

1. Болотов А.Г. Гидрофизическое состояние почв юго-востока Западной Сибири: дис. ... доктора биол. наук. Москва, 2017. – 351 с.
2. Макарычев С.В. Теплофизические основы мелиорации почв. – Барнаул: Изд-во АГАУ. – 279 с.
3. Bolotov, A.G. Water retention capacity of soils in the Altai region / A.G. Bolotov, E.V. Shein, S.V. Makarychev // Eurasian Soil Science. 2019. Т. 52. № 2. С. 187-192.
4. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

References

1. Abaimov V.F. Dendrologiia. - M.: Izd-vo «Akademiiia», 2009. – 363 s.
2. Vinogradov V.N. Problemy okhrany prirody i ratsionalnogo ispolzovaniia prirodnykh resursov // Les-noe khoziaistvo. 1984. № 7. S. 7.
3. Zaidelman F.R. Melioratsiia pochv. - M.: MGU, 2004. – 205 s.
4. Makarychev, S.V. Fizicheskie osnovy ekologii: Uchebnoe posobie / S.V. Makarychev, M.A. Mazirov. – Vla-dimir: VNIISKh, 2000. – 342 s.
5. Volkova, L.B. Predlozheniia po ukhodu za raznotravnyimi gazonami i ikh primeneniui / L.B. Volkova, N.A. So-bolev // Problemy ozeleneniia gorodov. Materialy VIII-i obshchegorodskoi konferentsii (Moskva, 9 dekabria 2004 g). Вып. 10. - М.: Prima-M, 2004. - S. 125-128.
6. Diev M.M. K ispolzovaniiu dekorativnykh travianistykh rastenii v parkakh i lesoparkakh // Dekorativnye travian-istye rasteniia dlia naselennykh punktov i sadovykh uchastkov Podmoskovia. - М.: 1990. - S. 43-47.
7. Bolotov A.G. Gidrofizicheskoe sostoianie pochv iugo-vostoka Zapadnoi Sibiri: dis. ... doktora biol. nauk. Moskva, 2017. – 351 s.
8. Makarychev S.V. Teplofizicheskie osnovy melioratsii pochv. – Barnaul: Izd-vo AGAU. – 279 s.
9. Bolotov, A.G. Water retention capacity of soils in the Altai region / A.G. Bolotov, E.V. Shein, S.V. Makarychev // Eurasian Soil Science. 2019. Т. 52. № 2. S. 187-192.
10. Vadiunina, A.F. Metody issledovaniia fizicheskikh svoistv pochvy / A.F. Vadiunina, Z.A. Korchagina. – М.: Ag-ropromizdat, 1986. – 416 s.

Данные об авторе

Макарычев Сергей Владимирович, профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры геодезии и физики ФГОУ ВО РФ Алтайский ГАУ.

e-mail: makarychev1949@mail.ru

*Алтайский государственный аграрный университет
Ул Папанинцев, д. 122, 656031, Барнаул, Россия*

About the author

Makarychev Sergey Vladimirovich, Professor, Doctor of Biological Sciences, Professor of Geodesy and Physics Department

Altai State Agrarian University

Papanintsev str., d. 122, 656031, Barnaul, Russia

Рецензент:

Касьянов А.Е., профессор, доктор технических наук, профессор кафедры Сельскохозяйственных мелиораций, лесоводства и землеустройства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.

DOI: 10.26897/2618-8732-2021-21-72-80

УДК 628. (1-21):628.113

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ИМИТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ СОПРЯЖЕНИЯ ПОТОКА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ ПРИРОДООХРАННЫХ ВОДОСБРОСНЫХ И СОПРЯГАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ АПК

Черных О.Н., Бурлаченко А.В.

В статье проанализированы особенности проведения экспериментальных работ при исследовании и природоохранном проектировании гидротехнических сооружений водных систем в агропромышленном ландшафте. Отмечена роль имитационных методов исследования режимов сопряжения потоков в нижнем бьефе открытых водосбросов на нескальном основании и сопрягающих сооруже-

ний быстроточного типа на мелиоративных каналах при выполнении исследовательских работ в том числе и бакалаврами направления Природообустройство и водопользование при освоении ряда учебных дисциплин.

Ключевые слова: природоохранные гидротехнические сооружения, лабораторные исследования, открытые водосбросы, гашение энергии в глубоком и коротком водобойном колодце, численный эксперимент.

EXPERIMENTAL AND SIMULATION METHODS FOR STUDYING FLOW CONNECTION MODES IN THE LOWER BOOTH OF NATURAL WATER DISCHARGE AND CONNECTING STRUCTURES OF AIC

Chernykh O.N., Burlachenko V.A.

The article analyzes the features of experimental work in the study and environmental design of hydraulic structures of water systems in the agro-industrial landscape. The role of simulation methods for studying the modes of conjugation of streams in the downstream of open spillways on a non-rocky base and conjugating structures of a fast-flow type on reclamation canals when performing research work, including bachelors of the direction of Environmental Engineering and Water Use in the development of a number of academic disciplines, is noted.

Keywords: nature protection hydraulic structures, laboratory research, open spillways, extinguishing energy in a deep and short stilling well, numerical experiment.

Определенные сложности, проявившиеся на всех уровнях системы образования (от начального до высшего) почти во всех странах мира из-за стремительно распространившегося в 2020 году COVID - 19 изменили подход не только к квалифицированному предоставлению преподавателями знаний, но и способности учащихся брать их. В этих условиях усилилась главная задача - развить у студентов стремление к постижению новых знаний, повышая при этом эффективность получения их, используя в большей мере самостоятельную работу и творческий подход [1, 2, 11]. Несмотря на то, что частично некоторые серьезные научные проекты пришлось приостановить и, как следствие, скорректировать сроки их выполнения, например, были приостановлены все экспериментальные работы, связанные с использованием лабораторий кафедры гидротехнических сооружений РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева, лабораторные работы, предусмотренные в научном студенческом сообществе и рабочими программами ряда дисциплин курсов «Гидротехнические сооружения» («Природоохранные гидротехнические сооружения», «Водопрпускные сооружения водных объектов», «Природо-приближенные гидротехнические сооружения») и «Проектирование сооружений» («Проектирование природоохранных сооружений», «Реконструкция и восстановление природоохранных сооружений», «Сооружения инженерной защиты и территорий», «История гидротехнического строительства») по направлению Природообустройство и водопользование направленности Природоохранные гидротехнические сооружения с помощью технических и программных возможностей для обеспечения дистанционного образовательного процесса в должном объеме, имеющегося на кафедре гидротехнических сооружений (ГТС), в большинстве своём были выполнены в дистанционном формате. При этом использовался комплекс виртуальных лабораторных работ, разработанный на кафедре ГТС и активно использующий информационные технологии, одним из элементов которых являлись работы по оценке режимов работы ГТС различного назначения [3, 5, 6].

Так для гашения избыточной энергии потока в нижнем бьефе ГТС наряду с обычными типами водобойных колодцев, рассчитанных из условия размещения в них свободного гидравлического прыжка длиной l_{np} [4, 8], находят применение относительно глубокие и короткие колодцы [7]. Эта конструкция колодца обеспечивает эффективное гашение энергии. Затопленный режим сопряжения в нижнем бьефе за этим гасящим устройством формируется при меньших глубинах, чем в случае обычного колодца. Длина участка затухания пульсационных составляющих скоростей и давлений за колодцем этого типа, оказывается, в 1,5 раза меньше, чем за совершенным гидравлическим прыжком на гладком водобое. Величина пульсации давления в точках крепления имеет максимальное значение в месте удара струи о дно водобойного колодца, достигая 80% от напора на сооружении. К недостаткам данной конструкции относятся: необходимость довольно значительного заглубления водобойной плиты, относительно сильные вертикальные и продольные пульсации скоростей и давлений, большая неравномерность горизонтов воды на участке гашения. Это приводит к ухудшению условий

протекания потока на большой длине отводящего канала, в частности, к образованию дополнительного прыжка за уступом, донного режима скоростей, повышенной их пульсации и значительному волнению на водной поверхности. Устранение отмеченных недостатков достигается путём установки на водобое дополнительные гасящих устройств [8, 9, 10]. Наилучшие гидравлические условия имеют место при наличии пирсов на дне глубокого колодца (рис. 1). Размеры гасителя определяются по графическим зависимостям (рис. 2) или по аппроксимирующим их выражениям:

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

$$l_k = 8,6 h_{кр} (Fr_1)^{-0,18} + d_k (\operatorname{ctg} \beta_1 - 0,36), \quad (2)$$

или по следующим формулам:

$$d_k = h_1 (1,70 \sqrt{Fr_1} - 5,93), \quad (3)$$

$$l_k = 8,6 h_1 (Fr_1)^{0,15} + d_k (\operatorname{ctg} \beta_1 - 0,36), \quad (4)$$

где d_k , l_k – соответственно глубина и длина колодца;

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q^2}{g}} - \text{критическая глубина};$$

$Fr_1 = V_1^2/g h_1 = q^2/g h_1^3$ – число Фруда в сжатом сечении для гладкого водобоя, расположенного на уровне дна отводящего канала при идентичных параметрах ГТС;

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);

$\beta_1 = 45^\circ \dots 70^\circ$ – угол входа бурной струи в колодец.

для косогорных участков при $\beta_1 = 45 \dots 70^\circ$, числах Рейнольдса в отводящем канале 16700...41700, $Fr_1 = 20 \dots 130$:

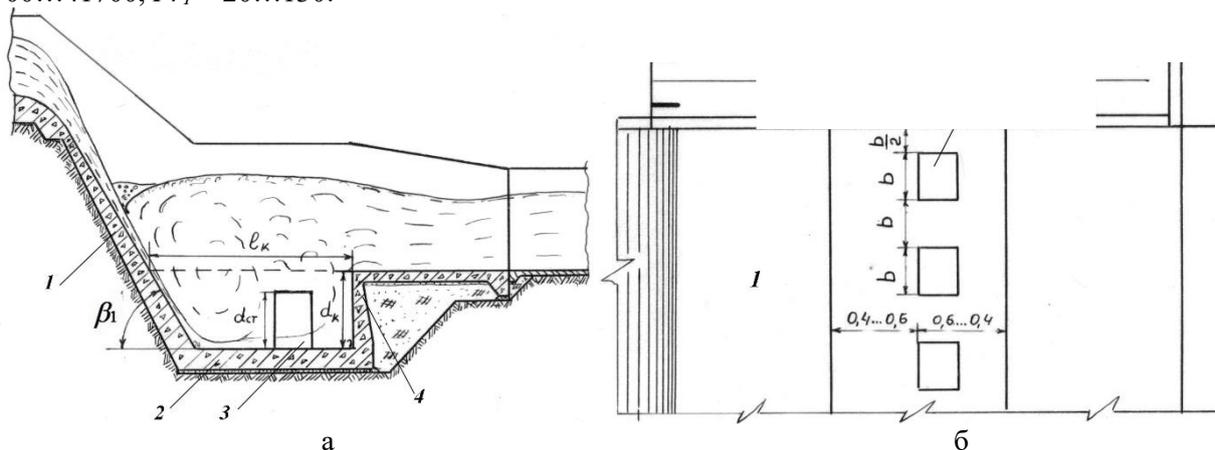


Рисунок 1. Схема к расчёту глубокого и относительно короткого водобойного колодца с прорезной стенкой на дне

а - продольный разрез; *б* – план; 1 – водоскат; 2 – дно колодца; 3 – прорезная водобойная стенка; 4 – водобойный уступ

При таких размерах колодца минимальная устанавливаемая бытовая глубина в отводящем русле $h_{зам}$ равна

$$h_{зам} = h_2 \left[\frac{0,79 \sqrt{Fr_1} + 0,27}{0,5(\sqrt{1 + 8Fr_1} - 1)} \right], \quad (5)$$

$$\text{или } h_{зам} = h_1 (0,79 \sqrt{Fr_1} + 0,27), \quad (6)$$

где h_2 – вторая сопряжённая глубина потока за горизонтальным водбоем без гасителей. Значения относительной глубины $h_{зам}/h_2$ для колодца с прорезной стенкой на дне при числах $Fr_1 = 20 \dots 120$ довольно высоки и находятся в пределах 0,64...0,53.

Если размеры колодца с пирсами сравнить с размерами обычного колодца ($l_k = 0,8 h_{кр}$) и глубокого колодца без прорезных гасителей (рис. 2а), то по отношению к первому величина l_k уменьшается на 30...60%, а ко второму – до 45%. По сравнению с прыжковым водобойным колодцем необходимость заглубления рассматриваемого гасителя возникает лишь при числах Фруда $Fr_1 \geq 25$. А по срав-

нению с глубоким колодцем без дополнительных гасящих устройств, при одинаковых параметрах потока, глубина колодца снижается в 1,9...6,0 раз при установке пирсов на дне. При этом резко снижается значение продольной пульсационной составляющей скорости потока и происходит более интенсивное затухание турбулентных пульсаций по длине отводящего канала (примерно в 1,3...1,6 раза); изменяется плановая неравномерность распределения давления и скоростей потока, а значения стандарта пульсации давления падают на 20% [4].

Таким образом, компактные размеры исследуемого в работе гасителя энергии позволяют значительно сократить не только длину участка крепления, но и его толщину, что приводит к уменьшению затрат на устройство концевой участка сопряжения при обеспечении надёжной работы всего водопропускного сооружения в целом. Научно-исследовательская работа для студентов как при проведении лабораторных занятий, так и при выполнении выпускной квалификационной работы может состоять из двух частей: экспериментальных исследований на модели открытого водосбросного сооружения в гидравлической лаборатории кафедры и численного эксперимента с использованием программы гидравлического расчёта нижнего бьефа за ГТС.

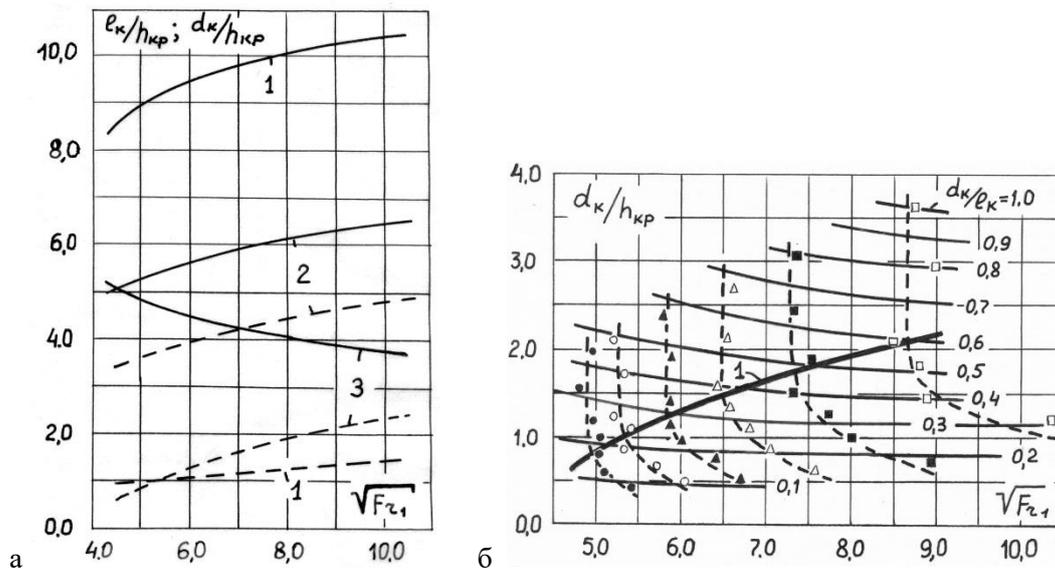


Рисунок 2. Зависимости для определения размеров водобойных колодцев:

а – для определения длины (сплошная линия – относительная длина) и глубины (пунктирная линия – относительная глубина); 1 – обычный прыжковый колодец; 2 – гладкий глубокий укороченный колодец; 3 – глубокий колодец с пирсами на дне; б – относительных размеров колодца МГМИ; 1 – основная расчётная кривая, $h_{кр}$ - критическая глубина в створе водобойной части сооружения

В рамках проведения лабораторной работы на модели реального природоохранного сооружения, заканчивающегося глубоким колодцем за быстротоком на мелиоративном канале, трубчатый или шахтный водосбросом, водосливной плотиной и т.п., в гидравлической лаборатории кафедры ГТС (рис. 3.) целью исследований является: изучение режимов сопряжения в нижнем бьефе водосбросного сооружения с глубоким, но относительно коротким водобойным колодцем, работающим в условиях сопряжения бьефов по типу затопленной струи; оценка эффективности работы рассматриваемого гасителя энергии при заданных конструктивных и гидравлических условиях; экспериментальное определение основных параметров потока и после подсчёта размеров обычного прыжкового водобойного колодца, сопоставление их с размерами колодца исследованного типа.

В рамках выполнения виртуальной лабораторной работы целью исследований является нахождение габаритных размеров глубоко колодца на ЭВМ: вычисление оптимальных основных размеров глубокого водобойного колодца по формулам (3), (4), (6), полученным на основании экспериментальных исследований [4, 7], при изменении удельного расхода в нижнем бьефе q от 0,2 до 5,2 м²/с (в натуре), подсчитанной глубине в сжатом сечении h_l [8], и заданном угле наклона водоската, например, $\beta_l = 1,05$ рад, и сравнение полученных результатов с размерами, полученными по графикам на рисунке 2 и на модели при соответствующих условиях сопряжения бьефов.

Обычно расчёты выполняются для двух-трёх удельных расходов, что позволяет установить оптимальную конструкцию и параметры гасящих устройств. По результатам проведённого численного

эксперимента даётся общая оценка достоверности расчёта по гидравлическому режиму, наблюдаемому при соответствующих параметрах потока на модельной установке в экспериментальной части лабораторной работы, габаритах и конструктивных особенностях гасящего устройства.

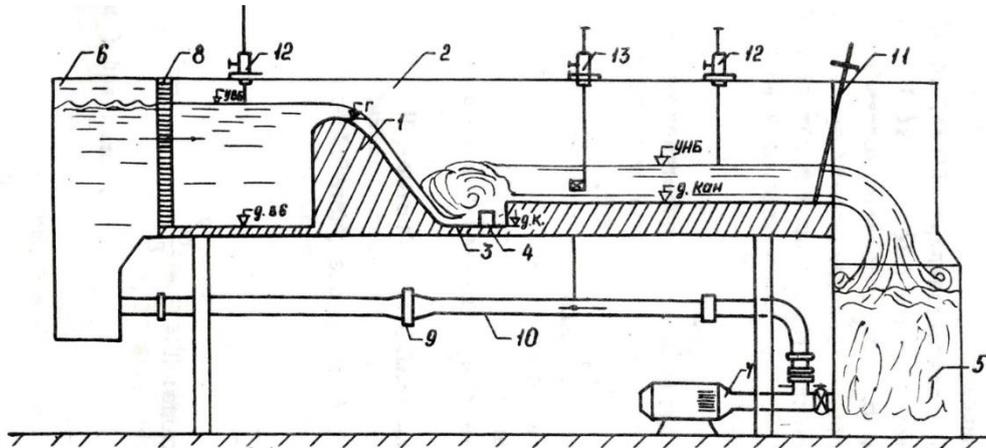


Рисунок 3. Схема лабораторной установки:

1 – водосливная плотина; 2 – зеркальный лоток; 3 – водобойный колодец; 4 – пирсы; 5 – сливной бак; 6 – напорный бак; 7 – насос; 8 – успокоительные решётки; 9 – расходомер; 10 – подводящая труба; 11 – регулятор уровня нижнего бьефа (жалюзи); 12 – шпигельмасштаб; 13 – измеритель скорости

При этом рекомендуется следующий порядок действий и последовательность выполнения расчёта по программе, разработанной с помощью редактора электронных таблиц Excel:

- заполнение таблицы исходных данных для расчёта. При этом водосбросное сооружение проектируется как эксплуатационное ГТС на пропуск расхода $Q_{расч} = Q_n = \dots$ м³/с при НПУ =м, уровне нижнего бьефа $\nabla_{УНБ} = \dots$ м и ширине по дну отводящего русла $b = \dots$ м;

- вычисление по зависимостям (3) и (4) соответственно глубины d_k и длины l_k глубокого водобойного колодца с пирсами, предварительно установив V_1 и h_1 - скорость и глубину потока в сжатом сечении, и подсчитав число Фруда Fr_1 , например, по формуле (7)

$$Fr_1 = Q^2 / (g b^2 h_1^3); \quad (7)$$

- нахождение глубины затопления $h_{зат}$ по зависимости (6);

- по данным гидравлического расчёта водосбросного сооружения делают вывод об эффективности работы устройств нижнего бьефа глубокого водобойного колодца с пирсами на дне. При этом целесообразно сравнить результаты расчёта путём визуализации потока (схемы, рисунки, фотографирование, замеры глубин и т.д.) на лабораторной экспериментальной установке, выбрав соответствующий масштаб модели ГТС.

Отметка расчетного уровня верхнего бьефа	16
Отметка дна подводящего русла (реки)	10
Отметка дна отводящего русла (реки)	10
Расчетный расход водосброса, $Q_{расч}$, м ³ /с	5
Отметка нижнего бьефа при $Q_{расч}$	11.4
Ширина пролета, b , м	2
Угол роспуска боковой стенки водобоя, град	0
Отметка дна рисбермы	10
Угол наклона водосливной грани к горизонту, град (обычно 45°...70°)	55
Глубина (d_k) и длина (l_k) глубокого водобойного колодца с пирсами определяются по формулам:	
$d_k = 2,53 h_{кр} (\lg Fr_1 - 1,05),$	

$l_k = 8,6 h_{кр} (Fr_1)^{-0,18} + d_k (ctg \beta_1 - 0,36),$			
где	h_k - критическая глубина потока, устанавливаемая по зависимости		
$h_{кр} = (aq^2/g)^{0,33}$			
a - коэффициент, принимаемый	$a =$	1.05	
q - удельный расход, определяемый по формуле:			
$q = Q/b$			
	$q =$	2.5	м ² /с,
тогда критическая глубина составит	$h_{кр} =$	0.87	м
Число Фруда Fr_1			
$Fr_1 = V_1^2/gh_1,$			
V_1 и h_1 - скорость и глубина потока в сжатом сечении, принимаемом в расчете на уровне дна отводящего канала (рисбермы)			
h_1 устанавливается методом подбора из уравнения:			

$$Q^2 / (b^2 2g\varphi^2) = h_1^2 (E + V_o^2 / 19,62 - h_1) \quad (1)$$

E - превышение уровня верхнего бьефа над дном отводящего канала			
	$E =$	6	м
V_o - скорость подхода потока к водосливу			
	$V_o =$	0.42	м/с
φ - коэффициент скорости, зависящий от различных факторов, включая шероховатость водосливной поверхности (в работе принять = 0,95)			
Для определения h_1 нажать кнопку "Расчет h_1 "			

Расчет h-1	$h_{1, м}$	Рас- д, м ³ /с	φ	$b, м$	Левая часть уравнения (1)	Правая часть уравнения (1)
	0.25	5.00	0.95	2.00	0.35	0.35
					$h_1 =$	0.25 м
Скорость потока в сжатом сечении					$V_1 =$	10.10 м/с
Число Фруда					$Fr_1 =$	42.02

В результате:

Глубина (d_k) глубокого водобойного колодца составит:			
	$d_k =$	1.27	м
Принимаем глубину водобойного колодца			
1.30 м			
Длина (l_k) глубокого водобойного колодца составит:			
	$l_k =$	4.27	м
Принимаем длину водобойного колодца			
4.30 м			

Минимальная глубина отводящего русла $h_{зам}$, обеспечивающая затопление прыжка, определяется по формуле:

$$h_{зам} = h_1 (0,79 Fr_1^{0,5} + 0,27)$$

При принятых параметрах колодца затопляющая глубина составит			
	$h_{зам} =$	1.33	м

Учитывая, что бытовая глубина потока составляет

			$h_0 =$	1.4	м,
сопряжение бьефов будет осуществляться с затопленным прыжком, так как:					
	$h_{зам} =$	1.33	<	$h_0 =$	1.4.

Рисунок 4. Пример расчёта глубокого короткого водобойного колодца с пирсами на ЭВМ (лист книги Excel с исходными данными)

Результаты численного эксперимента, проведённого по программе, составленной В.И. Волковым (рис. 4) и выполненного студенткой Ван Ясью для глубокого колодца с пирсами на дне (рис. 1) при изменении расхода Q_n в диапазоне от 2 до 10 м³/с, и удельного расхода в отводящем канале $q_n = 0,2 \dots 5,2$ м²/с, приведённые в качестве примера (рис. 5) позволяют проанализировать влияние угла наклона водоската на параметры водобойного колодца, что важно для косогорных участков трассы водного объекта при мотивированном выборе оптимальных как отдельных элементов устройств его нижнего бьефа (водобойного участка, рисбермы и концевое крепление), так и общей конструктивной схемы ГТС в целом.

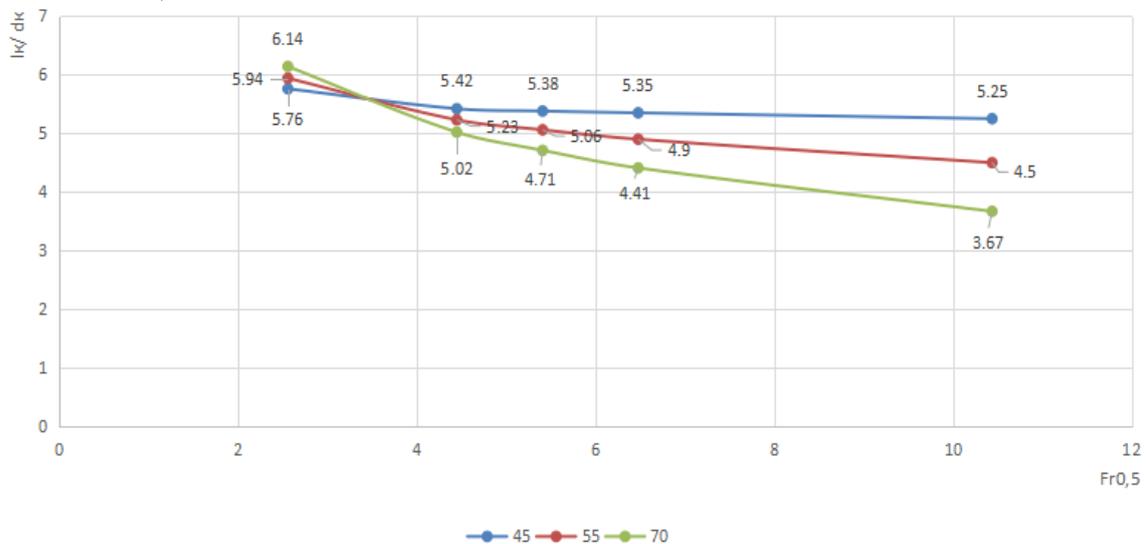


Рисунок 5. График зависимости $lk/hk = f(Fr^{0,5})$ для трёх углов наклона водоската $\beta = 45^\circ, 55^\circ$ и 70°

Таким образом, использование имитационного метода исследования режимов потока на концевом участке открытых водосбросных и сопрягающих сооружений водных систем разного назначения позволяют получить корректные научные данные и дать в довольно полном объёме необходимые знания в области как экспериментального, так и расчётного обоснования наиболее часто встречающихся конструкций гидротехнических сооружений водных объектов АПК.

Литература

1. Корнеев И.В., Черных О.Н., Алтунин В.И. Некоторые аспекты формирования компетенций студентов по направлению подготовки Природообустройство и водопользование // Вестник Учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2016. № 9. С. 16-21.
2. Ханов Н.В., Черных О.Н., Алтунин В.И. Особенности организации научно-исследовательской работы магистрантов // Вестник Учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2015. № 7. С. 33-38.
3. Черных О.Н., Ханов Н.В. Методика совершенствования учебного процесса в лабораторном комплексе кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева» // Вестник Учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2017. № 10. С. 39-44.
4. 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.
5. Черных О.Н., Ханов Н.В. Водные объекты в АПК и их эксплуатация // Картофель и овощи. 2019. № 11. С. 6-10.
6. Черных О.Н. Формирование профессиональной компетентности в области «Природообустройство и водопользование» и проблема сохранения гидроландшафтного историко-культурного наследия ТСХА в учебной

практике студентов // Вестник Научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2018. № 12. С. 86-94.

7. 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.
8. Волков В.И., Черных О.Н., Алтунин В.И. Лабораторные исследования открытых водосбросов: учебное пособие. М.: МГУП, 2013. 150 с.
9. Волков В.И., Черных О.Н. Оценка безопасности водосбросных сооружений при грунтовых плотинах: учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА, 2019. 118 с.
10. Черных О.Н. Роль проведения обследований водных объектов при формировании компетентности студентов направления Природообустройство и водопользование профиль Природоохранные гидротехнические сооружения // Вестник Научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2019. № 15. С. 22-29.
11. Черных О.Н. Творческие аспекты образования специалистов направления Природообустройство и водопользование на примере расчётно-графических работ вариативным дисциплинам // Вестник Научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2020. № 18. С. 35-41.

References

1. Korneev I.V., Chernykh O.N., Altunin V.I. Nekotorye aspekty formirovaniia kompetentsii studentov po napravleniiu podgotovki Prirodoobustroistvo i vodopolzovanie // Vestnik Uchebno-metodicheskogo obiedineniia po obrazovaniiu v oblasti prirodoobustroistva i vodopolzovaniia. 2016. № 9. S. 16-21.
2. Khanov N.V., Chernykh O.N., Altunin V.I. Osobennosti organizatsii nauchno-issledovatel'skoi raboty magistrantov // Vestnik Uchebno-metodicheskogo obiedineniia po obrazovaniiu v oblasti prirodoobustroistva i vodopolzovaniia. 2015. № 7. S. 33-38.
3. Chernykh O.N., Khanov N.V. Metodika sovershenstvovaniia uchebnogo protsessa v laboratornom komplekse kafedry gidrotekhnicheskikh sooruzhenii FGBOU VO «RGAU-MSKha imeni K.A. Timiriazeva» // Vestnik Uchebno-metodicheskogo obiedineniia po obrazovaniiu v oblasti prirodoobustroistva i vodopolzovaniia. 2017. № 10. S. 39-44.
4. Chernykh O.N. Litvinov A.V. Issledovanie gidrodinamicheskikh nagruzok na elementy nizhnego befa pri nalichii glubokogo vodoboinogo kolodtsa // Issledovaniia gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. Sbornik nauchnykh trudov. – М.: МГМИ, 1982. S. 42-47.
5. Chernykh O.N., Khanov N.V. Vodnye obiekty v APK i ikh ekspluatatsiia // Kartofel i ovoshchi. 2019. № 11. S. 6-10.
6. Chernykh O.N. Formirovanie professionalnoi kompetentnosti v oblasti «Prirodoobustroistvo i vodo-polzovanie» i problema sokhraneniia gidrolandshaftnogo istoriko-kulturnogo naslediia TSKha v uchebnoi praktike studentov // Vestnik Nauchno-metodicheskogo soveta po prirodoobustroistvu i vodopolzovaniiu. 2018. № 12. S. 86-94.
7. Chernykh O.N. Issledovanie sopriazheniia befov po tipu zatoplennoi strui za vodosbrosnoi plotinoi pri nalichii glubokogo korotkogo vodoboinogo kolodtsa. Metodicheskie ukazaniia po vypolneniiu laboratornoi raboty. – М.: МГМИ, 1991.
8. Volkov V.I., Chernykh O.N., Altunin V.I. Laboratornye issledovaniia otkrytykh vodosbrosov: uchebnoe po-sobie. М.: МГУП, 2013. 150 s.
9. Volkov V.I., Chernykh O.N. Otsenka bezopasnosti vodosbrosnykh sooruzhenii pri gruntovykh plotinakh: uchebnoe posobie. М.: RGAU-MSKha, 2019. 118 s.
10. Chernykh O.N. Rol provedeniia obsledovaniia vodnykh obiektoov pri formirovaniia kompetentnosti studentov napravleniia Prirodoobustroistvo i vodopolzovanie profil Prirodookhrannye gidrotekhnicheskii so-oruzheniia // Vestnik Nauchno-metodicheskogo soveta po prirodoobustroistvu i vodopolzovaniiu. 2019. № 15. S. 22-29.
11. Chernykh O.N. Tvorcheskie aspekty obrazovaniia spetsialistov napravleniia Prirodoobustroistvo i vodo-polzovanie na primere raschetno-graficheskikh rabot variativnym distsiplinam // Vestnik Nauchno-metodicheskogo soveta po prirodoobustroistvu i vodopolzovaniiu. 2020. № 18. S. 35-41.

Данные об авторах:

Черных Ольга Николаевна, доцент кафедры «Гидротехнические сооружения», кандидат технических наук. Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова.

e-mail: gtsmgup@mail.ru

*Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева
ул. Тимирязевская, 49, 127550, Москва, Россия*

Бурлаченко Алёна Владимировна, доцент кафедры «Гидравлика», кандидат технических наук.

e-mail: chtara@mail.ru

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Ленинградский проспект, 64, 125319, Москва, Россия

Data about the authors:

Chernikh Olga Nikolaevna, Associate Professor, Department of Hydraulic Structures, Candidate of Technical Sciences. Institute of Melioration, Water Management and Construction named after A.N. Kostyakov. *Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev Timiryazevskaya str., 49, 127550, Moscow, Russia.*

Burlachenko Alena Vladimirovna, Associate Professor of the Department of Hydraulics, Candidate of Technical Sciences.

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

Рецензент:

Суэтина Татьяна Александровна, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедры «Гидравлика», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ).

DOI: 10.26897/2618-8732-2021-21-80-86

УДК 519.25: 556.53

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ В ТЕЧЕНИЕ ГОДА НА УКЛОН ВОДНОЙ
ПОВЕРХНОСТИ РЕКИ МСТЫ**

Наумов В.А.

Предложена усовершенствованная Mathcad-программа, позволяющая обрабатывать большие массивы информации об ежедневных уровнях воды в реках. Исходными данными послужили результаты наблюдений гидрологических постов Росгидромета за уровнем реки Мсты (бассейн Невы) за 10 лет (2009-2018). Проведенный анализ показал тесную стохастическую связь уклонов водной поверхности (УВП) с уровнями воды. Коэффициент парной корреляции между ними во все годы оставался выше 0,7. Диапазон изменения УВП довольно узкий: 0,166 до 0,194 %. Полученные уравнения линейной регрессии вполне удовлетворительно согласуются с данными наблюдений. Индекс детерминации находится в интервале от 0,608 до 0,859. Результаты исследования могут быть использованы при краткосрочном прогнозировании прохождения паводковой волны.

Ключевые слова: Mathcad-программа, река Мста, уклон водной поверхности, ежедневные уровни воды, коэффициент парной корреляции, уравнение линейной регрессии.

**EFFECT OF CHANGES IN THE LEVEL DURING THE YEAR ON THE SLOPE OF THE WATER
SURFACE OF THE MSTA RIVER**

Naumov V.A.

The advanced Mathcad program are proposed for processing large amounts of information about daily water levels in rivers. The results of observations of the hydrological posts of Roshydromet over the level of the Msta River (Neva basin) for 10 years (2009-2018) served as initial data. The analysis showed a close relationship to the stochastic slopes of the water surface (SWS) with the water levels. The coefficient of pair correlation between them remained above 0.7 in all years. The range of changes in SWS is rather narrow: 0.166 to 0.194%. The obtained linear regression equations agree quite satisfactorily with the observational data. The determination index is in the range from 0.608 to 0.859. The results of the study can be used for short-term forecasting of the passage of a flood wave.

Keywords: Msta River, water surface slope, daily water levels, pair correlation coefficient, linear regression equation.

Введение