в колодец, так и по формулам:

$$d_k = 2,53 h_{kp} (\lg Fr_1 - 1,05); \quad (1)$$

$$l_k = 8,6 h_{kp} (Fr_1)^{-0,18} + d_k (\text{ctg } \beta_1 - 0,36),$$

где $h_{kp} = \sqrt[3]{\frac{aq^2}{g}}$ – критическая глубина.

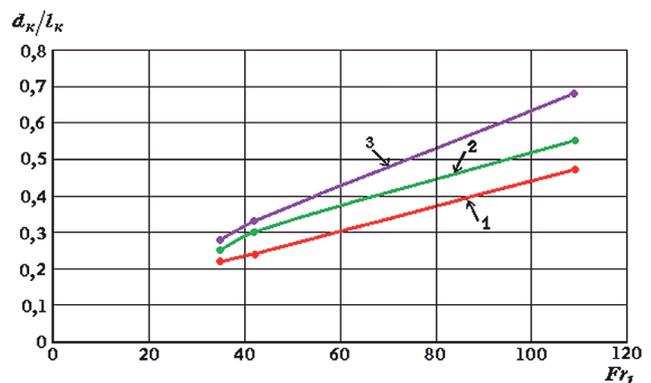


Рис. 3. График зависимости $d_k/h_{kp} = f(Fr_1)$ для комбинированного гасителя при трех углах наклона водоската β_1 : 1 – 45°; 2 – 55°; 3 – 70°

Fig. Graph of the dependence $d_k/h_{kp} = f(Fr_1)$ for the combined baffle at three angles of water fall slope β_1 : 1 – 45°; 2 – 55°; 3 – 70°

На установке 2 была апробирована методология оценки гидродинамического воздействия на элементы крепления нижнего бьефа при гасителях заглубленного типа [8, 14, 15]. В результате гидродинамических исследований

были оценены осредненные (P) и пульсационные (P^l) нагрузки на дне базового глубокого «укороченного» водобойного колодца, рисбермы и отводящего участка канала. Для этой цели

измерения велись точечными датчиками, а затем был использован двухкомпонентный датчик-плита (для измерения горизонтальной и вертикальной составляющих давления) [14].

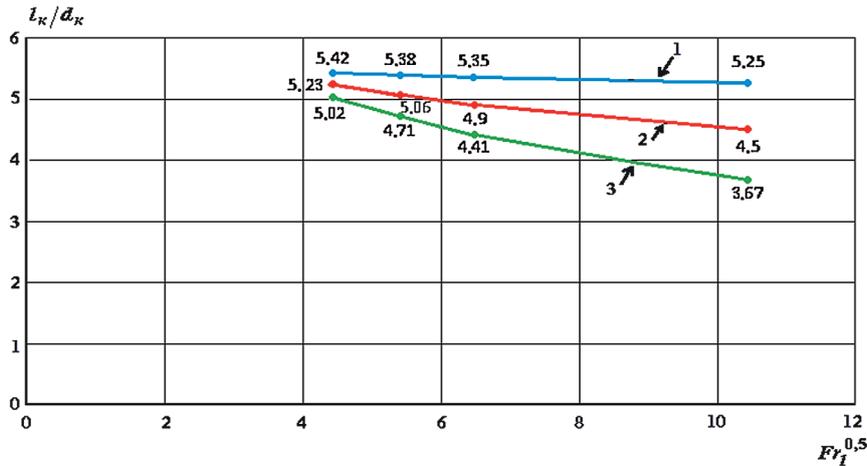


Рис. 4. График $l_k/h_{кр} = f(Fr_1^{0,5})$ для определения длины глубокого колодца с пашками на дне:
1 – $\beta_1 = 45^\circ$; 2 – $\beta_1 = 55^\circ$; 3 – $\beta_1 = 70^\circ$

Fig. Graph $l_k/h_{кр} = f(Fr_1^{0,5})$ for determination of the length of the deep well with checkers on the bottom::

1 – $\beta_1 = 45^\circ$; 2 – $\beta_1 = 55^\circ$; 3 – $\beta_1 = 70^\circ$

Установлено, что за гасителем (схема 1) в месте соударения струи с дном глубокого колодца значения актуальных гидродинамических нагрузок возрастают до $0,8Z_o$, где Z_o – напор на мелиоративном сооружении, а на водобойном уступе в зоне набегания транзитной струи формируется донный валец, оказывающий в отдельных точках крепления воздействие в пределах $(0,2...0,5) Z_o$. Образование второго прыжка в начале рисбермы приводит к тому, что сразу за водобойным уступом значения осредненного давления резко уменьшаются и примерно в створе $s-x/d_k = 1,5$ равны $P = 0,17Z_o$ (рис. 5). Поскольку вихри, сносимые из колодца, интенсивно взаимодействуют с вихрями, образующимися во вторичном гидравлическом прыжке, то к концу рисбермы наблюдается быстрое затухание пульсационной составляющей давления. Поэтому за базовым гасителем с глубоким «укороченным» колодцем длина участка затухания пульсационной составляющей давления оказывается примерно в 1,5 раза меньше, чем за прыжковым колодцем, где это происходит обычно на расстоянии более $x = 5d_k$ [3, 13, 14].

Рост значения обоих составляющих гидродинамического давления P и P^l при равномерном открытии затворов шлюза-регулятора происходит в нижней части вертикального крепления схемы 1 в зоне набегания транзитной струи, а по мере удаления от дна колодца их значения уменьшаются соответственно

до $0,1Z_o$ и $0,017Z_o$ в верхней части уступа. При этом по оси сооружения значения выше.

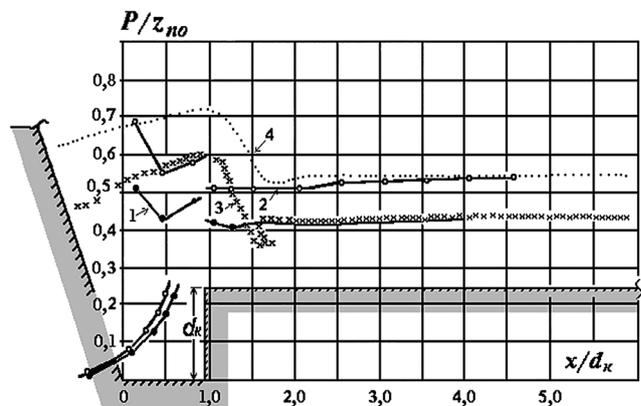


Рис. 5. Распределение осредненных давлений P/Z_o на разных участках крепления по оси транзитной части и устройств нижнего бьефа с гладким колодцем при работе сооружения полным фронтом:

1 – при $h_b/d_k = 0,4$; 2 – при $h_b/d_k = 0,4$;
3 и 4 – свободная поверхность потока соответственно при $h_b/d_k = 0,4$ и $0,65$

Fig. Distribution of averaged pressures P/Z_o at different fastening areas along the axis of the transit part and devices of the downstream with a smooth well when the structure is operating with a full front:

1 – at $h_b/d_k = 0.4$; 2 – at $h_b/d_k = 0.4$;
3 and 4 – free flow surface, respectively, at $h_b/d_k = 0.4$ and 0.65

С удалением от дна в колодце значения относительных величин как осредненных, так и пульсационных составляющих давления, снижаются, достигая минимума примерно в центре колодезной плиты.

Оценка нежелательных явлений гидравлического и гидродинамического характера ввиду возникновения вторичного гидравлического прыжка за водобойным уступом колодцев рассматриваемого типа и связанной с ним дополнительной турбулизацией потока на рисберме, ведущей к повышению пульсации и волнению поверхности потока, должна являться задачей дальнейших исследований. Устройство компактного глубокого и относительно короткого водобойного колодца с гасителями во второй части водобоя позволяет сократить длину участка крепления за мелиоративным гидротехническим сооружением при обеспечении его надежной и безопасной работы в природоохранном АПК.

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. **Гурьев А.П., Ханов Н.В., Волгин Н.А.** Влияние конструктивных параметров водобойного колодца на гашение энергии потока // Природообустройство. – 2015. – № 4. – С. 48-51.
3. **Волков В.И., Черных О.Н., Румянцев И.С. и др.** Открытые береговые водосбросы. – М.: Из-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, 1980. – С. 152-158.
5. **Черных О.Н.** Исследование сопряжения бьефов по типу затопленной струи за водосбросной 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. – V. VII. – M., 1983. – P. 97-101.
8. **Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И.** Лабораторные исследования открытых водосбросов. – М.: Изд-во МГУП, 2013. – 150 с.

Выводы

Удовлетворительным и эффективным как в гидравлическом, так и в технологическом отношении, следует признать для природоохранных малых сооружений на АПК гаситель в виде глубокого «укороченного» водобойного колодца с установкой на его дне массивной прорезной стенки. Данный тип колодца в 1,4...2,5 раза эффективнее гасит энергию, причем длина участка затухания пульсационной составляющей скорости и давлений за ним в 1,5 раза меньше, чем за совершенным гидравлическим прыжком на гладком водобое. Рекомендуемая схема гасителя обеспечивает нормальное распределение потока в плане как при работе водопропускных сооружений всем фронтом, так и при различных эксплуатационных схемах маневрирования затворами сооружения. При применении рекомендованной схемы устройств нижнего бьефа можно длину крепления сократить ориентировочно на 15...23%.

References

1. **Chernykh O.N., Khanov N.V.** Vodnye objekty v APK i ih explotatsiya // Kartofel i ovo-shchi. – 2019. – No. 11. – S. 6-10.
2. **Guryev A.P., Khanov N.V., Volgin N.A.** Vliyanie konstruktivnykh parametrov vodobojnogo kolodtsa na gashenie energii potoka // Prirodoo-bustroystvo. – 2015. – No. 4. – S. 48-51.
3. **Volkov V.I., Chernykh O.N., Rumyantsev I.S. i drugie.** Otkrytye beregovye vodosbrosy. – M.: Izd-vo FGBOU VPO MGUP, – 2012. – 243 s.
4. **Vagabov R.M.** Vliyanie izmeneniya geometricheskikh parametrov vodobojnogo kolodtsa na kinematischekeyu structure potoka // Trudy AZNII vodnyh problem, vyp. IX. – Baku: AZNII, 1980. – S. 152-158.
5. **Chernykh O.N.** Issledovanie sopryazheniya bjefov po tipu zatoplennoj strui za vodosbrosnoj potinoy pri nalichii glubokogo korotkogo vodobojnogo kolodtsa. Metodicheskie ukazaniya po vypolneniyu laboratornoj raboty. – M.: MGMI, 1991. – 29 s.
6. **Chernykh O.N., Litvinov A.V.** Issledovanie gidrodinamicheskikh nagruzok na elementy nizhnego bjefa pri nalichii glubokogo vodobojnogo kolodtsa // Issledovanie gidrotehnicheskikh sooruzhenij. Sb. nauchnyh trudov. – M.: MGMI, 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. – M., 1983. – S. 97-101.
8. **Volkov V.I., Chernykh O.N., Altunin V.I.** Laboratornye issledovaniya otkrytyh vodosbrosov. – M.: Izd-vo MGUP, 2013. – 150 s.
9. **Rothmund Hermann.** Energy conversion through beam deflection in a stilling chamber.

9. **Rotmund Hermann.** Energienn-Wadlung durch Strahlumlendung 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. **Волков В.И., Черных О.Н.** Проектирование и расчет открытых водосбросов при грунтовой плотине. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2019. – 130 с.

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

15. **Chernykh O.N., Komelkov L.V.** Hydrodynamik loads and stability of river beg protection dowustream of hydraulic structures // Abstracts XX Congress IAHR. – V. VII. – М., 1983.

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

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

Критерии авторства

Черных О.Н., Бурлаченко А.В. выполнили теоретические 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: 15.11.2021 г.

Одобрена после рецензирования 21.01.2022 г.

Принята к публикации 14.02.2022 г.

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 obrazobaniyu v oblasti prorodoo- bustrojstva i vodopolzovaniya. – 2017. – No. 10. – S. 44-52.

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

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

13. **Volkov V.I., Chernykh O.N.** Proektirovanie i raschet otkrytyh vodosbrosov pri gruntovoj plotline. – М.: Izd-vo RGAU-MSHA, 2019. – 130 s.

14. **Chernykh O.N.** Issledovanie ustojchivosti elementov krepleniya nizhnego bjefa trubchatyh vodopropusknyh sooruzhenij: Avtoref. dis. ... cand. tehn. nauk. – М.: MGMI, 1980. – 24 s.

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

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

17. **Chernykh O.N.** Otsenka uslovij sopryazheniya bjefov i meropriyatij po obespecheniyu nadezhnosti raboty vodosbrosov vysokonapornogo gidrouzla // Prirodoo- bustrojstvo. – 2020. – No. 2. – S. 56-65.

Criteria of authorship

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

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 15.11.2021

Approved after reviewing 21.01.2022

Accepted for publication 14.02.2022