

УДК 626.88.001.2

В. П. Боровской

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация

А. Ю. Гарбуз, О. А. Баев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НЕРЕСТОВОГО КАНАЛА С РАЗНОФРАКЦИОННЫМ ГРАВИЙНО-ГАЛЕЧНИКОВЫМ ПОКРЫТИЕМ РУСЛА

Целью исследования поставлена разработка методики гидравлического расчета нерестового или нерестово-рыбоходного канала с разнофракционным гравийно-галечниковым покрытием русла. Нерестовые и рыбоходно-нерестовые каналы рекомендуется устраивать в составе низконапорных речных и овражно-балочных гидротузлов. Обязательным условием устройства таких каналов является покрытие их русел нерестовым субстратом, в качестве которого для литофильных видов рыб используется гравийно-галечниковая смесь. При устройстве такого покрытия предусматривается использование разных по размерному составу компонентов гравийно-галечниковых смесей, укладываемых на откосы и дно канала. Предложенная методика гидравлического расчета базируется на научно-аналитическом подходе и предусматривает соблюдение определяемых видом анадромно мигрирующих рыб требований к геометрии и гидравлике каналов. Разноразмерность применяемой гравийно-галечниковой смеси, а следовательно и разное гидравлическое сопротивление, оказываемое потоку по дну и откосам канала, в разработанной методике предлагается учитывать посредством приведенного коэффициента шероховатости, определяемого по соответствующим экспериментальным зависимостям. Методика расчета проработана до уровня программы для электронно-вычислительных машин в среде программирования MathCAD и апробирована при гидравлическом расчете Шапсугского рыбоходно-нерестового канала на расход $4 \text{ м}^3/\text{с}$ при средней скорости течения в нем $0,7 \text{ м/с}$ и глубине наполнения русловой части канала $1,0 \text{ м}$. Необходимые для нереста рыбака и шемаи условия в этом канале обеспечиваются при ширине канала по дну $4,5 \text{ м}$, заложении откосов $1:1,5$, уклоне его дна $0,00091$ и при покрытии откосов канала гравийно-галечниковой смесью диаметром $20\text{--}40 \text{ мм}$, а дна – $120\text{--}150 \text{ мм}$.

Ключевые слова: рыбоводные мелиорации, рыбоводство, нерест рыб, рыбоходный канал, нерестовый канал, гидравлика каналов, шероховатость русел, субстрат.

V. P. Borovskoj

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

A. Ju. Garbuz, O. A. Baev

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

HYDRAULIC CALCULATION METHODOLOGY OF SPAWNING CANAL WITH DIFFERENTLY FRACTURED GRAVEL-PEBBLE-BED COVERING

The aim of the study is to develop a methodology for the hydraulic calculation of a spawning or spawning-fish canal with a differently fractured gravel-pebble bed covering. Spawning and fish-spawning canals are recommended to be arranged with low-pressure river and ravine-girder water units. An obligatory condition for such channels arrangement is their channels covering with a spawning substrate, that is a gravel-pebble mixture for lithophilic fish species. When applying this type of coating the usage of various components of gravel and pebble mixtures laid on channel slopes and bottom is envisaged. The proposed methodology of hydraulic calculation is based on the scientific-analytical approach and provides for compliance with the requirements for geometry and hydraulics of channels, determined by the type of anadromous migrating fish. The size variation of the applied gravel-pebble mixture and consequently different hydraulic resistance to the flow along the canal bottom and slopes is suggested to be taken into account by means of a given roughness coefficient determined by corresponding experimental dependences by the developed technique. The calculation procedure has been worked out to the level of the program for electronic computers in the programming environment “MathCAD” and proved with the hydraulic calculation of the Shapsug fish spawning channel at a flow rate of 4 cub m per sec with an average flow velocity of 0.7 m per sec and the depth of filling the channel part of the canal 1.0 m. The conditions necessary for spawning vimbas and shemayas in this canal are provided with a channel width along the bottom – 4.5 m, slopes laying – 1:1.5, slope of its bottom – 0,00091 and by covering the canal slopes with a gravel-pebble diameter 20–40 mm and the bottom – 120–150 mm.

Key words: fish reclamation, fisheries, fish spawning, fish canal, spawning canal, channel hydraulics, channel roughness, substrate.

Введение. Реализация рыбоводных мелиораций и ведение пастбищной аквакультуры на малых материковых водных объектах (реках и балках) предусматривает создание в них условий для нереста рыб. Наиболее остро стоит вопрос обеспечения нереста анадромно мигрирующих рыб на зарегулированных (устройством гидроузлов) водотоках – малых и средних реках. Для репродукционного воспроизводства рыбных запасов на таких водных объектах необходимо обеспечить условия для беспрепятственного прохода производителей рыб через напорный фронт речных гидроузлов в верховья водотоков к имеющимся на них естественным нерестилищам или устроить пригидроузловые искусственные нерестилища.

Указанная рыбоводно-мелиоративная задача решается устройством в составе речных, а в ряде случаев и овражно-балочных гидроузлов пригидроузловых рыбоходных, нерестовых или рыбоходно-нерестовых каналов.

Рыбоходные каналы, предназначенные для прохода рыб к нерестилищам, устраивают в обход водоподпорных сооружений (плотин) по одному из берегов водотока. Нерестовые каналы или канальные нерестилища

устраиваются в пригидроузловой части поймы реки или в нижнем бьефе водотока и не предусматривают создания условий для прохода рыб в верхний бьеф гидроузла, т. е. в их конструктивном решении заранее учитывается возможность формирования условий только для нереста определенных видов рыб.

Рыбоходно-нерестовые каналы совмещают функции рыбоходных сооружений и искусственных нерестилищ. Решение по выбору определенного вида рыбоводно-мелиоративных сооружений принимается с учетом конкретных условий гидроузла и водотока, вида и нерестовой подготовленности производителей рыб при их анадромных миграциях. Разработкой и исследованиями таких сооружений занимался ряд отечественных специалистов в области рыбоводства и рыбохозяйственной гидротехники, среди которых: В. Н. Шкура, Д. С. Павлов, Б. С. Малеванчик, С. И. Воловик, А. А. Корнеев, А. М. Анохин, В. П. Боровской, Вл. Н. Шкура и др.^{1,2,3,4} [1–8].

Известны работы в области гидравлики каналов различного назначения с различной шероховатостью их русел, среди которых публикации Н. Н. Павловского, Е. А. Замарина, П. Г. Киселева, Г. А. Располина, Е. Х. Рабкова, Г. В. Железнякова, Б. П. Садковского, П. И. Гордиенко, Ю. М. Косиченко и др. [9–13]. Несмотря на большое количество научных работ, специалисты, разрабатывающие рыбоводные сооружения, испыты-

¹ А. с. 1562397 СССР, МПК Е 02 В 8/08. Рыбоходно-нерестовый канал / В. Н. Шкура, Г. М. Сукало, А. М. Анохин, А. А. Чистяков, А. Г. Гуюмаджибашян (СССР). – № 4300015; заявл. 24.08.87; опубл. 07.05.90, Бюл. № 17. – 4 с.

² Пат. 2055111 Российская Федерация, МПК Е 02 В 8/08. Рыбоходно-нерестовый канал / Чистяков А. А., Шкура В. Н., Анохин А. М., Корнеев В. О.; заявитель и патентообладатель А. А. Чистяков, В. Н. Шкура, А. М. Анохин, В. О. Корнеев. – № 914937111; заявл. 20.05.91; опубл. 20.06.00, Бюл. № 17. – 5 с.

³ Пат. 2233939 Российская Федерация, МПК Е 02 В 8/08. Рыбоходно-нерестовый канал / Шкура В. Н., Анохин А. М., Чистяков А. А., Сукало Г. М., Чемикосова Е. А.; заявитель и патентообладатель В. Н. Шкура, А. М. Анохин, А. А. Чистяков, Г. М. Сукало, Е. А. Чемикосова. – № 2003107757/03; заявл. 20.03.03; опубл. 10.08.04, Бюл. № 22. – 5 с.

⁴ Пат. 1599468 Российская Федерация, МПК Е 02 В 8/08. Рыбопропускное сооружение / Шкура В. Н., Чистяков А. А., Черкасов В. А., Фоменко В. А., Анохин А. М.; заявитель и патентообладатель Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Кортунова. – № 4393333; заявл. 16.03.88; опубл. 15.10.90, Бюл. № 38. – 6 с.

вают дефицит информации и рекомендаций по гидравлическому расчету трактов нерестовых и нерестово-рыбоходных каналов с разнофракционным гравийно-галечниковым покрытием их русел. На восполнение указанного дефицита информации и знаний в этой области направлена настоящая работа, целью которой поставлена разработка методики гидравлического расчета рыбоходно-нерестового канала с разноразмерным гравийно-галечниковым покрытием его русла.

В соответствии с предназначением в трактах рыбоходно-нерестовых и нерестовых каналов должны быть созданы необходимые условия для перемещения рыб по тракту и (или) нереста их производителей в акватории. Обязательным условием для нереста рыб является наличие в русле канала нерестового субстрата. В качестве такого субстрата для литофильных видов рыб принимается гравийно-галечниковая смесь, представленная разноразмерными фракциями ее компонентов – гравия и галечника. Размеры отдельностей, составляющих нерестовый субстрат в виде гравийно-галечниковой смеси, определяются потребностями вида литофилов, для нереста которых предназначается проектируемый канал. При устройстве гравийно-галечникового покрытия русловой поверхности канала возможно применение односоставной смеси, укладываемой как на дно, так и на откосы канала. Односоставная смесь используется при нересте в канале одного вида рыб, а разносоставная обеспечивает возможность нереста на дне и откосах каналов разных видов литофильных рыб. Наряду с выполнением субстратной функции гравийно-галечниковая смесь в конструктивном отношении является покрытием (одеждой) грунтового русла, защищающим(ей) его от деформаций (размывов), а с гидравлических позиций относится к виду искусственной шероховатости русла и является средством управления скоростью водного потока, протекающего по тракту канала.

Материалы и методы. В качестве определяющих исходных данных к расчету и конструированию рыбоходно-нерестовых и нерестовых кана-

лов рассматриваются глубина, средняя скорость течения и расход потока. Глубина водного потока принимается в соответствии с биологическими требованиями для миграций и (или) нереста определенных видов рыб от 0,9–1,3 м для рыбца и шемаи до 2,0–2,5 м и более для осетра и севрюги. В зависимости от вида рыб величина средней скорости течения в каналах может изменяться от 0,6–0,8 м/с для рыбца и шемаи до 0,9–1,2 м/с для осетра и севрюги. Расход рыбоводных каналов определяется гидрологическими расчетами по водотоку и на предварительной стадии проектирования может приниматься на уровне 85 % обеспеченности водного стока.

Предварительно намечаемые геометрические и гидравлические параметры рыбоходно-нерестовых каналов по обеспечению необходимой рыбоходной и нерестовой способности, их объемных, площадных, глубинных и скоростных параметров, соответствующих потребностям отдельных видов рыб для свободного прохода и (или) нереста, увязываются с гидрологическими возможностями водотока (стоком), топографическими и другими условиями и являются основой для проведения гидравлического расчета.

Гидравлический расчет нерестового (рыбоходного) канала предваряет принятие нижеследующих исходных данных:

- расхода воды Q_k , подлежащего пропуску по тракту канала, м³/с;
- расчетной глубины водного потока в нерестовом канале h_k , м;
- средней скорости водного потока в нерестовом канале \bar{V}_k , м/с;
- трапецидальной формы поперечного сечения русла нерестового канала с определенным значением коэффициента заложения откосов $k_{3/0}$.

Задачей гидравлического расчета является определение ширины канала по дну b_k , м, и уклона нерестового канала i_k , при которых в его тракте обеспечиваются необходимые условия для прохода и нереста рыб.

Методика базируется на классическом подходе к расчету каналов с равномерным установившимся режимом течения и адаптирована к усло-

виям разноразмерного покрытия дна и откосов его русла.

Результаты и обсуждение. Гидравлический расчет нерестового канала с разнородным гравийно-галечниковым покрытием русла ведется по нижеприведенной методике [14].

1 Для заданного расчетного расхода канала Q_k , м³/с, и принятой средней скорости течения водного потока по его живому сечению \bar{V}_k , м/с, определяется площадь живого сечения потока $(\omega_k)_{пр}$, м², по соотношению:

$$(\omega_k)_{пр} = Q_k / \bar{V}_k.$$

2 Для принятой трапецидальной формы поперечного сечения русла и принятого заложения откосов русла канального нерестилища $k_{3/0}$ определяется предварительная ширина канала по дну $(b_k)_{пр}$, м, по зависимости:

$$(b_k)_{пр} = ((\omega_k)_{пр} / h_k) - k_{3/0} \cdot h_k, \quad (1)$$

где h_k – заданное значение глубины водного потока в тракте канала, м;

$k_{3/0}$ – коэффициент заложения откосов в тракте канального нерестилища.

Полученное значение $(b_k)_{пр}$ округляется до приемлемой величины, т. е. принимается расчетная ширина тракта канала по дну b_k , м.

3 Для принятых значений b_k , h_k и $k_{3/0}$ рассчитывается ширина проектируемого канала по урезу воды в нем B_k , м, при расчетной (исключающей подпор уровней) отметке уровня воды в природном водотоке:

$$B_k = b_k + 2k_{3/0} \cdot h_k.$$

4 Определяется средняя ширина живого сечения потока \bar{B}_k , м:

$$\bar{B}_k = 0,5(B_k + b_k).$$

5 Определяется расчетное значение площади живого сечения ω_k , м²:

$$\omega_k = \bar{B}_k \cdot h_k.$$

6 Устанавливается значение смоченного периметра русла χ_k , м:

$$\chi_k = b_k + 2h_k \sqrt{1 + k_{3/0}^2}. \quad (2)$$

7 Находится гидравлический радиус живого сечения потока R_k , м:

$$R_k = \omega_k / \chi_k. \quad (3)$$

8 По принятому значению площади ω_k , м, уточняется средняя скорость течения в поперечном сечении нерестового канала $(\bar{V}_k)_{\text{расч}}$, м/с:

$$(\bar{V}_k)_{\text{расч}} = Q_k / \omega_k.$$

9 Задаются минимальным и максимальным размерами (диаметрами) фракций гравийно-галечникового покрытия откосов канального нерестилища $(d_{\text{min}})_{\text{отк}}$ и $(d_{\text{max}})_{\text{отк}}$, мм, и определяют средний размер $(\bar{d}_{\text{cp}})_{\text{отк}}$ отделиностей (гравия и галечника), составляющих гравийно-галечниковую смесь (являющуюся нерестовым субстратом для рыб), по соотношению, мм:

$$(\bar{d}_{\text{cp}})_{\text{отк}} = 0,5((d_{\text{min}})_{\text{отк}} + (d_{\text{max}})_{\text{отк}}).$$

10 Рассчитывается эффективная высота выступов $\Delta_{\text{отк}}$, м, гравийно-галечной шероховатости – смеси, укладываемой на откосы нерестилища:

$$\Delta_{\text{отк}} = 0,000748 \cdot (\bar{d}_{\text{cp}})_{\text{отк}}. \quad (4)$$

11 Рассчитывается параметр Шези по шероховатости откосов, м^{0,5}/с:

$$C_{\text{отк}} = 22 \cdot \log \left(\frac{R_k}{\Delta_{\text{отк}}} \right) + 9,5 \frac{\Delta_{\text{отк}}}{R_k} + 1,5.$$

12 Последовательным подбором определяется расчетное значение коэффициента шероховатости гравийно-галечникового покрытия откосов русла канального нерестилища $n_{\text{отк}}$ по нижеследующему соотношению:

$$n_{\text{отк}} = R_k^{2,5 \sqrt{n_{\text{отк}} - 0,13} - 0,75 \sqrt{R_k} (\sqrt{n_{\text{отк}} - 0,1})} / C_{\text{отк}}. \quad (5)$$

13 Задаются размерами фракций $(d_{\text{min}})_{\text{дна}}$ и $(d_{\text{max}})_{\text{дна}}$ гравийно-галечниковой смеси, используемой для покрытия дна канального нерестилища, и определяют среднее их значение $(\bar{d}_{\text{cp}})_{\text{дна}}$, мм, по соотношению:

$$(\bar{d}_{\text{cp}})_{\text{дна}} = 0,5((d_{\text{min}})_{\text{дна}} + (d_{\text{max}})_{\text{дна}}).$$

14 Определяется эффективная высота выступов гравийно-

галечниковой шероховатости по дну канального нерестилища $\Delta_{\text{дна}}$, м, по зависимости:

$$\Delta_{\text{дна}} = 0,000748 \cdot (\bar{d}_{\text{ср}})_{\text{дна}}. \quad (6)$$

15 По значениям $\Delta_{\text{дна}}$ и $R_{\text{к}}$ рассчитывается величина параметра Шези $C_{\text{дна}}$, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$, для определенной выше величины $\Delta_{\text{дна}}$ тракта (русла) канального нерестилища с использованием нижеприведенной зависимости:

$$C_{\text{дна}} = 22 \log \left(\frac{R_{\text{к}}}{\Delta_{\text{дна}}} \right) + 9,5 \cdot \frac{\Delta_{\text{дна}}}{R_{\text{к}}} + 1,5. \quad (7)$$

16 По известным значениям $C_{\text{дна}}$ и $R_{\text{к}}$ последовательным подбором определяется величина коэффициента шероховатости $n_{\text{дна}}$ гравийно-галечникового покрытия дна канального нерестилища по соотношению:

$$n_{\text{дна}} = R_{\text{к}}^{2,5 \sqrt{n_{\text{дна}} - 0,13} - 0,75 \sqrt{R_{\text{к}} (\sqrt{n_{\text{дна}} - 0,1})}} / C_{\text{дна}}. \quad (8)$$

17 Устанавливаются величины протяженностей смоченного периметра по откосам $(l_f)_{\text{отк}}$, м, и дну $(l_f)_{\text{дна}}$, м, канального нерестилища:

$$(l_f)_{\text{отк}} = 2h_{\text{к}} \cdot \sqrt{1 + k_{\text{з/о}}^2} \text{ и } (l_f)_{\text{дна}} = b_{\text{к}}. \quad (9)$$

18 Определяется соотношение полученных значений $(l_f)_{\text{отк}}$ и $(l_f)_{\text{дна}}$:

$$\alpha = (l_f)_{\text{дна}} / (l_f)_{\text{отк}}. \quad (10)$$

19 С учетом формулы (10) рассчитывается приведенное (средне-взвешенное) значение коэффициента шероховатости русла (по дну и откосам) канального нерестилища $n_{\text{пр}}$ с использованием соотношения вида:

$$n_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{2 \cdot n_{\text{отк}}^2 + \alpha \cdot n_{\text{дна}}^2}{2 + \alpha}}.$$

20 Для полученных значений $n_{\text{пр}}$ и $R_{\text{к}}$ определяется параметр Шези, $\text{м}^{0,5}/\text{с}$:

$$C_{\text{пр}} = \frac{1}{n_{\text{пр}}} \cdot R_{\text{к}}^{2,5} \cdot \sqrt{n_{\text{пр}} - 0,13} - 0,75 \sqrt{R_{\text{к}}} \cdot (\sqrt{n_{\text{пр}}} - 0,1).$$

21 Устанавливается уклон дна i_k тракта канального нерестилища:

$$i_k = \left(\frac{V_k}{C_{пр}} \right)^2 \cdot \frac{1}{R_k}.$$

22 Рассчитывается необходимая длина тракта L_k , м, по формуле:

$$L_k = \Delta Z_k / i_k,$$

где ΔZ_k – перепад уровней воды на рыбоходно-нерестовом канале, м.

Использование вышеприведенной методики гидравлического расчета позволяет определить необходимые для проектирования геометрические размеры, морфометрические и гидравлические параметры нерестовых каналов с разноразмерным гравийно-галечниковым покрытием для широкого диапазона условий их разработки, строительства или функционирования.

Полученные параметры канала позволяют определить размер нерестовой площади при соответствующих глубинах воды для определенных видов рыб и сопоставить ее с необходимой нерестово-несущей способностью. По полученной площади поперечного сечения потока устанавливается рыбопропускная способность канала по определенным видам рыб.

При несоответствии определенных гидравлическим расчетом параметров канала потребностям по нерестовой или рыбопропускной способности возможно изменение расхода воды, подаваемой в нерестовый (рыбоходно-нерестовый) канал, или изменение коэффициента заложения его откосов (обычно в большую сторону) с повторением гидравлического расчета.

Пример гидравлического расчета тракта канала. В качестве исходных данных к расчету приняты: расход нерестового канала $Q_k = 4,0$ м³/с; средняя расчетная скорость течения по живому сечению водного потока в канале $\bar{V}_k = 0,7$ м/с; глубина водного потока в тракте канала $h_k = 1,0$ м; поперечное сечение нерестового канала принято трапецидальным с коэффициентом заложения откосов $k_{3/0} = 1,5$; русло нерестового канала принято покрытым разноразмерной (по откосу и дну) гравийно-

галечниковой смесью, являющейся нерестовым субстратом для рыб и искусственной шероховатостью русла. Расчет геометрических и гидравлических параметров рыбоходно-нерестового канала ведется в соответствии с вышеприведенной методикой в нижеследующей последовательности.

1 По расходу рыбоходно-нерестового канала Q_k , м³/с, и средней скорости течения \bar{V}_k , м/с, определяется площадь живого сечения потока:

$$(\omega_k)_{\text{пр}} = Q_k / \bar{V}_k = 4,0 / 0,7 = 5,71 \text{ м}^2.$$

2 Для установленного значения $(\omega_k)_{\text{пр}}$ и принятых значений h_k и $k_{3/0}$ по зависимости (1) устанавливается предварительная ширина канала по дну $(b_k)_{\text{пр}}$:

$$(b_k)_{\text{пр}} = (\omega_k)_{\text{пр}} / h_k - k_{3/0} \cdot h_k = 5,71 / 1,0 - 1,5 \cdot 1,0 = 4,21 \text{ м}.$$

Расчетная ширина рыбоходно-нерестового канала по дну принимается равной $b_k = 4,5$ м, тогда его ширина по урезу воды составит $B_k = b_k + 2k_{3/0} \cdot h_k = 4,5 + 2 \cdot 1,5 \cdot 1,0 = 7,5$ м, а средняя ширина водного потока в поперечном сечении будет равной $\bar{B}_k = 0,5(B_k + b_k) = 0,5(7,5 + 4,5) = 6,0$ м.

3 Для принятых размеров b_k , h_k и $k_{3/0}$ площадь живого сечения водного потока составит $\omega_k = \bar{B}_k \cdot h_k = 6,0 \cdot 1,0 = 6,0$ м², а средняя скорость течения в тракте канала будет равной $(V_k)_{\text{ф}} = 4,0 / 6,0 = 0,667 \approx 0,7$ м/с.

4 По зависимостям (2) и (3) определяется длина смоченного периметра водного потока $\chi_k = b_k + 2h_k \sqrt{1 + k_{3/0}^2} = 4,5 + 2 \cdot 1,0 \sqrt{1 + 1,5^2} = 8,1$ м и величина гидравлического радиуса русла $R_k = \omega_k / \chi_k = 6,0 / 8,1 = 0,74$ м.

5 С учетом рекомендаций рыбоводного обоснования нерестового канала принимаются минимальный и максимальный размеры (диаметры) гравийно-галечниковой смеси, укладываемой на его откосы: $(d_{\text{min}})_{\text{отк}} = 20$ мм; $(d_{\text{max}})_{\text{отк}} = 40$ мм – и определяется ее средний диаметр $(d_{\text{ср}})_{\text{отк}} = 30$ мм.

6 Для принятых размеров фракций укладываемого на откосы канала субстрата (смеси гравия и галечника) в соответствии с зависимостью (4) определяется эффективная высота выступов гравийно-галечниковой шероховатости его русла: $\Delta_{\text{отк}} = 0,000748 \cdot (d_{\text{cp}})_{\text{отк}} = 0,000748 \cdot 30 = 0,0224$ м.

7 Рассчитывается параметр Шези $C_{\text{отк}}$ по шероховатости откосов:

$$C_{\text{отк}} = 221g \frac{R_{\text{к}}}{\Delta_{\text{отк}}} + 9,5 \frac{\Delta_{\text{отк}}}{R_{\text{к}}} + 1,5 = 221g \frac{0,74}{0,0224} + 9,5 \frac{0,0224}{0,74} + 1,5 = 35,2 \text{ м}^{0,5}/\text{с}.$$

8 По установленным значениям $C_{\text{отк}}$ и $R_{\text{к}}$ с использованием зависимости (5) подбором определяется величина коэффициента шероховатости гравийно-галечникового покрытия откосов (русла) канала: $n_{\text{отк}} = 0,0265$.

9 Задаваясь размерами (приведенными к диаметрам) гравия и галечника для укладки их смеси на дно канала: $(d_{\text{min}})_{\text{дна}} = 120$ мм; $(d_{\text{max}})_{\text{дна}} = 150$ мм и $(d_{\text{cp}})_{\text{дна}} = 135$ мм, по зависимостям (6)–(8) определяют значения $\Delta_{\text{дна}} = 0,101$ м, $C_{\text{дна}} = 21,8 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$ и $n_{\text{дна}} = 0,042$.

10 По зависимости (9) определяются значения протяженности (длин) смачиваемой водным потоком поверхности на откосе и по дну канала:

$$\chi_{\text{отк}} = 2h_{\text{к}} \sqrt{1 + k_{\text{з/о}}^2} = 2 \cdot 1,0 \sqrt{1 + 1,5^2} = 1,8 \text{ и } \chi_{\text{дна}} = b_{\text{к}} = 4,5 \text{ м}.$$

11 При $\alpha = \chi_{\text{дна}} / \chi_{\text{отк}} = 4,5 / 1,8 = 2,50$ приведенный к единому в гидравлическом отношении значению коэффициент шероховатости составит:

$$n_{\text{пр}} = \left[\frac{2 \cdot n_{\text{отк}}^2 + \alpha \cdot n_{\text{дна}}^2}{2 + \alpha} \right]^{0,5} = \left[\frac{2 \cdot 0,0265^2 + 2,50 \cdot 0,042^2}{2 + 2,5} \right]^{0,5} = 0,036.$$

12 Для полученного значения $n_{\text{пр}}$ определяется параметр Шези:

$$C_{\text{пр}} = \frac{1}{0,036} \cdot 0,74^{2,5} \sqrt{0,036} - 0,13 - 0,75 \sqrt{0,74} (\sqrt{0,036} - 0,1) = 25,7 \text{ м}^{0,5}/\text{с}.$$

13 Для установленных значений $\bar{V}_{\text{к}}$, $R_{\text{к}}$, $C_{\text{пр}}$ уклон дна канала составит:

$$i_{\text{к}} = \left(\frac{\bar{V}_{\text{к}}}{C_{\text{пр}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{R_{\text{к}}} = \left(\frac{0,667}{25,7} \right)^2 \cdot \frac{1}{0,74} = 0,00091.$$

При расчетных геометрических параметрах рыбоходно-нерестового канала в его тракте будет обеспечен заданный скоростной режим течения водного потока при заданной его глубине, чем будут созданы требуемые условия для нереста в нем литофильных видов рыб и (или) прохода их по его тракту.

Выводы

1 При создании водоподпорных гидроузлов на важных в рыбоводном отношении реках необходимо предусматривать устройство в их составе пригидроузловых рыбоходно-нерестовых или нерестовых каналов. Обязательный элемент таких каналов (предназначенных для нереста в них литофильных видов рыб) – гравийно-галечниковое покрытие их русел. Покрытие каналов гравийно-галечниковой смесью является для рыб нерестовым субстратом, а в гидравлическом отношении определяется видом искусственной шероховатости. При устройстве нерестовых каналов целесообразно использование разноразмерных компонентов смеси – галечника и гравия, укладываемых на откосы и дно рыбоводных каналов в разном сочетании, что должно учитываться при их гидравлическом расчете.

2 Приведена разработанная методика гидравлического расчета рыбоходно-нерестовых и нерестовых каналов, которая учитывает разноразмерность смесей гравия и галечника, укладываемых на откосы и дно их русел, и позволяет установить их геометрические и гидравлические параметры, соответствующие требованиям для нереста литофильных гидробионтов.

3 Методика разработана на уровне программы для ЭВМ и апробирована при гидравлическом расчете Шапсугского рыбоходно-нерестового рыбцово-шемайного канала на расход $4 \text{ м}^3/\text{с}$ при средней скорости течения в нем, равной $0,7 \text{ м/с}$, и глубине наполнения, составляющей $1,0 \text{ м}$. Необходимые скорости для нереста рыбака и шемаи в этом канале обеспечиваются при ширине трапецеидального канала по дну, равной $4,5 \text{ м}$, заложении откосов $1:1,5$ и уклоне его дна $i_k = 0,00091$, при покрытии откосов гравийно-

галечниковой смесью диаметром 20–40 мм, а дна – 120–150 мм.

4 Соблюдение положений предложенной авторами методики позволяет создавать высокоэффективные рыбоходно-нерестовые каналы с параметрами, обеспечивающими условия для беспрепятственного прохода рыб из нижних бьёфов гидроузлов в верхние и интенсивный их нерест в трактах каналов.

5 Использование методики расчета даст необходимый рыбохозяйственный эффект при использовании обоснованных исходных данных по параметрам рыбоходно-нерестового канала, учитывающих его рыбопропускную и нерестовую способности.

Список использованных источников

1 Шкура, В. Н. Рыбоводные мелиорации малых и средних степных рек (обоснование путей и средств их реализации): монография / В. Н. Шкура; Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т ДГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2015. – 197 с.

2 Павлов, Д. С. Биологические основы управления поведением рыб в потоке воды / Д. С. Павлов. – М.: Наука, 1979. – 319 с.

3 Опыт эксплуатации обводных нерестово-рыбоходных каналов при низконапорных гидроузлах на Нижнем Дону / С. П. Воловик, И. Ф. Ковтун, А. А. Корнеев, В. Н. Шкура, В. П. Боровской // Гидротехнические и рыбохозяйственные сооружения и русловая гидротехника: сб. ст. / НИМИ. – Новочеркасск: НИМИ, 1986. – С. 10–20.

4 Малеванчик, Б. С. Искусственные нерестилища при водохранилищных ГЭС / Б. С. Малеванчик. – М.: Информэнерго, 1981. – 48 с.

5 Шкура, В. Н. Рыбоходно-нерестовый канал для низконапорных гидроузлов / В. Н. Шкура, А. М. Анохин // Гидротехническое строительство. – 1992. – № 12. – С. 22–23.

6 Мелиорации прудов: монография / В. А. Белов [и др.]; под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2013. – 371 с.

7 Шкура, В. Н. Водный режим пойменных нерестилищ на малых и средних реках бассейна реки Дон / В. Н. Шкура, А. В. Демьяненко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2015. – № 2(18). – С. 163–176. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec346-field6.pdf.

8 Анохин, А. М. Основы мелиораций вод и водных объектов: курс лекций / А. М. Анохин, М. М. Мордвинцев, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: НГМА, 2001. – 290 с.

9 Справочник по гидравлическим расчетам / П. Г. Киселев [и др.]; под ред. П. Г. Киселева. – М.: Энергия, 1972. – 321 с.

10 Распопин, Г. А. Режимы движения в руслах с искусственной шероховатостью и гидравлический расчет этих русел / Г. А. Распопин // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1958. – № 2. – С. 194–201.

11 Садковский, Б. П. О гидравлическом сопротивлении при повышенной шероховатости дна / Б. П. Садковский // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – № 4. – С. 13–14.

12 Косиченко, Ю. М. Закономерности изменения гидравлических сопротивлений

земляных русел каналов при эксплуатации / Ю. М. Косиченко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2011. – № 4. – С. 19–26.

13 Косиченко, Ю. М. Расчет коэффициентов шероховатости заросших русел каналов / Ю. М. Косиченко // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 1997. – № 1. – С. 75–79.

14 Шкура, В. Н. Гидравлический расчет нерестового канала: свид. о гос. регистрации прогн. для ЭВМ 2017661741 / Шкура В. Н., Боровской В. П., Баев О. А.; заявитель и патентообладатель Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – заявка № 2017618448; заявл. 21.08.17; опубл. 19.10.17.

References

1 Shkura V.N., 2015. *Rybovodnye melioratsii malykh i srednikh stepnykh rek (obosnovaniye putey i sredstv ikh realizatsii): monografiya* [Fisheries melioration of small and medium-sized steppe rivers (justification of ways and means for their implementation): monography]. Novochoerkassk Reclamation Engineering Institute DonGAU. Novochoerkassk, Lick Publ., 197 p. (In Russian).

2 Pavlov D.S., 1979. *Biologicheskie osnovy upravleniya povedeniem ryb v potoke vody* [Biological fundamentals for controlling fish behavior in water flow]. Moscow, Nauka Publ., 319 p. (In Russian).

3 Volovik S.P., Kovtun I.F., Korneev A.A., Shkura V.N., Borovskoy V.P., 1986. *Opyt ekspluatatsii obvodnykh nerestovo-rybokhodnykh kanalov pri nizkonapornykh gidrouzlakh na Nizhnem Donu* [Operating experience of bypass spawning-fish canals at low-head water units in the Lower Don]. *Gidrotekhnicheskie i rybokhozyaystvennyye sooruzheniya i ruslovaya gidrotekhnika: sb. st.* [Hydrotechnical and Fishery Structures and Channel Hydroengineering: Proceed.]. Novochoerkassk, Novochoerkassk Reclamation Engineering Institute, pp. 10-20. (In Russian).

4 Malevanchik B.S., 1981. *Iskusstvennyye nerestilishcha pri vodokhranilishchnykh GES* [Artificial spawning sites at reservoir hydropower stations]. Moscow, Informenergo Publ., 48 p. (In Russian).

5 Shkura V.N., Anokhin A.M., 1992. *Rybokhodno-nerestovyy kanal dlya nizkonapornykh gidrouzlov* [Fish-spawning canal for low-head water units]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical construction], no. 12, pp. 22-23. (In Russian).

6 Belov V.A. et al., 2013. *Melioratsii prudov: monografiya* [Melioration of ponds: monography]. Novochoerkassk, Lick Publ., 371 p. (In Russian).

7 Shkura V.N., Dem'yanenko A.V., 2015. *Vodnyy rezhim poymennykh nerestilishch na malykh i srednikh rekakh basseyna reki Don* [Water regime of floodplain spawning sites in the small and medium rivers of the Don river basin]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 2(18), pp. 163-176, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec346-field6.pdf. (In Russian).

8 Anokhin A.M., Mordvintsev M.M., Shkura V.N., 2001. *Osnovy melioratsiy vod i vodnykh ob'yektov: kurs lektsiy* [Fundamentals of water and water objects reclamation: lectures]. Novochoerkassk, NGMA Publ., 290 p. (In Russian).

9 Kiselev P.G. et al., 1972. *Spravochnik po gidravlicheskim raschetam* [Handbook of hydraulic calculations]. Moscow, Energia Publ., 321 p. (In Russian).

10 Raspopin G.A., 1958. *Rezhimy dvizheniya v ruslakh s iskusstvennoy sherokhatost'yu i gidravlicheskiy raschet etikh rusel* [Flow regimes in channels with artificial roughness and hydraulic calculation of these channels]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bull. News of Higher Educational Institutions. Civil Engineering and Architecture], no. 2, pp. 194-201. (In Russian).

11 Sadkovskiy B.P., 1995. *O gidravlicheskom soprotivlenii pri povyshennoy shero-*

khovatosti dna [On hydraulic resistance with increased bottom roughness]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo* [Irrigation and Water Management], no. 4, pp. 13-14. (In Russian).

12 Kosichenko, Yu.M., 2011. *Zakonomernosti izmeneniya gidravlicheskih soprotivleniy zemlyanykh rusel kanalov pri ekspluatatsii* [Regularities for in hydraulic resistance of ground channels during operation]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the Universities. North-Caucasian region. Technical Sciences], no. 4, pp. 19-26. (In Russian).

13 Kosichenko Yu.M., 1997. *Raschet koehfficientov sherohovatosti zarosshih rusel kanalov* [Calculation of coefficients of roughness of overgrown canal beds]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki* [Proceedings of the universities. North-Caucasian region. Technical Science], no. 1, pp. 75-79. (In Russian).

14 Shkura V.N., Borovskoj V.P., Baev O.A., 2017. *Gidravlicheskiy raschet neresstovogo kanala* [Hydraulic calculation of spawning canal]. State registration of the computer program, no. 2017661741. (In Russian).

Боровской Владимир Петрович

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: профессор

Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет»

Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Borovskoj Vladimir Petrovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Professor

Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

Affiliation address: st. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Гарбуз Александр Юрьевич

Должность: младший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: A.Y.Garbuz@mail.ru

Garbuz Aleksandr Jur'evich

Position: Junior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: A.Y.Garbuz@mail.ru

Баев Олег Андреевич

Ученая степень: кандидат технических наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Baev Oleg Andreevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru