

направляющими, роль которых играют вертикальными жёстко установленные в дне канала стойки, которые исключают возможность перемещения в горизонтальной плоскости и перекашивания положения оголовка водовыпуска.

### **Библиографический список**

1. Али, М.С. Насосы и насосные станции: Учебник для вузов / М.С. Али, Д.С. Беглецов, В.Ф. Чебаевский.– М.: РГАУ-МСХА, 2015. - 330 с.
2. Али, М.С. Особенности переходных процессов в насосных станциях с водовыпусками сифонного типа / М.С. Али, Д.С.Бегляров, Е.А.Лентяева, Д.Ш.Апресян // Журнал «Природообустройство». Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. - 2016. -№ 3.- С.16–20.

УДК 626-335.3

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УСИЛЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ В КАЧЕСТВЕ ГАСИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ПОТОКА НА НИЗКОНАПОРНЫХ ВОДОСЛИВАХ**

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

***Аннотация:** В статье изложены различные модели проектирования и область применения искусственных шероховатостей в качестве гасителя энергии потока для решения различных технических задач. Также обоснована гипотеза их эффективности на водосливной грани низконапорной бетонной плотины.*

***Ключевые слова:** искусственная шероховатость, быстрое течение, гашение энергии потока.*

Регулирование параметров потока на искусственных руслах или на переходе потока с гидротехнических сооружений на естественное русло всегда было актуальной задачей в гидротехнике. Нуждаются в регулировании параметры потока в открытых руслах для безопасной эксплуатации самих сооружений, поддержки экологического состояния в допустимых пределах и обеспечения желаемых технических условий работы сооружений в зависимости от назначения.

Имеются различные технологии регулирования гидродинамических параметров потока в зависимости от конструктивных особенностей и условий работы сооружений. Искусственная шероховатость широко применяется в быстротоках, рыбопропускных каналах и ряде других инженерных водопропускных сооружениях, где нецелесообразно или конструктивно невозможно снизить скорость потока воды до допустимых пределов путем уменьшения уклона водопропускного сооружения.

Профессор Афинского Национального Технического Университета (Греции) George C. Christodoulou упорядочил несколько видов элементов шероховатости по эффективности гашения энергии потока в канале на основе полученных результатов в лабораторных условиях под уклоном 16,5% (0,165) [1]. По его выводам и как видно на рисунке 1 следует отметить, что при одной и той же фронтальной плотности элементов шероховатости по течению, эффективнее всего оказались вертикальные пластины, затем блоки и кубы.

Элементы с закругленными краями приводили к меньшим значениям коэффициента шероховатости  $n$  по сравнению с элементами аналогичного размера с острыми краями. Таким образом, сопротивление цилиндров и полушарий, нормальных к потоку с той же высотой и площадью проекции, что и кубы значительно ниже.

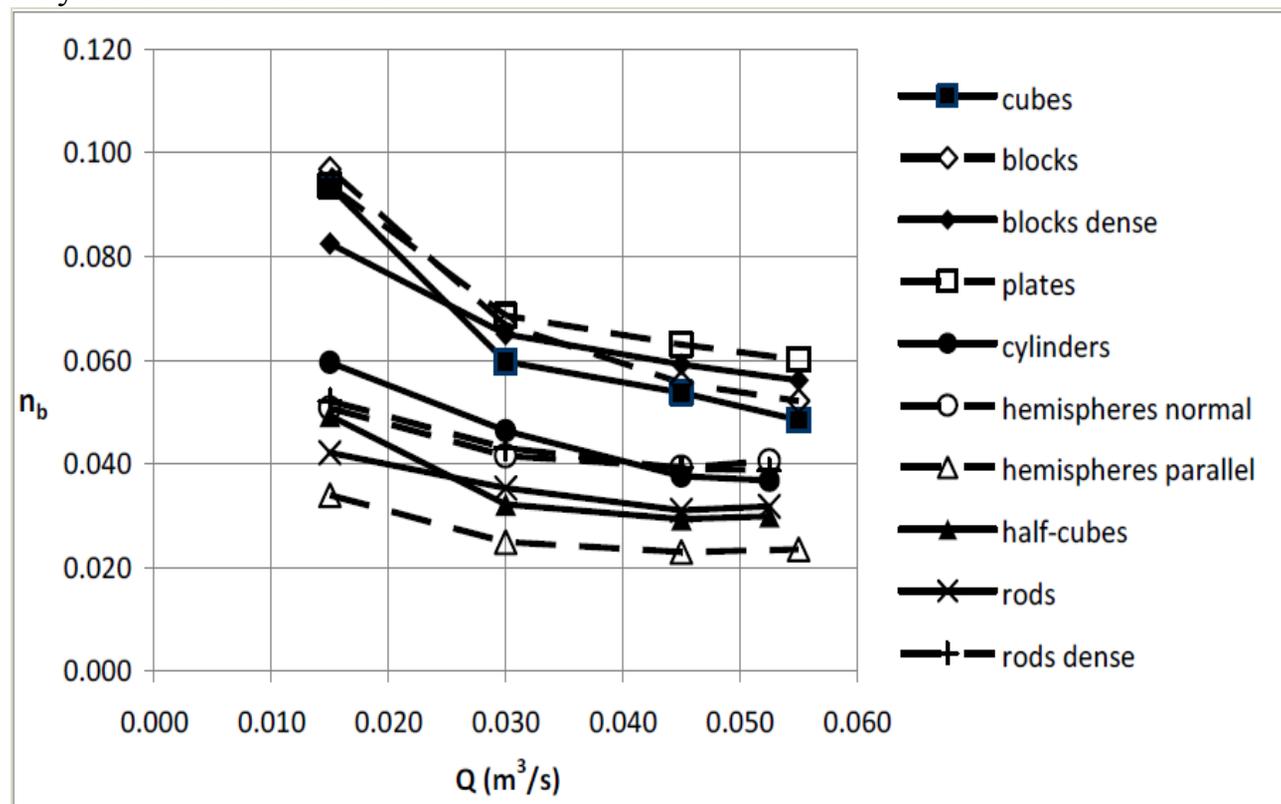


Рис. 1. Зависимость коэффициента  $n$  от вида элементов шероховатости

Также Ю. М. Косиченко, В. Н. Шкура, О. А. Баев и М. Ю. Косиченко в разработке методики гидравлического расчета рыбоходно-нерестовых каналов показали существенное повышение коэффициента  $n$  из-за элементов шероховатости, что ведет к снижению скорости потока в рассматриваемом канале [2]

$$n_{ш} = n_{пр} \cdot \sqrt{1 + \frac{R_{к}^{4/3}}{2gn_{пр}^2} \cdot C_{д} \cdot \bar{d}_3 \cdot \bar{h}_{ш} \cdot N},$$

где  $n_{ш}$  — коэффициент шероховатости русла, с учетом элементов искусственной шероховатости;

$n_{пр}$  – приведенный коэффициент шероховатости русла, без учета элементов искусственной шероховатости,

$\overline{d_3} = \sqrt{4a^2/\pi}$  – средний диаметр эквивалентного кубу круглого элемента,

$a$  – линейный размер одной стороны кубовидной шероховатости,

$C_d$  – коэффициент лобового сопротивления элемента ( $C_d = 0,4 \dots 0,5$ ),

$N$  – количество элементов шероховатости на единицу площади,

$\overline{h_{ш}}$  – средняя высота смоченной части элемента шероховатости,

$R_k$  – гидравлический радиус,

$N$  – количество элементов шероховатости на единицу площади.

Приведенный пример расчета [2] с применением кубических элементов шероховатости размером  $0,3 \times 0,3 \times 0,3$  [м] позволяет достичь снижения скорости потока воды на 36% при  $Q=100 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $i=0.0005$  и  $b_k=36 \text{ м}$  и откосе  $m=3,5$ .

Элементы искусственной шероховатости оказались эффективными гасителями также при креплении нижнего бьефа в концевой части многосекционного гасителя (рисунок 2) [3]. С точки зрения гидравлических условий работы они привели к коэффициенту Кориолиса  $\alpha = 1,0 \div 1,2$  в сравнении с моделями первой серии исследований, без элементов искусственной шероховатости [3], где значения  $\alpha = 1 \div 1,5$ . Под снижением диапазона коэффициента Кориолиса подразумевается приближение к более равномерной скорости потока.

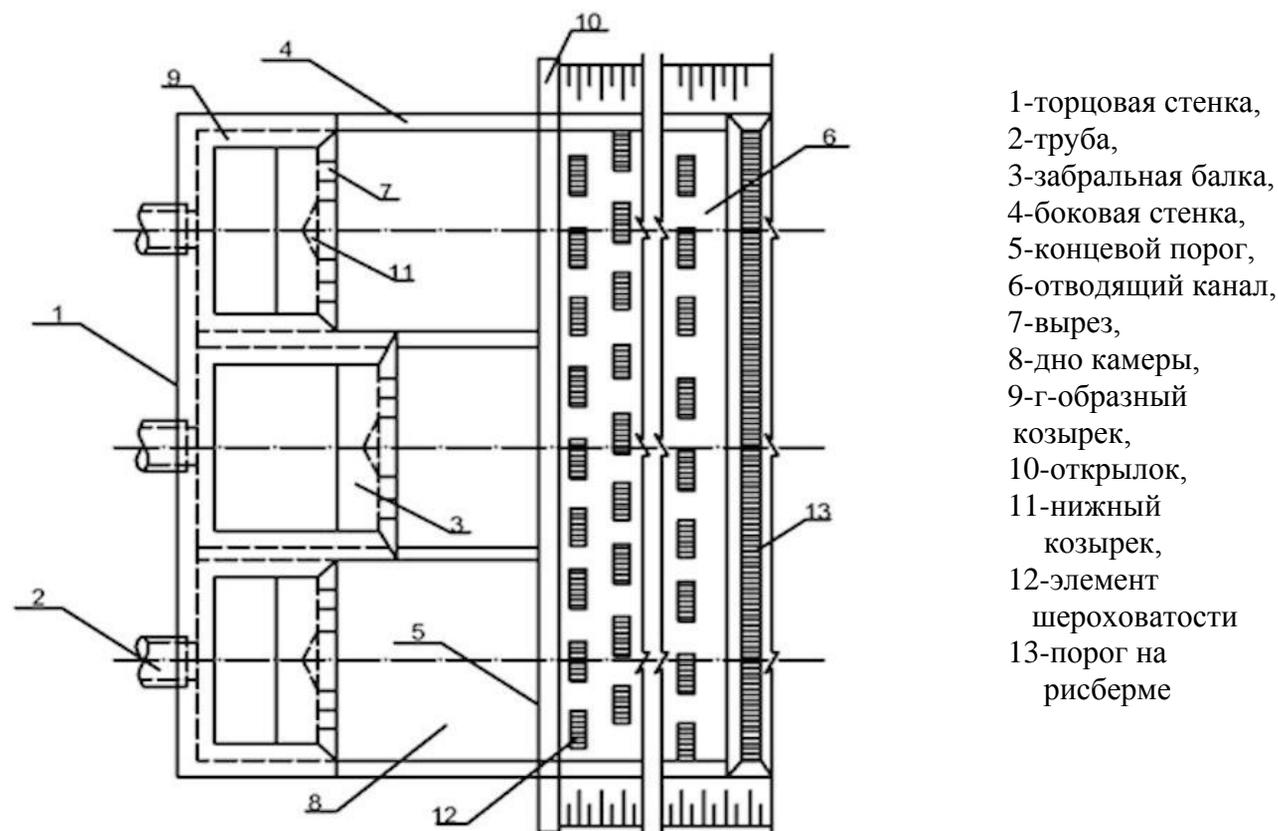


Рис. 2. Конструкция гасителя с элементами шероховатости и порогом на рисберме

Усиленная шероховатость в настоящий момент широко применяется при гашении энергии потока. Ее устраивают чаще всего в виде поперечных донных ребер на дне, а иногда – и на боковых стенках лотка быстротока и уже разработаны методики ее расчета, особенно при сравнительно небольших уклонах быстротоков и каналов различного назначения. Ее энергогасящая эффективность больше не вызывает сомнения [4].

Гипотезы о возможной эффективности шероховатости на низовой грани низконапорных бетонных водосливных плотин опирается на близкие гидродинамические принципы работы таких гидротехнических сооружений и быстротоков, а также на уже утвержденную высокую результативность гашения энергии потока путем применения элементов для увеличения сопротивления потоку. Тем более стоит обратить внимание на отличие между уклонами водосливных граней бетонных плотин и уклонами каналов и быстротоков. Например, по данным [4] уточняется, что «*расчет ребристой донной шероховатости квадратного сечения ( $\Delta \times \Delta$ ) с расстояниями между осями ребер  $\delta = 8\Delta$  и при  $i_{кр} < i_0 < 0,6$  выполняется по методу О.М. Айвазяна*». Вряд ли уклон грани водослива, возведенного по координатам Кригера-Офицерова, попадает в данный интервал. Однако есть и другие методы расчета, не ограничивающих интервал данного показателя, но предназначенных для расчета быстротоков и каналов.

Высокая наклонность грани водослива по сравнению с быстротоками и каналами препятствует принятию утверждения о том, что устройство усиленной шероховатости на её грани приведет к таким же эффективным результатам гашения энергии, без дополнительных экспериментальных обоснований. Данную гипотезу необходимо экспериментально проверить с точки зрения эффективности, надежности и экономической целесообразности по сравнению с уже имеющимися подходами в решении гидродинамических вопросов в плотиностроении.

### Библиографический список

1. George C. Christodoulou. Equivalent roughness of submerged obstacles in open channel flows [text]/ George C. Christodoulou // Journal of Hydraulic Engineering. National Technical University of Athens. -Zografou 15780 (GREECE), 2013. p.21. -doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000801.

2. Косиченко Ю. М. Гидравлический расчет рыбоходно-нерестового канала с элементами искусственной шероховатости / Ю. М. Косиченко, Шкура В. Н., О. А. Баев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации / Новочеркасск. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. – Новочеркасск, 2017. - N 5. –С. 223–241.

3. Ханов Н.В., Журавлёва А.Г. Рекомендации по проектированию и строительству креплений нижнего бьефа трубчатых водовыпусков с гасителями ударного действия / Н.В. Ханов, А.Г. Журавлёва, Мвуйекуре Жан Клод // Природообустройство / Москва. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский

государственный аграрный университет — МСХА имени К.А. Тимирязева». — Москва, 2017. - N4. С. 27-34.

4. Богославчик П. М. Проектирование и расчеты гидротехнических сооружений [Текст] : учеб. пособие / П. М. Богославчик, Г. Г. Круглов. — Минск. «Вышэйшая школа», 2018.— 366 с. — Библиогр.: с. 60–65. - 300 экз. - ISBN 978-985-06-3003-2

УДК 574

## **ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩА ЯРОСЛАВСКОГО ГОКА И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА**

*Зайцев А.И. инженер кафедры ГТС института мелиорации, водного хозяйства и строительства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, uchebavmsuee@gmail.com*

***Аннотация:** в данной работе рассматриваются возможные риски при эксплуатации и рекультивации хвостохранилищ Ярославского горно-обогатительного комбината в связи с возможными климатическими изменениями, а также пути предотвращения некоторых из этих рисков.*

***Ключевые слова:** хвостохранилище, гидротехнические сооружения, изменение климата, природоохранное строительство, охрана окружающей среды.*

**Введение.** Актуальность и необходимость учета погодных условий при проектировании, строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений неоспорима, особенно в условиях климатических зон России. Важно понимать, что при различных внешних условиях износ объектов гидротехнических сооружений и их влияние на окружающую среду разное. Более широкий диапазон внешних условий и их переменчивость ставят задачу более жесткого подхода к выполнению условий безопасности и надежности сооружений.

**Объект исследования.** Хвостохранилища Ярославского горно-обогатительного комбината (ЯГОК) располагается в климатической области муссонного климата умеренных широт и характеризуется теплым, богатым осадками летом и холодной сухой зимой, что обуславливает чрезвычайно широкий перепад температур за год. Согласно современным научным прогнозам невозможно спорить с фактом изменения климата. В условиях Дальнего Востока, где расположен ЯГОК, это подтверждается все большим перепадом температур в течение года за последние годы. Кроме того, согласно существующей статистике, на территории Российской Федерации увеличивается количество опасных природных явлений — если к началу XXI века ежегодное их число было около 150, то к сегодняшнему дню их количество увеличилось в 3,5 раза, что сказывается на существующих природных и антропогенных системах.