

5. Дубенок Н.Н. Модель смешанных эффектов зависимости высот от диаметров деревьев в сосновых древостоях / Н.Н. Дубенок, В.В. Кузьмичев, А.В. Лебедев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2021. – № 237. – С. 59-74. – DOI: 10.21266/2079-4304.2021.237.59-74.

6. Garcia O. Dynamic modelling of tree form / O. Garcia // Mathematical and Computational Forestry and Natural-Resource Sciences. – 2015 – № 7. – P. 39-15.

7. Zeng, W.S. A study on taper equation / W.S. Zeng; Z.Y. Liao // Sci. Silvae Sin. – 1997. – № 33. – P. 127–132.

УДК 626/627

## **СОПРЯЖЕНИЕ БЬЕФОВ БЕТОННЫХ ПЛОТИН С УЧЕТОМ УСТАНОВКИ РЕБРИСТЫХ ШЕРОХОВАТОСТЕЙ НА ВОДОСЛИВНОЙ ГРАНИ**

*Каньяругендо Леонидас, аспирант кафедры гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, kanyu.l@mail.ru*

*Научный руководитель: Ханов Нартмир Владимирович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, khanov@rgau-msha.ru*

***Аннотация:** В статье приводится сравнительный анализ изменения второй сопряженной глубины воды в отводящем канале при установке ребристых элементов сопротивления в качестве гасителя энергии потока на сливной грани водослива. Полученные теоретические и экспериментальные результаты позволили оценить эффективность искусственной шероховатости как гаситель энергии потока.*

***Ключевые слова:** сопряжение бьефов, водосливная плотина, искусственная шероховатость, гаситель энергии потока.*

Ключевым преимуществом применения гасителей непосредственно на водоскате водосброса является устранение дорогостоящих энергогасящих сооружений в нижнем бьефе или же упрощение их конструкции, сохраняя при этом надежную защиту низового бьефа от местного размыва. В истории гидротехнического строительства разработаны ряд мероприятий, направленных на гашение энергии потока. Одни из них заключаются в установке гасителей непосредственно на сливной грани, такие как устройство ступеней на сливной грани [1] или же применение гасителей в нижнем бьефе [2, 3], отброс струй, устройство водобойных стенок и колодцев, и другие. [4,5]

Настоящие исследования проводились на физической модели в лаборатории водопропускных сооружений кафедры гидротехнических сооружений ГРАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.

Рассмотрены три случая истечения:

- Истечение при гладкой поверхности;
- истечение над ребрами шероховатости в виде двойного зигзага против течения;
- истечение над ребрами сопротивления типа брусков в разбежку.

Экспериментальная установка состоит из одного пролета водослива шириной 20.8см, высотой 70см. Было принято решение использовать ребра шероховатости квадратного сечения 1см x 1см за исключением двух первых рядов, на которых толщина элементов сопротивления составила 0.5см для первого и 0.8см для второго для обеспечения плавного подхода потока к шероховатой грани.

Уровень воды в отводящем канале регулировался с помощью подпорной стенке, установленной в концевой части лотка, что позволило создавать нужный подпор для образования прыжка в предельном положении и определить вторую сопряженную глубину. Экспериментальная установка позволял, при необходимости, создать подпор до 30см в отводящем канале.

Исследования начались с определения коэффициента расхода  $m$ . Для этого, общий расход воды, подаваемый на физической модели, измерялся с помощью ультразвукового расходомера «Днепр-7», датчики которого установлены на подающей трубе.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что коэффициент расхода используемой модели порога постепенно уменьшается при увеличении напора и варьируется от 0,495 до 0,4, соответственно при напоре от 6см до 28,5см на модели, что соответствуют водосливам практического профиля.

Определение коэффициента расхода позволило в дальнейшем определить расход при любом напоре по формуле:

$$Q = \sigma_n \cdot m \cdot \varepsilon \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

где:  $\sigma_n$  – коэффициент подтопления равен 1, так как водослив не подтоплен;

$\varepsilon$  – коэффициент бокового сжатия, который можно определять по формуле Е.А. Замарины:

$$\varepsilon = 1 - a \cdot \frac{H_0}{H_0 + b}$$

$a$ - безразмерный коэффициент учитывающий влияние формы быков или устоев. Для закругленной формы,  $a = 0.11$ .

$H_0 = H + \alpha V^2 / 2g$ . Для предварительных расчетов принимаем  $H_0 = H$ .

$b$  – Ширина пролета = 20.8см = 0.208 м.

Кроме того, местная скорость потока, по выбранным сечениям, была измерена трубкой Пито, что позволило сравнить эпюры скоростей в нижнем бьефе при вышеуказанных режимах.

Полученные расчетные и экспериментальные данные сводим в таблицу 1 .

*Таблицы 1*

$H_0=H,$ м	m	Q, м <sup>3</sup> /с	Гладкая поверхность		зигзаг $h'',$ м	Бруски в разбежку $h'',$ м
			$h',$ м	$h'',$ м		
0.05	0.495	0.00510	-	0.096	0.079	-
0.075	0.49	0.00927	0.014	0.14	0.11	0.113
0.1	0.48	0.01398	0.019	0.171	0.141	0.14
0.15	0.442	0.02366	0.031	0.25	0.191	0.194
0.2	0.415	0.03420	0.041	-	0.236	0.245
0.25	0.403	0.04641	0.056	-	0.29	-

При условии образования гидравлического прыжка в предельном положении, ребра сопротивления в виде двойного зигзага и бруски в разбежку приводят к уменьшению второй сопряженной глубины гидравлического прыжка.

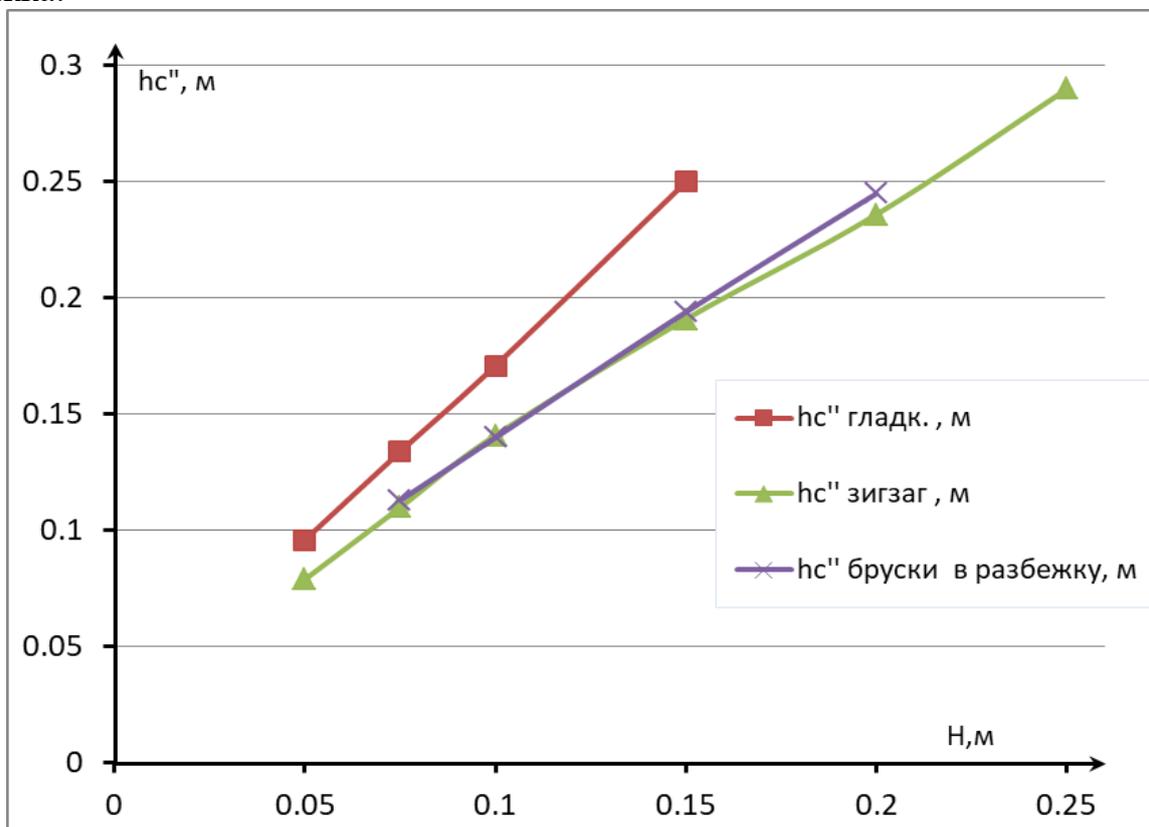


Рисунок. 1. Зависимость второй сопряженной глубины от напора на водосливе при условии начала прыжка в предельном положении

Использование искусственной шероховатости на водосливной грани приводит к уменьшению второй сопряженной глубины гидравлического прыжка. Это приводит к изменению характера гидравлического прыжка, свидетельствует о значительных потерях энергии потока при установке ребер сопротивления на водосливной грани.

## **Выводы**

1. Поток, при истечении на гладкой поверхности водослива, имеет повышенную размывающую способность в нижнем бьефе, что повлияет на

картину местного и общего размывов. Использование искусственной шероховатости на водосливной грани приводит к уменьшению второй сопряженной глубины гидравлического прыжка. Это означает изменение характера гидравлического прыжка, который может измениться с отогнанного на надвинутый при одной и той же глубине воды в отводящем канале;

2. элементы искусственной шероховатости, установленные на сливной грани, приводят к аэрации при маленьких напорах. Поток постепенно стремится к сплошному неаэрированному с увеличением напора. Оба исследованных сопротивления вызывают большие амплитуды колебания свободной поверхности в нижнем бьефе, которые затухают с расстоянием.

3. Искусственная шероховатость в виде двойного зигзага или бруска в разбежку может быть применена на водосливной грани в средне- и низконапорных плотинах.

### **Библиографический список**

1. Нань Фэн. Совершенствование конструкций и методов расчетного обоснования бетонных водосбросов со ступенями на низовой грани: диссертация кандидата технических наук. М., 2015. 211 с.

2. Ханов Н.В., Журавлёва А.Г., Мвуйекуре Жан Клод. Рекомендации по проектированию и строительству креплений нижнего бьефа трубчатых водовыпусков с гасителями ударного действия // Природообустройство. 2017. № 4. С. 27-34.

3. Мвуйекуре Жан Клод. Экспериментальное обоснование параметров гасителей ударного действия трубчатых водовыпусков: диссертация кандидата технических наук. - Москва, 2016. - 157 с.

4. Гурьев А.П., Мареева О.В., Верхоглядова А.С., Бракени А. водобойный колодец с закруткой потока // Природообустройство. 2021. - №1. –С.79-86.

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

УДК 581.93

### **ИТОГИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРАВЯНИСТОГО ЯРУСА НАСАЖДЕНИЙ ЛЕСНОЙ ОПЫТНОЙ ДАЧИ РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА МЕТОДОМ СЕТОЧНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ**

*Гемонов Александр Владимирович, к.с.-х.н., доцент кафедры землеустройства и лесоводства, ФГБОУ ВО РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, agemonov@yandex.ru*

*Попченко Михаил Игоревич, к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории биогеографии, ФГБУН Институт географии РАН, popchenko\_m@inbox.ru*