



ПОЛУЗАПРУДЫ (ДОННЫЕ ПОРОГИ) КАК УСТРОЙСТВА, КОНТРОЛИРУЮЩИЕ ПЕРЕНОС НАНОСОВ И ЭКОЛОГИЮ РЕГИОНА

А.Е. Щодро¹, С.А. Шоларь^{1,2}

¹Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28

E-mail: ashodro@ya.ru

²ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

E-mail: sa.sholar@mail.ru

В работе рассматриваются некоторые типы полузапруд (бун, донных порогов) – гидротехнических сооружений, предназначенных для организации течения речных потоков, поступающих в морские устья или на поймы, для улучшения экологического состояния акваторий и для борьбы с размывами, как негативными проявлениями водной стихии. Приводятся возможности применения полузапруд для уменьшения размывов, контроля отложений наносов, максимального промыва всей акватории, насыщения потока кислородом, облегчения сбора плавающего мусора и др.

Ключевые слова: полузапруды, гидротехнические сооружения, перенос наносов.

Поступила в редакцию: 01.08.2023. После доработки: 06.09.2023.

Введение. Донные пороги, буны, полузапруды используются в качестве сооружений, способствующих возникновению в основном потоке вторичных течений [1, 2]. Наряду с продольными струенаправляющими дамбами, организующими поток в целом, они создают благоприятную структуру для решения многих вопросов: создания устойчивого русла, не подверженного значительным деформациям, размывам и отложениям наносов; борьбе с цветением и зарастанием, насыщением потока кислородом, создания благоприятных условий для отдыха и корма гидробионтов и прочее.

Искусственные струенаправляющие дамбы заменяют естественное русло некоторым специально созданным с определённой кривизной динамической оси, определенным соотношением ширины и глубины. Принципиальным вопросом при их проектировании является выбор их параметров и оптимального расстояния между ними с целью повышения эффективности и экономичности проекта. Все параметры такого русла, как правило, связываются с глубинами, уклонами и расходами воды.

В настоящее время регулирование русел рек Крыма и других горных регионов носит локальный аварийный характер, когда защитные работы ведутся на небольших участках рек без достаточного учета влияния их на выше- и ниже-расположенные участки реки [3]. Регуляционная трасса реки часто не отвечает условиям устойчивости русла, и поэтому не исключает возможности блуждания русла и его резкого смещения (свала) к одному из берегов реки, что приводит к разрушению защищаемых объектов. Применяемые методы расчета местных размывов русел и у регуляционных сооружений не в полной мере учитывают специфические условия их работы. Поэтому ранее произведены систематические исследования работы полузапруд с гидравлическим моделированием в гидротехнической лаборатории, и некоторые принципиальные результаты этих исследований отмечаем ниже.

Итоговые сведения о работе низких затопливаемых полузапруд, защищающих берег от размыва; данные исследований кинематической структуры у полузапруд, размывов у их оголовков и

корневой части, а также оценка их эффективности свидетельствуют о преимуществах затапливаемых полузапруд. Поэтому ниже приводим классификацию различных типов этих сооружений.

Классификация затапливаемых полузапруд. *По назначению:* для защиты от размыва берегов меженного русла (рис. 1а); для защиты от размыва откосов водооградительных дамб (рис. 1б); для регулирования речного потока у специальных гидротехнических сооружений (водозаборов, мостов и т. д.). *По высоте:* высокие, затапливаемые только очень крупными паводками (рис. 1в); низкие, затапливаемые небольшими и средними паводками (рис. 1г); перемен-

ной высоты (рис. 1д). *По длине:* короткие, не влияющие на поток у противоположного берега (рис. 1е); длинные, увеличивающие скорости потока у противоположного берега (рис. 1ж). *По расположению в плане:* расположенные под углом навстречу потоку (рис. 1з); расположенные нормально к направлению потока (рис. 1и). *По конструкции:* сплошные на донных тьюфяках (рис. 1к); заглубленные бестюфячные (рис. 1л); сквозные (рис. 1м). *По материалу:* сборные из монолитных бетонных блоков; сборные ячеистые с заполнением ячеек местным грунтом; комбинированные.

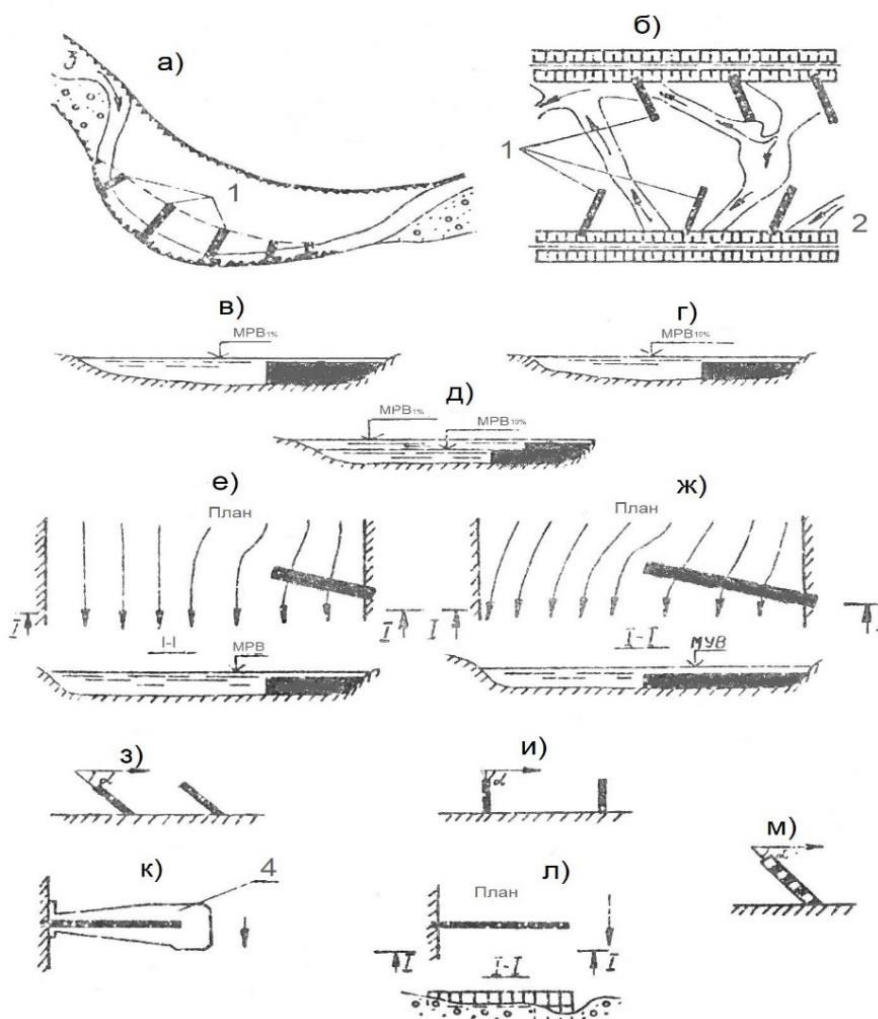


Рис. 1. К классификации полузапруд
Fig. 1. To the classification of semi-spurs

При конкретном проектировании принимается генеральная схема проектных работ, намечаются водотоки или один конкретный водоток, намечаются участки, требующие строительства берегоукрепительных сооружений или сооружений какого-либо иного назначения. Выбираются расчётные условия: расчётный расход водотока соответствующие глубины и скорости течения при пропуске максимального расчётного расхода, как правило, – расхода однопроцентной обеспеченности. Для всех выбранных участков или всей гидросистемы строятся кривые свободной поверхности с учётом реального очертания русел и их гидравлического сопротивления; методика таких расчётов изложена в работе [4]. Далее, для всех участков строительства берегозащитных сооружений, в начале без учёта тех сооружений, которые должны быть возведены, а потом и с учётом этих сооружений может быть проведен расчёт плана течений [4, 5]. Учёт сооружений на картину планового течения может быть произведен путём задания дополнительных местных уклонов свободной поверхности, связанных с гидравлическим сопротивлением этих сооружений и теми кинематическими характеристиками потока, которые установлены в месте возведения будущих сооружений на предыдущем этапе расчета.

В вопросах проектирования затапливаемых полузапруд дальше возникает одна принципиальная сложность – это определение основных кинематических характеристик потока возле оголовка сооружения и иногда вдоль сооружения, то есть в зонах, где происходят наибольшие местные сосредоточенные размывы [3, 4, 6, 7].

При этом в исследовании вводится одно существенное предположение, очевидность которого вполне ясна, а именно: в момент начала размыва самих размывов ещё нет, и поэтому был сделан принципиальный методический вывод – указанные скорости и удельные расходы определялись на моделях с жёстким руслом (когда замеры скоростей бывают

более удобными, результаты более точными и надёжными).

Затем также производились поверочные исследования на размываемых моделях, на которых воспроизводились свойства реальных грунтов.

Они проводились не на полностью размываемых моделях, а на моделях, имеющих кассеты, заполненные грунтом, максимально приближенным по своим свойствам (с учётом масштаба модели) к натурным грунтам. То есть, эти исследования производились кассетными методами и положительно апробировали исследование кинематической структуры на жёстких моделях [3, 6, 7].

Обозначив в дальнейшем важнейшую характеристику, искомую максимальную глубину местного размыва, как (H_B) и запишем приближённое условие для её определения (1). Это условие получено в предположении, что размыв произошёл полностью и значение скорости на дне воронки размыва равняется неразмывающей скорости для данного грунта, и сам поток является квазиплоским в районе обтекания оголовка сооружения

$$H_B = \frac{1}{v_n} q_m, \quad (1)$$

$$v_n = \left\{ \lg \frac{8,8H}{d} \sqrt{\frac{2gm}{0,44\gamma_0 n} ([\gamma_r - \gamma_0]d)} \right\}_{S_0^{0,25}}^{0,8}, \quad (2)$$

где v_n – неразмывающая скорость для частиц неоднородного грунта, слагающих поверхность дна размываемого русла, определяемая по формуле (2), q_m – повышенное значение удельного расхода потока головного сооружения за счёт влияния самого сооружения на поток, полученное эмпирическим путём и определяемое нами по формуле (3).

Формулу (2) также называют формулой Ц.Е. Мирцхулавы [8–10] и она используется для неоднородных грунтов; в формуле (2) H – глубина потока на месте головы сооружения (до его возведения), м; d – средневзвешенный диаметр грунта на его поверхности в районе головной части сооружения, м; $n = 4$, $m = 1$ – параметры расчёта неразмывающей скорости

сти с учётом теории надёжности Мирцхулавы Ц.Е. [10]; γ_s, γ_0 – объёмные веса грунта и воды соответственно, кН/м^3 ; $S_0 = \sqrt{\frac{D_{25}}{D_{75}}}$ – коэффициент неоднородности грунта Траска-Крумбейна.

Используя результаты исследования на жёстких моделях, далее приведём основные эмпирические зависимости, используемые для расчёта полузапруд в соответствии с рекомендациями [9]. Это, во-первых, значение удельных расходов

$$\frac{q_m}{q_0} = [1,44 - 0,00018(\alpha - 90)^2] \left(0,82 + 0,46 \frac{P}{H} + 4,65 \frac{\Delta}{H} \right), \quad (3)$$

$$\frac{U_{max}}{V_0} = \left(\sqrt{\frac{\alpha - 13}{408}} + 1 \right) (0,74 + F_r) \left(0,72 + 0,61 \frac{P}{H} + \frac{1}{0,115} \cdot \frac{\Delta}{H} \right), \quad (4)$$

где $Fr = U_0^2 / (gH)$ – число Фруда для невозмущённого потока в районе строительства сооружения; U_0, V_0 – скорость невозмущённого потока на месте головной части сооружения до его возведения и скорость подхода к головной части сооружения с учетом его влияния на поток в целом, как гидравлического сопротивления, соответственно.

При этом для определения удельного расхода у головной части полузапруды q_m используется значение удельного расхода в месте установки полузапруды в случае, когда поток ещё не возмущен сооружением: $q_0 = U_0 H$, а также параметры: α – угол установки сооружений относительно оси потока, град; $\frac{P}{H}$ и $\frac{\Delta}{H}$ – значения относительных высот сооружения P и высот осреднённых выступов шероховатости – Δ , соответственно.

Значения относительных максимальных придонных актуальных скоростей 1%-ной обеспеченности $\frac{U_{max}}{V_0}$ определяются по формуле (3). Таким образом, с помощью формул (1–3) удаётся определить глубину в воронке размыва описанным приближенным методом.

При этом глубина самой воронки размыва ($H_{Вр}$) может определяться по формуле

на вертикали в районе оголовка сооружения (q_m) – формула (3) и, во-вторых, это значения максимальных актуальных придонных скоростей однопроцентной обеспеченности (U_{max}), скоростей, получаемых также в лабораторных условиях с помощью однокомпонентного датчика скоростей, устанавливаемого по направлению вектора скорости потока, и на основании обработки результатов этих измерений – формула (4)

$$H_{Вр} = H_B - H, \quad (5)$$

где H_B определено по формуле (1). Далее в ходе проектирования принципиальное значение имеет определение диаметра камней (d), которые должны крепить поверхность дна вблизи оголовка сооружения. Для их определения используются максимальные скорости, определённые по формуле (4) – U_{max} . Методика определения диаметра камней, устойчивых к воздействию турбулентного потока с определённым значением однопроцентных максимальных скоростей изложена в работах [11, 12]; наши исследования пульсации скоростей их воздействия на частицы различных крупностей также могут быть использованы при определении диаметра при известных кинематических характеристиках турбулентного потока [13].

Схема такого крепления и все её геометрические размеры даны, например в работах [3, 9], а принципиально возможные схемы крепления и определение их параметров обсуждаются в работах [3, 9, 14]. О работе низких затапливаемых полузапруд как экологических сооружений рассказано в работах [15–17], основные принципы определения их параметров

изложены там же и дополняются данной работой.

Эффективность работы низких затапливаемых полузапруд, как противоразмывных сооружений, подтверждается также рядом фотографий, некоторые из которых приводим в данной статье.

На рис. 2 представлена общая эффективность носорегулирующего действия низких затапливаемых полузапруд, расположенных против течения навстречу

потоку. Видно, что горный поток, несущий большое количество гравийно-песчаных наносов, с успехом регулируется системой таких полузапруд, то есть береговая зона, подверженная размыву, не размывается, а наоборот, берег приближается к стержню потока. Это есть решение задач, поставленных ещё классиками гидравлики, например, в работах [1, 17–19].



a)



b)

Рис. 2. Эффективность работы системы трёх низких затапливаемых, косорасположенных против течения полузапруд, на р. Ломнице, в карпатском регионе: а) размыв межполузапрудных пространств гравийными наносами; б) косорасположенная полузапруда у села Блюдники на р. Ломница, полностью занесена наносами (срок наблюдения 20 лет)

Fig. 2. The efficiency of the system of three low flooded semi-dams located obliquely against the current on the Lomnica River, in the Carpathian region: a) We can see the washout of intersemi-dammed spaces by gravel drifts; b) obliquely located semi-dyke near the village of Blyudniki on the river Lomnitsy (completely covered by prows observation period-20years)

На рис. 3 дано сопоставление гидравлической структуры у косорасположенных полузапруд, установленных по течению и против течения; показаны траектории донных и поверхностных струй, из которых следует направление переноса донных взвешенных частиц. Заметим, что расположенные по течению полузапруды такого типа (рис. 3б) могут использоваться как экологические сооружения, промывающие поток, увеличивающие интенсивность массообмена в потоке и промывающие прибереговую зону [15, 16]. Хотя такие же эффекты характерны и для сооружений, расположенных против потока.

На рис. 4–6 показаны схемы касетных экспериментов на размываемых мо-

делях, где видны контуры местного размыва у головы сооружения, и с помощью наведенных горизонталей можно определить величину самих размывов.

На рис. 4 сравниваются размыва у трёх типов полузапруд, расположенных под разными углами относительно набегающего потока, и видно, что при более остром расположении такого сооружения глубина размыва существенно уменьшается. На рис. 5 прослеживается работа системы сооружений на участке вогнутого русла, и видно, что линия максимальных размывов существенно удаляется от берега, при этом берег не подмывается; подмываются только головные части полузапруд, но в принципе они запроектированы с учетом расчётных размывов.

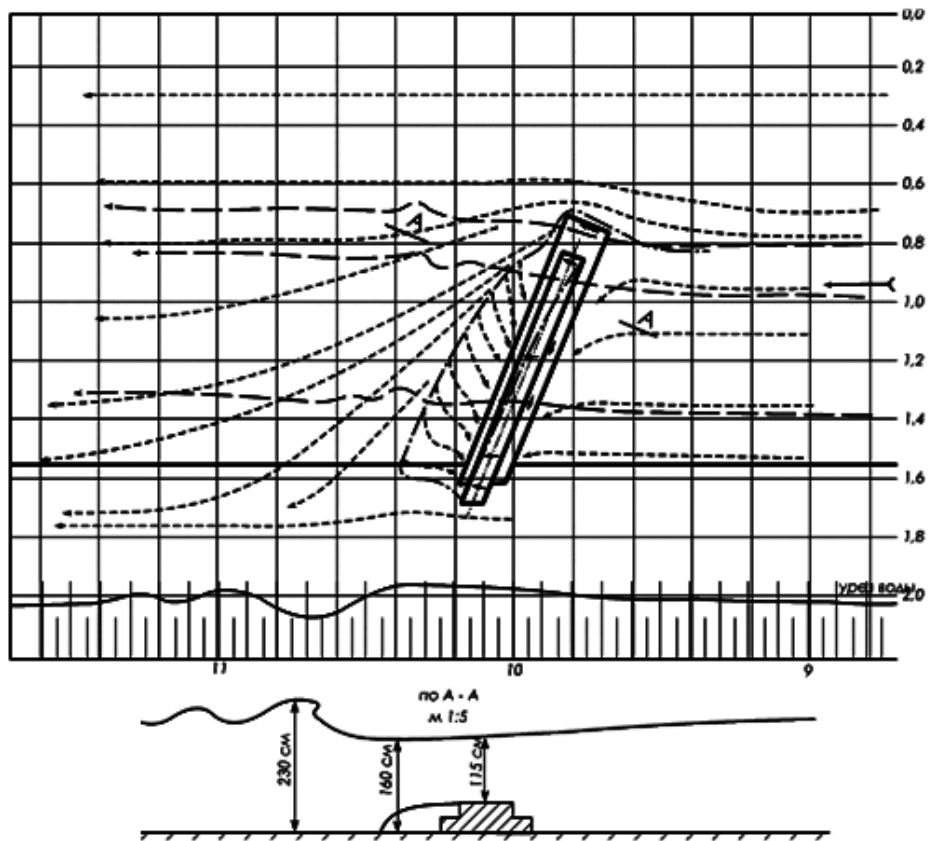
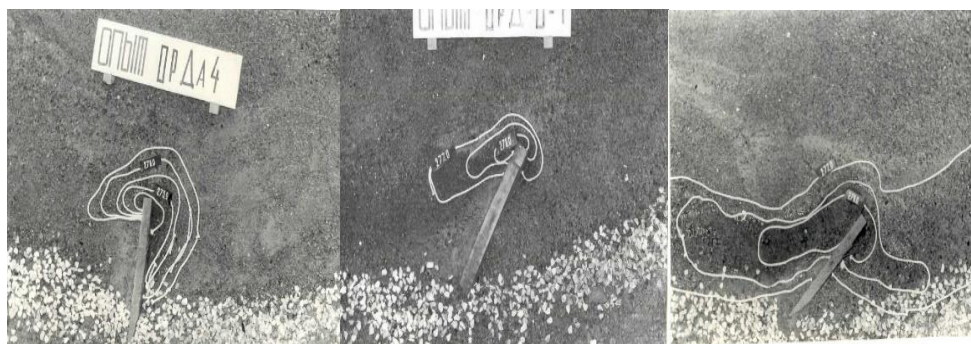


Рис. 3. Структура потока и траектории донных (---) и поверхностных (—) струй при обтекании низкой полузапруды, расположенной под углом $\alpha = 67,5$ град. навстречу потоку при $P/H = 0,25$; $Fr = 0,350$

Fig. 3. Flow structure and trajectories of bottom (---) and surface (—) jets when flowing around a low semi-dam located at an angle of 67.5 degrees towards the flow at $P/H = 0,25$; $Fr = 0,350$



a)

b)

c)

Рис. 4. Размывы дна у трёх полузапруд, расположенных под разными углами: а) $67,5^\circ$; б) 60° ; в) 45° . Испытания опытов одинаковые; на варианте б) полузапруда имеет вырез в головной части, что снижает размыв в этом случае

Fig. 4. Bottom erosion at three semi-dams located at different angles: а) $67,5^\circ$; б) 60° ; в) 45° . Conditions of the tests are the same; on option б) the semi-dam has a cutout in the head, which reduces erosion in this case

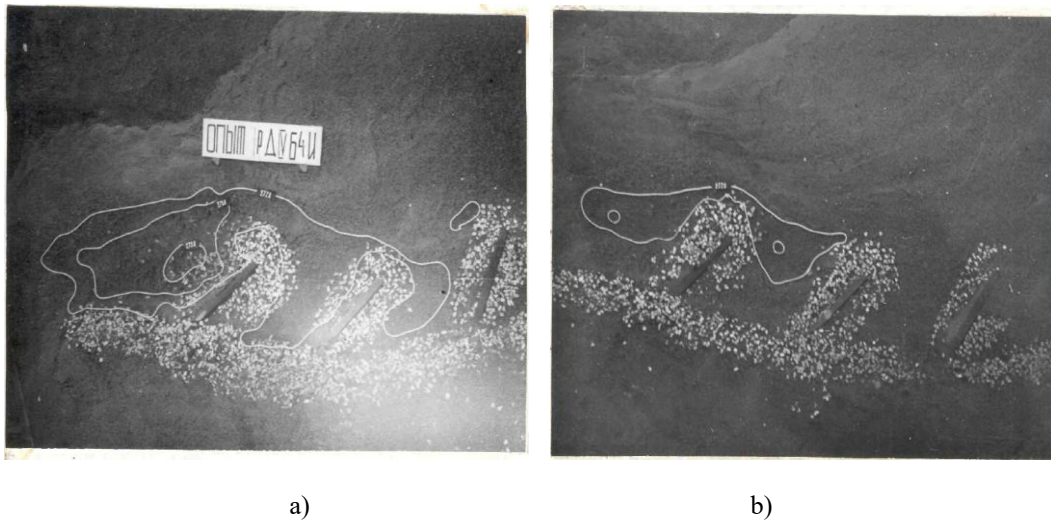


Рис. 5. Размыв дна у системы из пяти полузапруд с тюфяками (а, б) и дополнительной срезкой берега в районе последней полузапруды (б). Движение потока справа налево
Fig. 5. Erosion of the bottom near the system of five semi-dams with mattresses (a, b) and additional cutting of the shore in the area of the last semi-dam (b). Flow movement from right to left



Рис. 6. Размывы в песчаном грунте у оголовков полузапруд, расположенных навстречу потоку под углами: а) 35°, б) 30°; размывов практически нет; движение потока: а) справа налево; б) от наблюдателя в конец лотка
Fig. 6. Washouts in sandy soil at the heads of semi-dams located towards the flow at angles: а) 35°, б) 30°; there are practically no washouts; flow movement: а) from right to left; б) – from the observer to the end of the tray

Закключение. Таким образом, приведенные в настоящей статье материалы позволяют обоснованно назначать параметры ответственных и полезных сооружений, – низких затапливаемых полузапруд, и позволяют также для конкретных случаев выбрать какие-либо другие аналогичные типы русло-регулирующих сооружений, подобные

рассмотренным, и разработать подходящий метод для назначения их параметров.

Отметим также комплексность решаемых задач при проектировании полузапруд – это борьба с размывами, организация движения наносов, удобство в их складировании и удалении; очищение затапливаемой территории, поддержание

ее санитарного состояния; активизация массообмена во всей массе потока, что выражается в борьбе с цветением, зарастанием водоёма, созданием оптимальных условий для обитания гидробионтов, промыва прибрежных отложений и скорейшего их окисления.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПТС по теме «Фундаментальные и прикладные исследования закономерностей и механизмов формирования региональных изменений природной среды и климата под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера и антропогенного воздействия» (№ государственной регистрации 121122300072-3) и «Разработка новых средств и измерительных информационных технологий исследований природных вод» (№ государственной регистрации 121122300070-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Леявский С.* Введение в речную гидравлику: (Движение наносов и речное русло). Л.: Гидрометеиздат, 1961. 230 с.
2. *Ярных Н.А.* Обтекание вертикальной пластины, установленной под углом к потоку // Труды ГГи. 1975. № 225. С. 40–48.
3. *Кириенко И.И., Шуминский Л.А.* Новые типы берегозащитных сооружений (пристендовый проспект). Ровно: Полиграфиздат, 1980. 8 с.
4. *Щодро А.Е.* Комплекс программ к расчетам местного размыва // Вестник НУВХП. 2009. № 3 (47). С. 588–599.
5. *Шеренков И.А.* Прикладные плановые задачи гидравлики спокойных потоков. М.: Энергия, 1978. 240 с.
6. ВСН 163-83. Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). 1983.
7. *Мацея А.В.* Взаимодействие турбулентного потока с шероховатым дном // Вопросы теории и практики надёжности гидромелиоративных систем и сооружений. 1989. С. 106–112.
8. МСН 33-01-2011. Межгосударственные строительные нормы. Гидротехнические сооружения. Основные положения. 2011.
9. Методические рекомендации по расчету деформаций русел и выбору защитно-регуляционных мероприятий на реках Украинских Карпат. Киев: Институт гидромеханики АН УССР, 1989. 176 с.
10. *Мирихулава Ц.Е.* Размыв русел и методика оценки их устойчивости. М.: Колос, 1967. 178 с.
11. *Базилевич В.А.* Определение размывающей способности потока по актуальным скоростям // Гидротехническое строительство. 1962. № 8. С. 39–40.
12. *Базилевич В.А., Гайдученко В.И.* О моделировании размываемых гравийно-галечных русел // Гидравлика и гидротехника. 1975. С. 93–100.
13. *Schodro A. E.* Mathematical modeling of the single bottom particle stability // Automobile Roads and Road Construction: journal of the National Transport University. 2004. No. 71. P. 206–215.
14. *Шинкарук Л.А.* Исследование затопливаемых полузапруд для защиты струенаправляющих дамб от местного размыва // Современные решения при проектировании, строительстве автомобильных дорог, аэродромов и искусственных сооружений на транспорте. 1983. С. 57–63.
15. *Щодро А.Е., Шоларь С.А.* Современные гидроэкологические сооружения для активизации массообмена в потоке // Системы контроля окружающей среды. 2022. № 2 (48). С. 51–60.
16. *Мокляк М.М.* Применение затопляемых водосмесительных полузапруд для интенсификации массообмена в потоке с целью улучшения экологического

состояния малых рек // Вестник НУВХП. 2006. № 4 (36). С. 143–148.

17. *Россинский К.И.* Смешение сточных вод с речной при помощи подводной буны // Режим и освоение водных объектов. 1962. С. 234–257.

18. *Леви И.И.* Моделирование гидравлических явлений. М.: Энергия, 1967. 235 с.

19. *Unger J., Hager W.H., Shchodro A.E.* Basic flow pattern in spur dikes // XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche. 2004. Vol. 1. P. 1147–1154.

SEMI-DYKES (BOTTOM RAPIDS) AS DEVICES CONTROLLING SEDIMENT TRANSFER AND REGIONAL ECOLOGY

A.E. Shchodro¹, S.A. Sholar^{1,2}

¹Institute of Natural and Technical Systems,
RF, Sevastopol, Lenin St., 28

²Sevastopol State University,
RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33
E-mail: sa.sholar@mail.ru

The paper discusses some types of semi-dykes (bun, bottom rapids) - hydraulic structures designed to organize the flow in river flows entering sea estuaries or floodplains, to improve the ecological state of water areas and combat washouts as negative manifestations of the water element. The possibilities of using semi-dams to reduce washouts, control sediment deposits, maximize flushing of the entire water area, saturate the flow with oxygen, facilitate the collection of floating debris and so on. is given.

Keywords: semi-dams, hydraulic structures, sediment transfer.

REFERENCES

1. *Leljavskij S.* Vvedenie v rechnuju gidravliku: Dvizhenie nanosov i rechnoe ruslo (Introduction to River Hydraulics. Sediment movement and riverbed). Leningrad: Gidrometeoizdat, 1961, 128 p.
2. *Jarnyh N.A.* Obtekanie vertikal'noj plastiny ustanovlennoj pod uglom k potoku (Flow around a vertical plate mounted at an angle to the flow). *Trudy GGI*, 1975, No. 225, pp. 40–48.
3. *Kirienko I.I. and Shinmaruk L.A.* Novye tipy beregozashhitnyh sooruzhenij: pristendovyy prospect (New types of coastal protection structures). Rovno: Poligrafizdat, 1980, 8 p.
4. *Schodro A.E.* Kompleks programm k raschetam mestnogo razmyva (A set of programs for calculating local erosion). *Vestnik NUVHP*, 2009, No. 3(47), pp. 588–599.
5. *Sherenkov I.A.* Prikladnye planovye zadachi gidravliki spokojnyh potokov (Applied planned tasks of quiet flow hydraulics). Moscow: Energija, 1978, 240 p.
6. *VSN 163-83* (USSR standard). Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1983.
7. *Maceja A.V.* Vzaimodejstvie turbulentsogo potoka s sherohovatym dnom (Interaction of a turbulent flow with a rough bottom). *Voprosy teorii i praktiki nadjozhnosti gidromeliorativnyh sistem i sooruzhenij*, 1989, pp. 106–112.
8. *MSN 33-01-2011* (RF standard), Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2011.
9. *Metodicheskie rekomendacii po raschetu deformacij rusel i vyboru zashhitno-reguljacionnyh meroprijatij na rekah Ukrainskih Karpat* (Methodological recommendations on the calculation of riverbed deformations and the choice of protective and regulatory measures on the rivers of the Ukrainian Carpathians). Kiev: Institut gidromehaniki AN USSR, 1989, 176 p.
10. *Mirchulava C.E.* Razmyv rusel i metodika ocenki ih ustojchivosti (Erosion of riverbeds and methods of assessing their stability). Moscow: Kolos, 1967, 178 p.
11. *Bazilevich V.A.* Opredelenie razmyvajushhej sposobnosti potoka po aktual'nym skorostjam (Determination of the eroding capacity of the flow at current speeds). *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*, 2002, 1962, No. 8, pp. 39–40.

12. Bazilevich V.A. and Gajduchkenko V.I. O modelirovanii razmyvaemykh gravijno–galechnykh rusel (About modeling of eroded gravel and pebble channels). *Gidravlika i gidrotehnika*, 1975, pp. 93–100.
13. Schodro A.E. Mathematical modeling of the single bottom particle stability. *Automobile Roads and Road Construction: journal of the National Transport University*, 2004, No. 71, pp. 206–215.
14. Schodro A.E. and Sholar S.A. Sovremennye gidroekologicheskie sooruzheniya dlya aktivizacii massoobmena v potoke (Modern hydroecological facilities for activating mass transfer in the stream) *Sistemy kontrolja okruzhajushhej sredy*, 2022, No. 2 (48), pp. 51–60.
15. Mokljak M.M. Primenenie zatopljaemykh vodosmesitel'nykh poluzaprud dlya intensivizacii massoobmena v potoke s cel'ju uluchsheniya ekologicheskogo sostojaniya malyh rek (The use of flooded water mixing semi-ponds to intensify mass transfer in the stream in order to improve the ecological condition of small rivers). *Vestnik NUVHP*, 2006, No. 4 (36), pp. 143–148.
16. Rossinskij K.I. Smeshenie stochnykh vod s rechnoj pri pomoshhi podvodnoj buny (Mixing of wastewater with river water with the help of an underwater buna). *Rezhim i osvoenie vodnykh objektov*, 1962, pp. 234–257.
17. Shinkaruk L.A. Issledovanie zataplivaemykh poluzaprud dlya zashhity struenapravlyayushchih damb ot mestnogo razmyva (Investigation of flooded semi-dams to protect directional dams from local erosion). *Sovremennye resheniya pri proektirovanii, stroitel'stve avtomobil'nykh dorog, aerodromov i iskusstvennykh sooruzhenij na transporte*, 1983, pp. 57–63.
18. Levi I.I. Modelirovanie gidravlicheskih yavlenij (Modeling of hydraulic phenomena). Moscow: Energija, 1967, 235 p.
19. Unger J., Hager W.H., and Shchodro A.E. Basic flow pattern in spur dikes, *XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*. 2004, Vol. 1, pp. 1147–1154.