

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 626.88

doi: 10.31774/2658-7890-2022-4-1-50-69

Опыт устройства и проектирования рыбоходно-нерестовых каналов на Нижне-Донском каскаде низконапорных гидроузлов

Виктор Николаевич Шкура¹, Алексей Викторович Шевченко²

^{1, 2}Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Аннотация. Цель: обобщение многолетнего опыта разработки компоновочно-конструктивных решений рыбоходно-нерестовых каналов для условий Нижне-Донского каскада гидроузлов. Каскад построенных на Нижнем Дону гидроузлов в худшую сторону изменил условия анадромных миграций и нереста рыб, что привело к подрыву промысловых запасов и угнетению их популяций. В сложившихся условиях имеющий место негатив может быть устранен устройством пригидроузовых рыбоходно-нерестовых каналов. Востребованность таких сооружений и дефицит рекомендаций по их проектированию определяет актуальность их разработки. **Материалы и методы.** Основу разработки составили материалы обследования действующих каналов на Николаевском и Константиновском гидроузлах и проектные решения Багаевского и Кочетовского каналов. При обследовании каналов и разработке их проектных решений использовались общепринятые методики научного анализа, синтеза и конструирования гидротехнических сооружений. **Результаты и обсуждения.** Установлены достоинства и недостатки компоновочно-конструктивных решений действующих рыбоходно-нерестовых каналов, и определены их расходно-скоростные и геометрические параметры. На основе результатов обследования выполнены разработки, направленные на усиление достоинств и устранение недостатков конструктивных решений рыбоходно-нерестовых каналов. **Выводы.** Предложены конструкции входного и выходного оголовков, обеспечивающих благоприятные условия для захода мигрирующих по реке рыб в канал и выхода их из канала в реку. Сформулированы предложения по компоновочно-конструктивному устройству тракта канала, обеспечивающему условия для прохода и (или) нереста в нем рыб. Приведены схемы конструкций зон отдыха для рыб и методика оценки качества условий, определяющих эффективность принятых параметров канала по заходу в него мигрирующих рыб. Рекомендации по совершенствованию компоновочно-конструктивных решений апробированы и внедрены в проектах Багаевского и Кочетовского рыбоходно-нерестовых каналов.

Ключевые слова: речные гидроузлы, рыбоохранные комплексы, воспроизводство ихтиофауны, анадромные миграции, нерест рыб, рыбоходно-нерестовые каналы, проектирование каналов, элементы рыбоходно-нерестовых каналов

Для цитирования: Шкура В. Н., Шевченко А. В. Опыт устройства и проектирования рыбоходно-нерестовых каналов на Нижне-Донском каскаде низконапорных гидроузлов // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 1. С. 50–69. <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-50-69>.

HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Experience in the arrangement and design of fish pass and spawning canals at the Nizhne-Donskoy cascade of low-head waterwork facilities

Victor N. Shkura¹, Alexey V. Shevchenko²

^{1,2}Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

¹VNShkura@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4639-6448>

²rigge1111@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4839-6377>

Abstract. Purpose: generalization of long-term experience in the development of layout and design solutions for fish pass and spawning channels under the conditions of the Lower Don hydroelectric facilities system. The hydroelectric facilities cascade built on the Lower Don changed the conditions of fish anadromous migrations and spawning for the worse, which led to the undermining of commercial stocks and oppression of their populations. Under the current conditions, the existing drawback can be eliminated by the construction of fish pass and spawning channels at hydroelectric facilities. The demand for such structures and the lack of recommendations on their design determines the relevance of their development. **Materials and methods.** The basis of the development was the materials of the inspection of the existing canals at the Nikolaevsky and Konstantinovsky hydroelectric facilities and the design solutions of the Bagaevsky and Kochetovsky canals. When examining canals and developing their design solutions, generally accepted methods of scientific analysis, synthesis and design of hydraulic structures were used. **Results and discussions.** The advantages and disadvantages of the layout and design solutions of the existing fish pass and spawning channels are identified, and their flow rate and geometric parameters are determined. On the results of the survey, developments aimed at strengthening the advantages and eliminating the drawbacks of the design solutions for fish pass and spawning channels were made. **Conclusions.** The designs of the inlet and outlet heads which provide favorable conditions for entering fish migrating along the river into and out of the channel into the river are proposed. Proposals for the layout and design of the canal tract, which provides conditions for fish passage and (or) spawning in it are formulated. The schemes of constructions of recreation areas for fish and the methodology for assessing the quality of conditions that determine the efficiency of the adopted channel parameters for entering migrating fish into it are given. Recommendations for the improvement of layout and design solutions have been tested and implemented in the projects of the Bagaevsky and Kochetovsky fish pass and spawning canals.

Keywords: river waterwork facilities, fish protection complexes, reproduction of ichthyofauna, anadromous migrations, fish spawning, fish pass and spawning channels, channel design, elements of fish pass and spawning channels

For citation: Shkura V. N., Shevchenko A. V. Experience in the arrangement and design of fish pass and spawning canals at the Nizhne-Donskoy cascade of low-head waterwork facilities. *Ecology and Water Management*. 2022;4(1):50–69. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-1-50-69>.

Введение. Интенсификация водопотребления и использование ресурсного потенциала рек обеспечивается зарегулированием их стока, реализуемым устройством на них каскада гидроузлов. Одним из примеров кас-

кадного регулирования стока является р. Дон, где построены и функционируют в настоящее время Цимлянский, Николаевский, Константиновский и Кочетовский гидроузлы и строится Багаевский гидроузел.

Устройство каскадов гидроузлов на реках изменяет условия функционирования исторически сформировавшихся водных экосистем. При этом особо значимое воздействие оказывается на условия жизнедеятельности популяций проходных и полупроходных видов рыб. Плотины речных гидроузлов преграждают пути анадромных миграций рыб, а создаваемые ими водохранилища изменяют (до уровня неприемлемости) гидрологические условия на природных (русловых и пойменных) нерестилищах. Указанные выше обстоятельства приводят к существенному снижению эффективности естественного воспроизводства рыбных запасов и к угнетению их популяций, что имеет место в условиях Азово-Донского бассейна [1–6].

Для устранения указанных негативов в составе речных гидроузлов устраиваются сооружения рыбоохранного назначения, одним из видов которых являются рыбоходно-нерестовые каналы, обеспечивающие условия для прохода и нереста рыб. Такие каналы построены при Николаевском и Константиновском гидроузлах и запроектированы на Багаевском и Кочетовском гидроузлах. Накопленный опыт разработки рыбоходно-нерестовых каналов [1–5, 7–18] представляет научный и практический интерес, удовлетворение которого определено целью данной статьи.

Материалы и методы. Фактологическую базу разработки составили данные авторского обследования Николаевского и Константиновского рыбоходно-нерестовых каналов [1–5] и материалы к проектам таких сооружений в составе Багаевского и Кочетовского гидроузлов на р. Дон. Компоновочные решения обследованных каналов приведены на рисунках 1, 2.

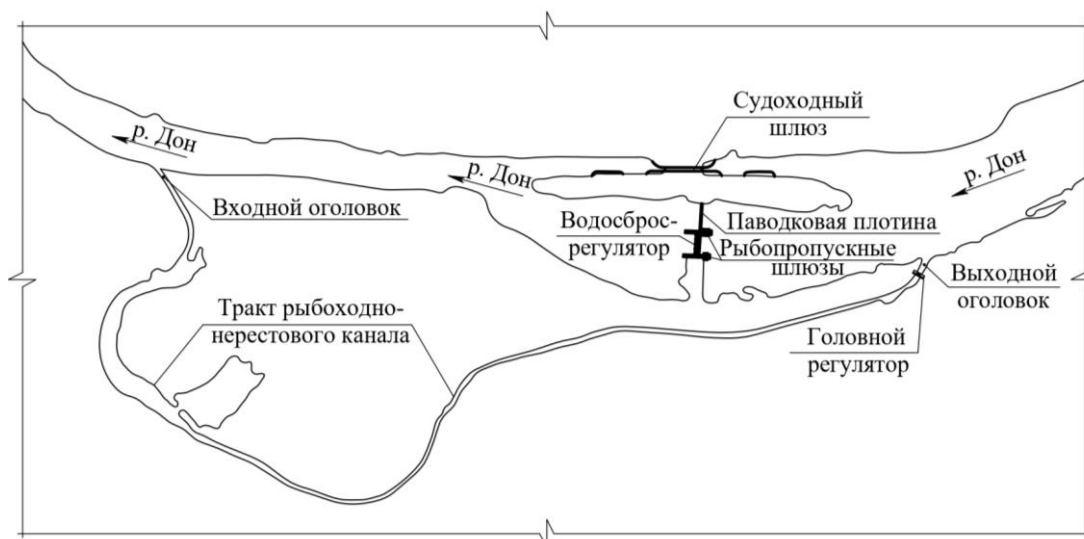


Рисунок 1 – План Николаевского гидроузла на р. Дон

Figure 1 – Plan of the Nikolaevsky waterworks facility on the river Don

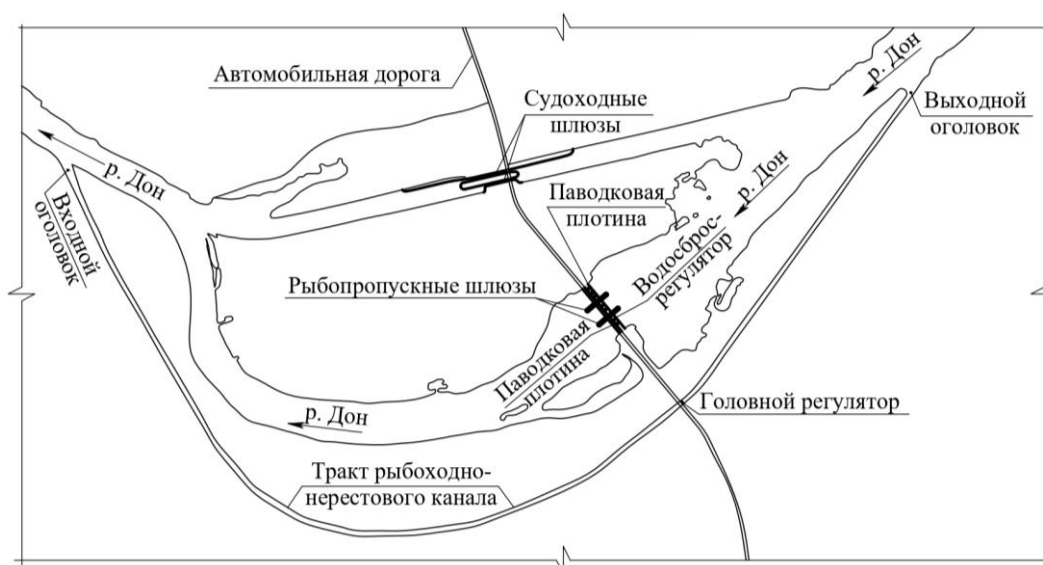


Рисунок 2 – План Константиновского гидроузла на р. Дон

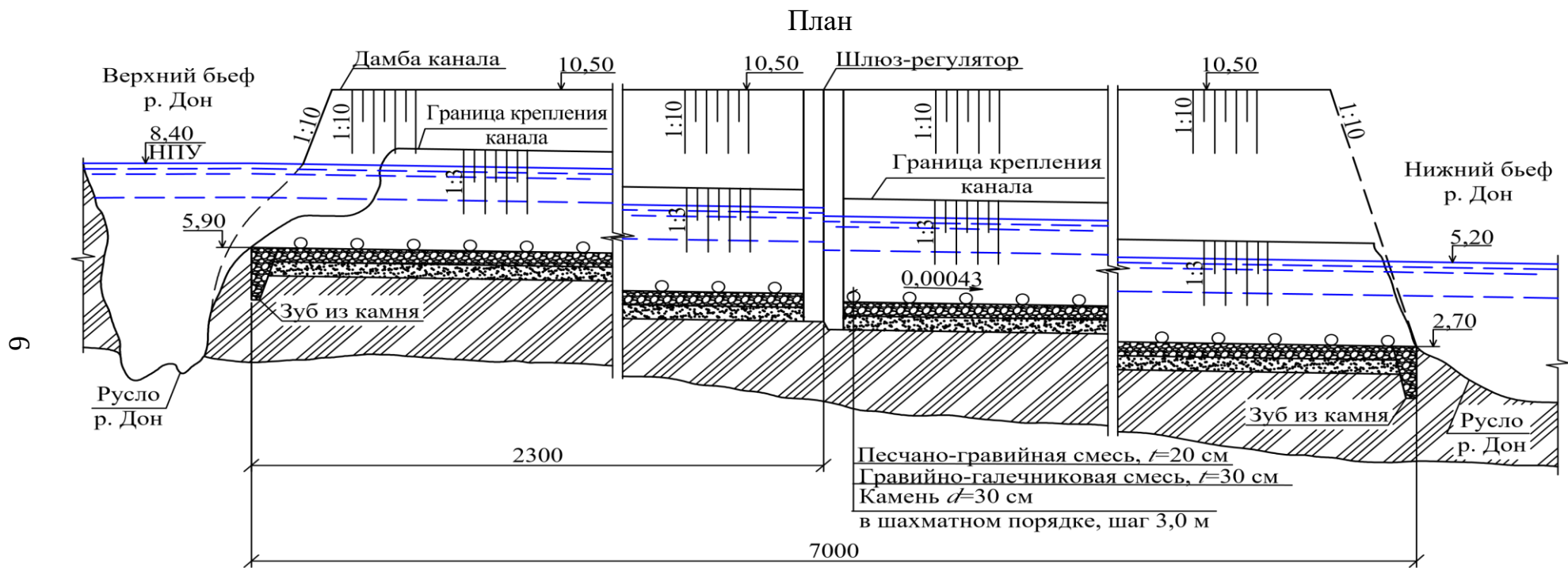
Figure 2 – Plan of the Konstantinovskiy waterworks facility on the river Don

Результаты и обсуждение. Компановочные решения Николаевского и Константиновского гидроузлов в значительной степени сходны. Рыбоходно-нерестовые каналы на этих гидроузлах протрассированы по левобережной пойме р. Дон. Их входные (для рыб) оголовки (створы) размещены на значительном удалении от створа водоподпорного фронта гидроузла (на расстоянии 1,2 км на Николаевском рыбоходно-нерестовом канале и на расстоянии 2,5 км на Константиновском канале). Выходные (для рыб) оголовки

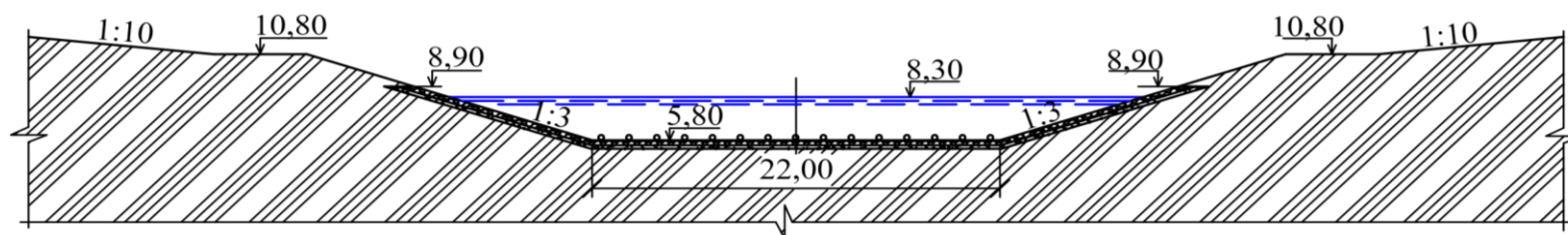
каналов расположены в зонах подпора на удалении 2,9 и 3,8 км от створов плотин соответственно. Каналы оборудованы водорегулирующими сооружениями – трехпролетными регуляторами.

Николаевский канал протяженностью 6140 м включает участок староречья и искусственно обустроенную часть русла, имеющую трапецеидальное поперечное сечение с шириной по дну $b_k = 22,0$ м и глубиной $h_k = 2,5$ м при заложении откосов 1:3,0. Расчетный перепад уровней воды в верхнем и нижнем бьефе $\Delta Z = 4,0$ м. Для гашения избыточной энергии водного потока (снижения скорости течения в тракте канала) было предусмотрено использование элементов искусственной шероховатости в виде бетонных кубов размером $0,3 \times 0,3 \times 0,3$ м с расстановкой их в шахматном порядке по углам сетки размером $4,0 \times 4,0$ м. Относительно высокие скорости течения и незакрепленность кубов привели к их хаотичному перемещению водным потоком по тракту рыбоходно-нерестового канала. Канал рассчитан на пропуск расхода $Q_k = 70...80$ м³/с при средней скорости течения водного потока на участке искусственного русла $v_{cp} = (1,2 \pm 0,1)$ м/с.

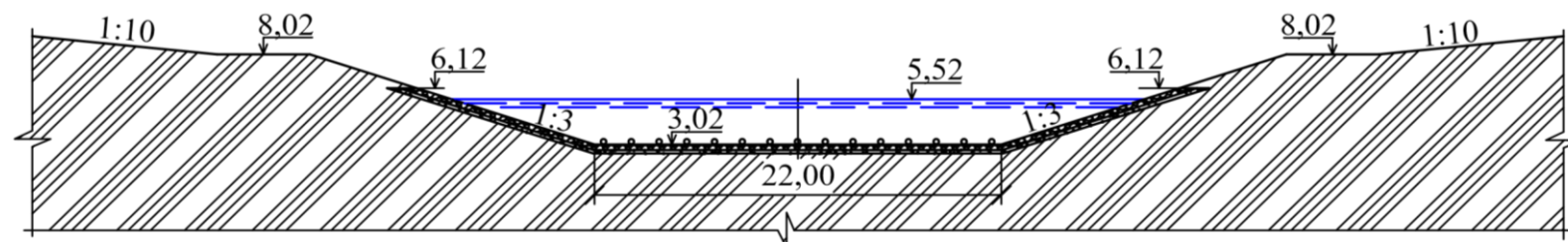
Константиновский рыбоходно-нерестовый канал запроектирован с учетом опыта работы Николаевского канала. Выполнен в искусственном русле и имеет протяженность 6089 м при расчетном перепаде уровней на нем, составляющем $\Delta Z = 3,0...3,2$ м. Канал рассчитан на пропуск расхода $Q_k = 80,0$ м³/с со средней скоростью течения по его тракту, составляющей $v_{cp} = 1,1...1,3$ м/с. Геометрические параметры канала характеризуются: трапецеидальной формой поперечного сечения с шириной по дну $b_k = 22,0$ м и глубиной $h_k = 2,2$ м при заложении откосов его русла 1:3,0; покрытием дна и откосов канала слоями 0,3 м гравийно-галечной и песчано-гравийной смесей и устройством элементов искусственной шероховатости из камня средним (приведенным) диаметром 0,3 м. Продольный профиль по тракту рыбоходно-нерестового канала и его характерные поперечные сечения приведены ниже на рисунке 3.



Сечение I – I



Сечение II – II



t – высота насыпи песчано-гравийно-галечниковой смеси, см; d – диаметр каменных элементов искусственной шероховатости, см

t – the embankment height of sand-gravel-pebble mixture, cm; d – diameter of stone elements of artificial roughness, cm

Рисунок 3 – Продольный разрез и поперечные сечения по Константиновскому рыбоходно-нерестовому каналу

Figure 3 – Longitudinal section and cross sections along the Konstantinovskiy fish passage and spawning channel

Комплексными обследованиями каналов установлено, что они соответствуют своему рыбоводческому назначению [1–4]. Ихтиологическими исследованиями [5] зафиксирован заход рыб в каналы, их проход по тракту и нерест в нем осетровых, рыбака, шемаи, сельди и других видов рыб. Недостатками конструкций обследованных каналов являются следующие.

1 Значительная удаленность от створа расположения плотин гидроузлов входов для рыб в тракты каналов. В таком случае зоны поиска рыбами прохода через возникшую на их пути преграду удалены от входа в канал. При таком расположении входного створа канала исходящий из него водный поток качественно соответствует виду малого притока, впадающего в основную реку. Указанное обстоятельство предопределяет реакцию рыб на рыбоходный канал, как на второстепенный водный объект. Рыбы, мигрирующие по руслу реки, проходят вверх по течению, непосредственно минуя тракт канала. Об этом свидетельствуют известные факты их массовых скоплений в нижних бьефах Николаевского и Константиновского гидроузлов. Во входных (для рыб) створах каналов, удаленных от напорного фронта гидроузлов, рыбы не совершают перемещений в поисках прохода через преграду, что резко снижает вероятность их захода в канал [6, 9–11].

2 Входные (для рыб) участки каналов в месте их сопряжения с руслом р. Дон конструктивно не оформлены и не обеспечивают соответствующего потребностям рыб топографического и гидравлического сопряжения тракта канала с руслом реки. Так, на Николаевском канале его устьевая часть не была закреплена, в результате произошли размывы его русла до отметок дна р. Дон. При этом за счет увеличения глубины водного потока на этом участке имеет место уменьшение значений привлекающих скоростей, что снижает привлекающий рыб эффект, создаваемый исходящим из канала водным потоком. На Константиновском канале на входном (для рыб) участке тракта канала предусмотрено устройство крепления дна и каменного зуба. В этом случае требуемое топографическое сопряжение

русел канала и реки («дно в дно») не обеспечивается, что ухудшает условия захода в канал рыб, мигрирующих в придонном слое реки [6, 10, 11].

3 В трактах каналов не предусматривается образование разных по живому сечению потока скоростей течения, что исключает возможность выбора рыбами приемлемых для них траекторий перемещения по тракту.

4 Средние скорости течения в трактах каналов приняты по верхнему пределу допустимых для сильных «пловцов» (преимущественно осетровых), что ограничивает возможность для прохода и нереста рыб с относительно низкими показателями плавательной способности [5, 6, 9–11].

5 В конструкциях трактов Николаевского и Константиновского рыбоходно-нерестовых каналов не предусмотрено устройство зон отдыха для рыб и создание условий для нереста фитофилов [1–5, 7, 8].

Установленные преимущества и недостатки учтены при авторской разработке технических обоснований проектов рыбоходно-нерестовых каналов, устраиваемых в составе Багаевского и Кочетовского гидроузлов на р. Дон, компоновочные решения которых приведены на рисунках 4 и 5.

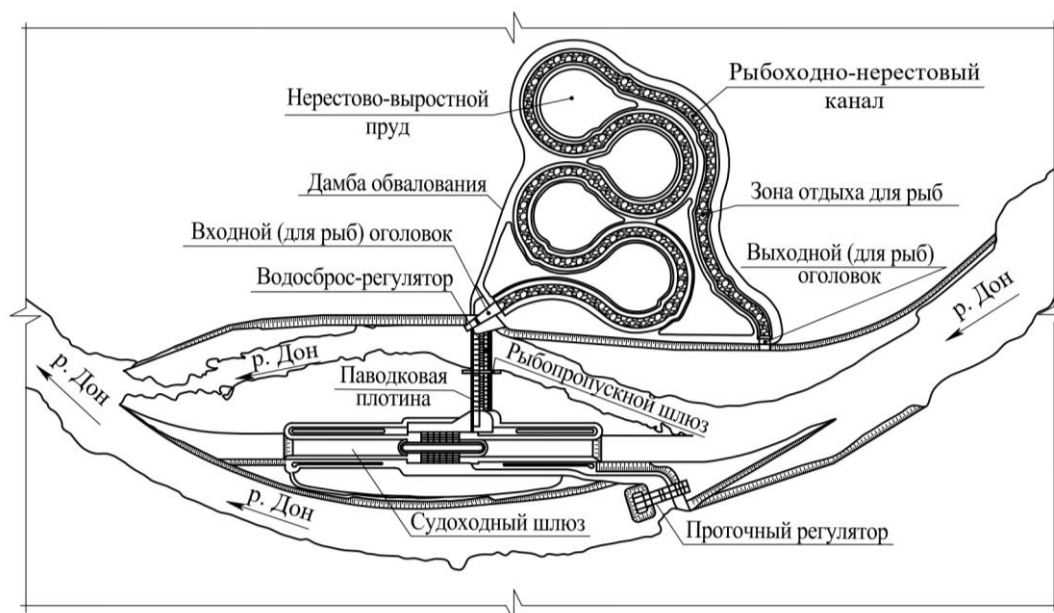


Рисунок 4 – Компоновочное решение рыбоходно-нерестового канала, устраиваемого в составе Багаевского гидроузла на р. Дон

Figure 4 – Layout solution of the fish passage and spawning channel, arranged as part of the Bagaevsky waterworks facility on the river Don

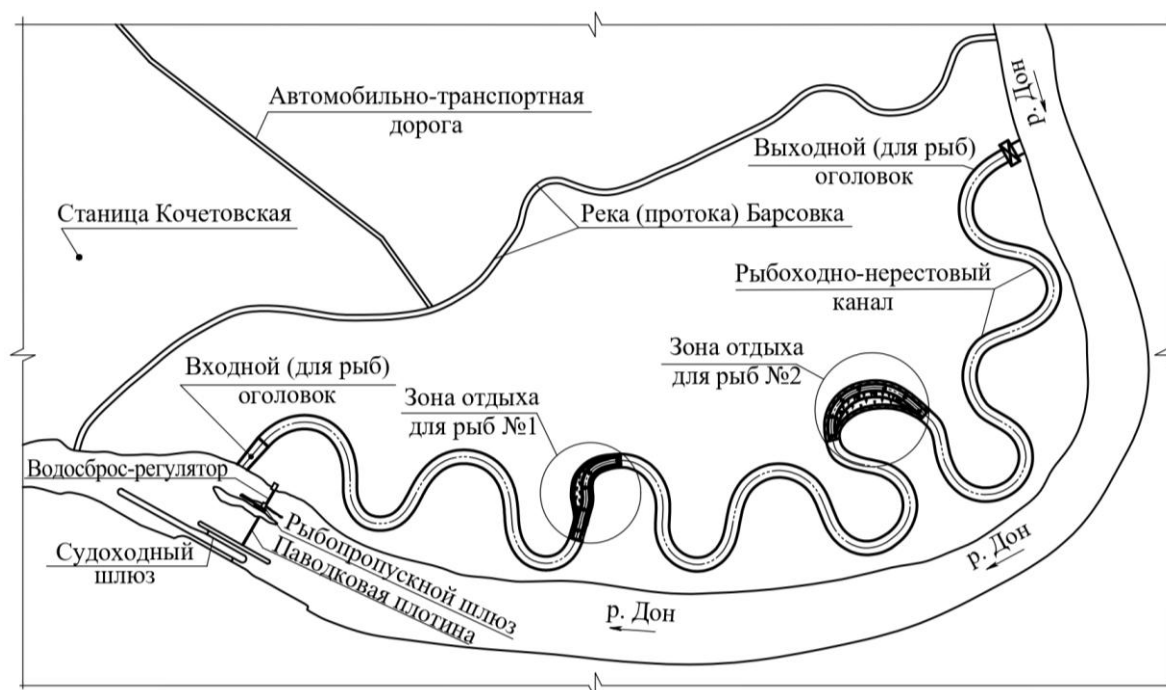


Рисунок 5 – Плановое расположение рыбоходно-нерестового канала в обход действующего Кочетовского гидроузла на р. Дон

Figure 5 – The layout of the fish pass and spawning channel bypassing the existing Kochetovsky waterworks facility on the river Don

В проектах Багаевского и Кочетовского каналов входные (для рыб) створы их трактов располагаются у верхних границ зон поиска [3, 12–14]. Входные оголовки конструктивно оформлены с соблюдением условий обеспечения благоприятного для рыб высотного и планового сопряжения русел каналов и р. Дон и требований гидравлического сопряжения соединяющихся потоков. Форма трактов каналов принята меандрической (макроеандрической на Багаевском и микроеандрической на Кочетовском канале). Извилистость планового очертания трактов каналов позволяет создавать разноскоростные зоны течений по живому сечению потока (у вогнутых и выпуклых берегов), что дает возможность рыбам выбрать приемлемые для них траектории перемещения. Руслу каналов по смоченному периметру закреплены каменно-галечно-гравийной смесью, выполняющей функции крепления и нерестового субстрата для литофильных рыб. В трактах этих каналов предусмотрено устройство зон отдыха для рыб.

Проектные значения расходных, скоростных и геометрических параметров Багаевского и Кочетовского каналов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры Багаевского и Кочетовского рыбоходно-нерестовых каналов

Table 1 – Main parameters of the Bagaevsky and Kochetovsky fish pass and spawning channels

Наименование параметра	Значение параметра	
	по Багаевскому каналу	по Кочетовскому каналу
Расход р. Дон Q_p , м ³ /с	270	250
Перепад уровней воды на гидроузле ΔZ , м	2,0	3,1
Средняя скорость воды в канале V_{cp} , м/с	0,895	0,950
Расход рыбоходно-нерестового канала Q_k , м ³ /с	100	90
Форма поперечного сечения тракта канала	трапецеидальная	трапецеидальная
Глубина водного потока в тракте канала h_k , м	2,50	2,60
Ширина канала по дну b_k , м	36,0	30,0
Заложение откосов тракта канала m	1:3,5	1:2,5
Уклон дна рыбоходно-нерестового канала I_k	0,000338	0,000340
Протяженность тракта канала L_k , м	5520	8630
Соотношение расходов канала и реки Q_k/Q_p , %	37,0	36,0

Характеристикой приемлемости параметров канала является показатель качества условий для привлечения в него рыб, определяемый по зависимости, %:

$$P_{к/у} = 100 \frac{Q_k}{Q_p} \cdot \left(\frac{v_{cp}}{\bar{v}_p} \right)^{0,5} \cdot \left(1 + 5 \cdot \frac{\bar{B}_k}{\bar{B}_p} \right)^{0,6} \cdot \left[1 - 0,1 \cdot \left(\frac{L_{уд}}{L_{з/п}} \right)^{0,3} \right],$$

где Q_k и Q_p – расчетные расходы рыбоходного канала и реки, м³/с;

v_{cp} и $\bar{v}_p$ – средние скорости течения воды в канале и реке, м/с;

$\bar{B}_k$ и $\bar{B}_p$ – средние значения ширины тракта канала и реки, м;

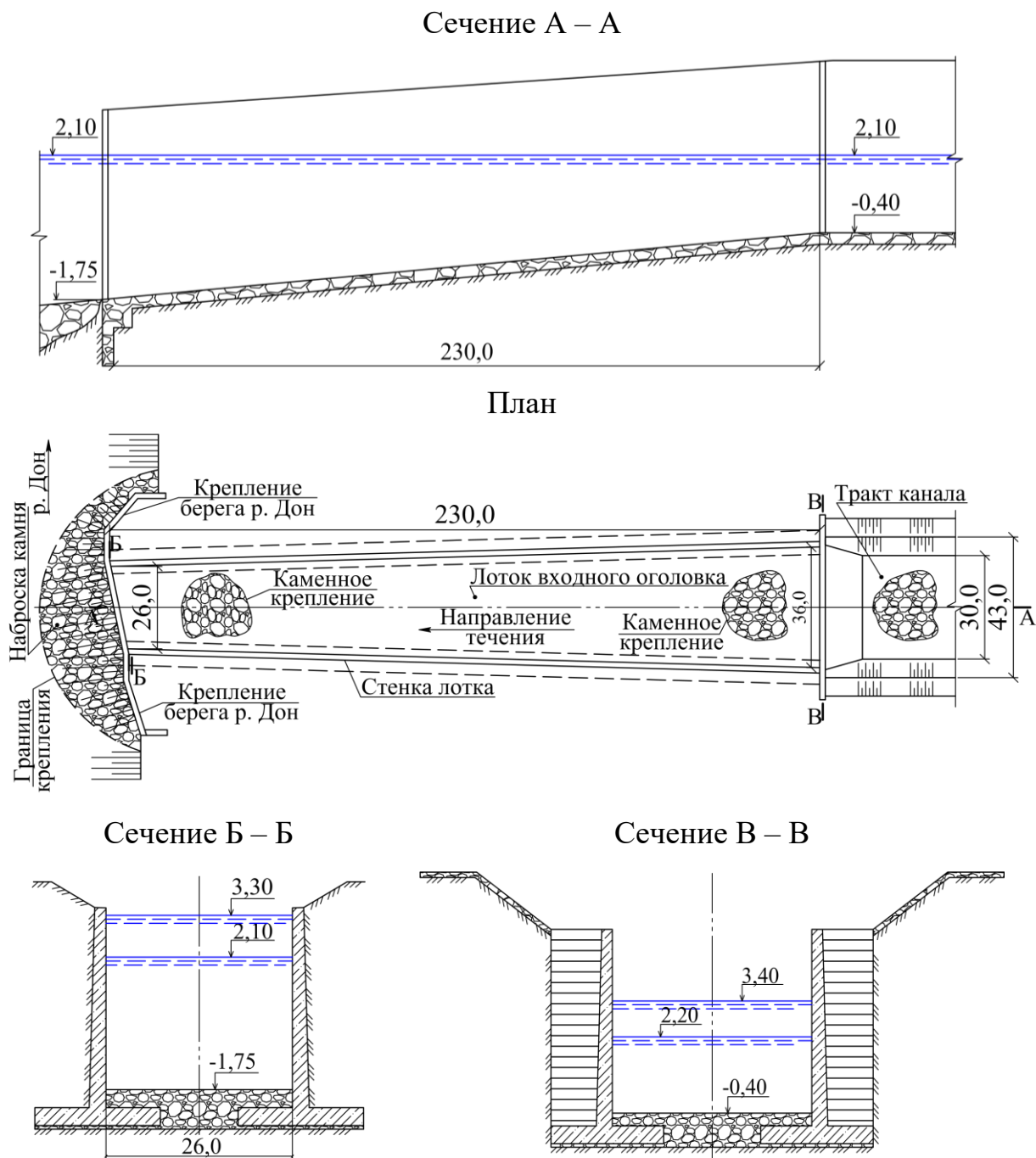
$L_{уд}$ и $L_{з/п}$ – удаленность створа входа в канал от плотины гидроузла и протяженность зоны поисков, равная 500 м.

Значения параметров качества условий для привлечения рыб в тракты каналов при различных расходах р. Дон составляют: для Николаевского

рыбоходно-нерестового канала $P_{к/у} = 44,6...23,0 \%$, для Константиновского канала $P_{к/у} = 52,0...26,4 \%$, для Кочетовского канала $P_{к/у} = 70,4...32,8 \%$ и для Багаевского канала $P_{к/у} = 75,3...34,7 \%$. В указанных диапазонах значений показателей качества верхний предел соответствует лучшим, а нижний худшим сочетаниям расходно-скоростных и геометрических параметров канала и реки и принятого расположения входа в канал.

К основным гидротехническим сооружениям, обеспечивающим работу (функционирование) рыбоходного канала, относятся их входные и выходные (для рыб) оголовки. Указанные сооружения обеспечивают конструктивное и гидравлическое сопряжение рыбоходного канала с рекой.

Входной оголовок обеспечивает благоприятные топографические и гидравлические условия для захода мигрирующих рыб из русла реки в тракт рыбоходного канала. Обязательным требованием к конструкции входного оголовка является обеспечение планового и высотного сопряжения конструктивных элементов оголовка (дна и ограждающих береговых устоев) с руслом реки (ее дном и берегом). При этом в месте сопряжения исходящего из входного оголовка водного потока с водным потоком реки необходимо обеспечить формирование «шлейфа привлекающих рыб течений», который должен быть выделен в водном потоке реки на возможно большем акваториальном пространстве [1–3, 6–8]. Конструкции входных оголовков разрабатываются с учетом топографических (плановых и высотных) характеристик канала и русла реки. Для поддержания принятой расчетной скорости течения на входе в лоток входного оголовка его лоток может быть выполнен сужающимся в направлении от тракта канала к створу выхода протекающего по нему водного потока в реку. Пример конструктивно-компоновочного решения входного оголовка Кочетовского рыбоходно-нерестового канала проиллюстрирован рисунком 6.



**Рисунок 6 – Конструктивное решение входного оголовка
рыбоходно-нерестового канала**

**Figure 6 – Structural solution of the intake head fish
pass and spawning channel**

Выходной оголовок (головной регулятор) рыбоходно-нерестового канала обеспечивает конструктивно-физическое (топографическое – плановое и высотное) и гидравлическое сопряжение тракта канала с руслом и водным

потоком реки, формирует условия для выхода рыб из канала в русловое водохранилище речного гидроузла и регулирует подачу воды в канал. При разработке конструктивного решения входного оголовка учитываются топографические условия его размещения, отметки уровней воды в русловом водохранилище и верховом участке канала, глубина воды в тракте канала, его расход и ширина. При определении размеров поперечного сечения водопропускного фронта (водопропускных отверстий) головного регулятора должно быть обеспечено соблюдение требований о непревышении потерями напора во входном и выходном сечениях оголовка значений $h_w = 0,05$ м (во избежание формирования в них непреодолимых для рыб скоростей течения воды). Пропускная способность головного регулятора определяется по величине расчетного расхода рыбоходно-нерестового канала при соответствующей отметке нормального подпорного уровня воды в верхнем бьефе гидроузла. При этом предусматривается функционирование головного регулятора в диапазоне возможных колебаний уровней воды в верхнем бьефе гидроузла и исключается возможность прыжкового сопряжения истекающего в канал потока. Для обеспечения втекания в регулятор воды из реки и вытекания ее из водопропускных отверстий в тракт канала предусматривается устройство соответствующих сопрягающих конструктивных элементов. В зависимости от условий функционирования канала его головной регулятор может быть 3–5-пролетным. Регулятор оборудуется рабочим (плоским) и ремонтным (шандорным) затворами. Для учета выходящих из канала рыб на регуляторе предусматривается рыбосчетное устройство. Пример конструктивного решения головного регулятора, запроектированного для условий Багаевского рыбоходно-нерестового канала, представлен на рисунке 7.

Обязательным видом гидротехнических сооружений, устраиваемых в трактах рыбоходно-нерестовых каналов, являются зоны отдыха для рыб.

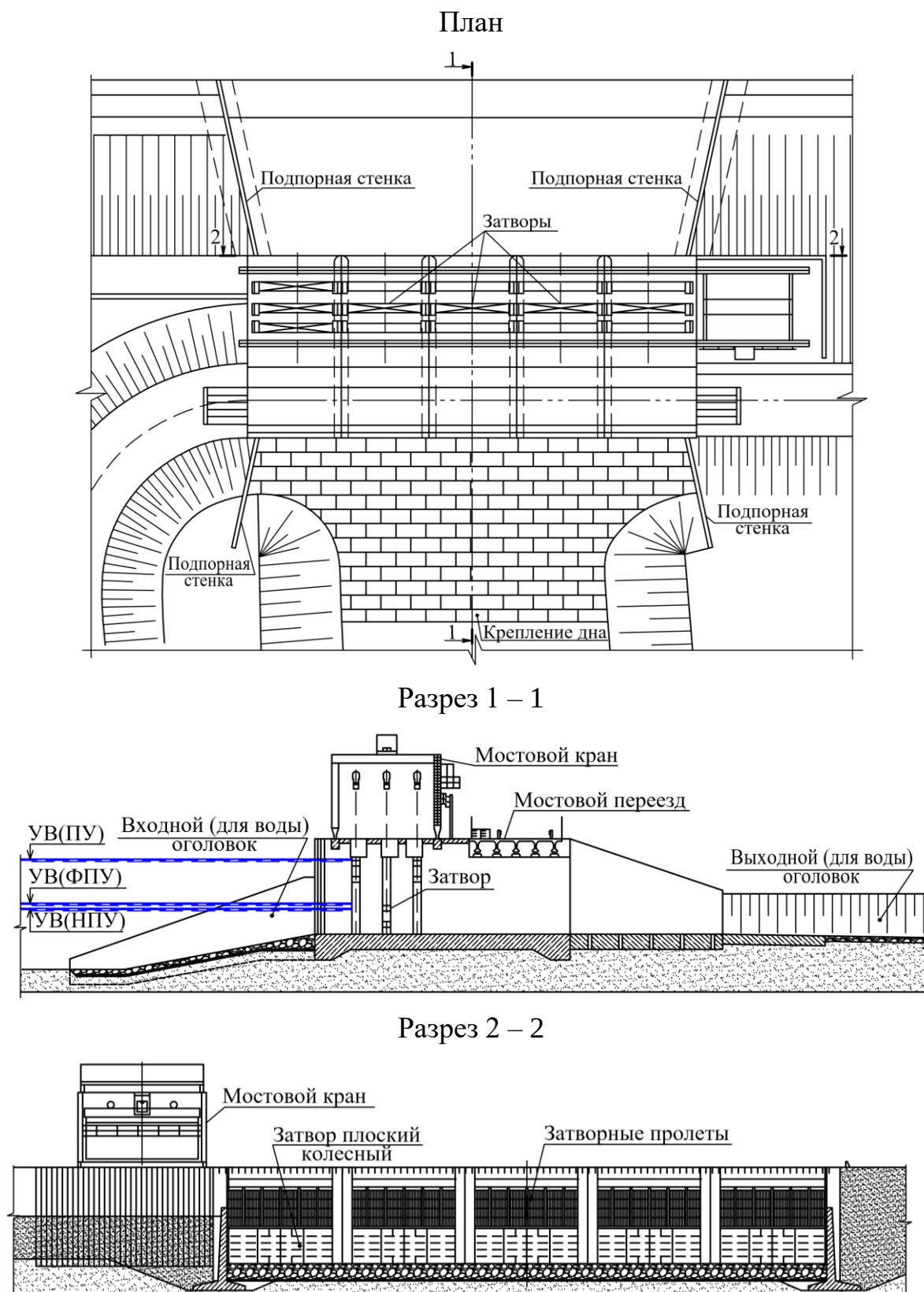
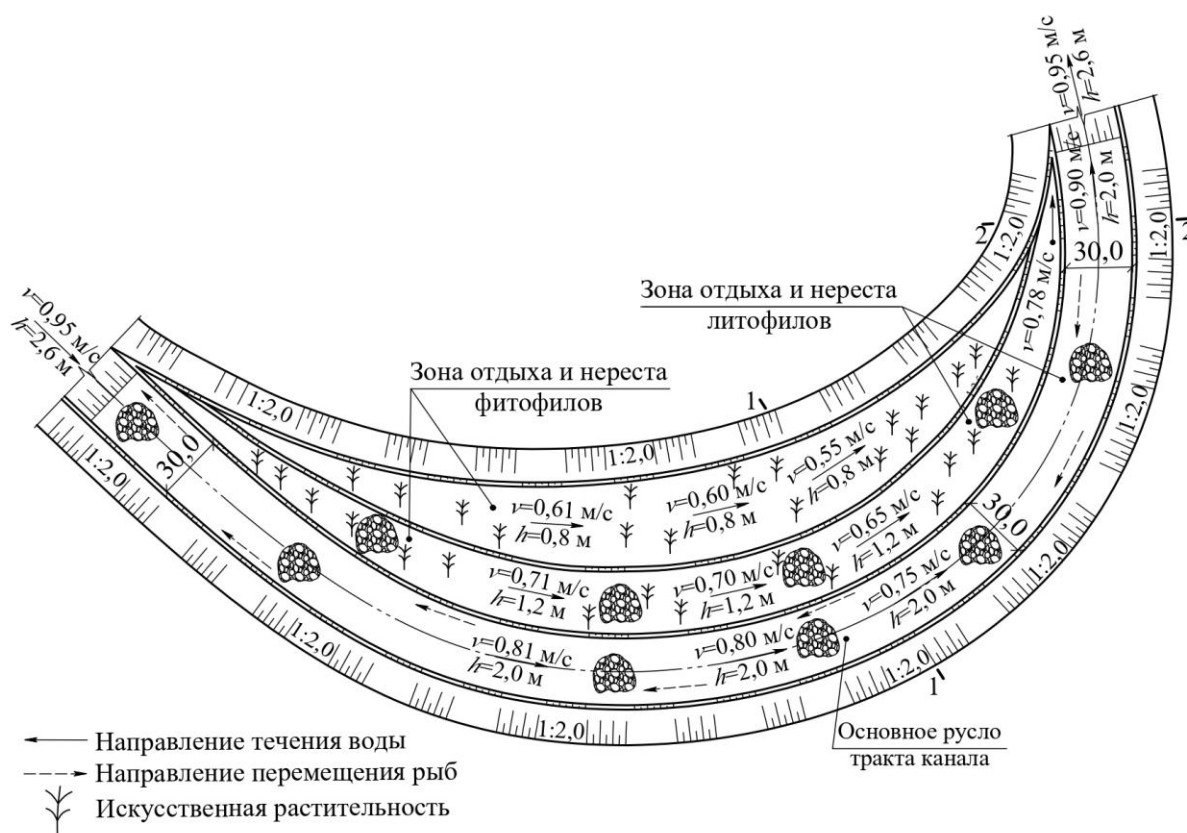


Рисунок 7 – Конструктивное решение головного регулятора рыбоходно-нерестового канала

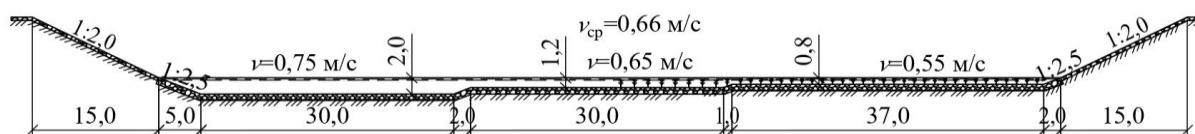
Figure 7 – Structural solution of the main head regulator fish pass and spawning channel

Количество и расположение зон отдыха по длине канала, их геометрические размеры и скоростные характеристики водного потока в них зависят от плавательной способности и биологических особенностей миграционного и нерестового поведения рыб. Необходимое снижение скоростей течения в зонах отдыха и увеличение площади и объема их акваториального пространства обеспечивается за счет увеличения площади живого сечения водного потока. При этом в пределах зон отдыха могут формироваться разноглубинные и разноскоростные участки, используемые рыбами для восстановления их энергетического ресурса. Зоны отдыха рекомендуется использовать в качестве нерестилищ для рыб при создании в их акватории определенных условий для их нереста. Пример конструктивного решения зоны отдыха, запроектированной на криволинейном участке тракта рыбоходно-нерестового канала, приведен на рисунке 8.

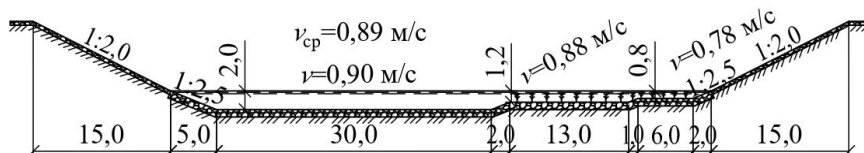
План



Сечение 1 – 1



Сечение 2 – 2



v – скорость течения воды в тракте канала, м/с; h – глубина воды в тракте канала, м;
 $v_{ср}$ – средняя скорость протекания водных масс по зоне отдыха для рыб, м/с
 v – the water flow velocity in the canal tract, m/s; h – the water depth in the canal tract, m;
 $v_{ср}$ – the average flow rate of water masses in the recreation area for fish, m/s

Рисунок 8 – План и поперечные сечения зоны отдыха для рыб на криволинейном участке рыбоходно-нерестового канала
Figure 8 – Plan and cross-sections of the recreation area for fish on the curved section of the fish pass and spawning canal

Выводы

1 Обследованием Николаевского и Константиновского каналов установлена приемлемость их использования в качестве рыбоходных сооружений и нерестилищ, определены их расходно-скоростные и геометрические параметры и установлены их достоинства и недостатки.

2 Приведены рекомендации по определению расходно-скоростных и геометрических параметров трактов рыбоходно-нерестовых каналов и основных сооружений, обеспечивающих их функционирование.

3 Разработаны технические обоснования конструктивных решений Багаевского и Кочетовского рыбоходно-нерестовых каналов.

Список источников

1. Шкура Вл. Н. Рыбоводные мелиорации малых и средних степных рек (обоснование путей и средств их реализации): монография / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т ДГАУ. Новочеркасск: Лик, 2015. 198 с.
2. Шкура В. Н. Рыбопропускные сооружения. В 2 ч. Ч. 1. М.: Рома, 1999. 729 с.
3. Шкура Вл. Н. Рыбоходные и рыбоходно-нерестовые каналы: монография / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т ДГАУ. Новочеркасск: Лик, 2012. 204 с.

4. Чистяков А. А. Конструкции рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов: учеб. пособие / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск, 2004. 150 с.

5. 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 рыбохозяйственные сооружения и русловая гидротехника / Гос. агропром. ком. СССР, Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т им. А. К. Картунова. Новочеркасск, 1986. С. 10–20.

6. Малеванчик Б. С., Никоноров И. В. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. М.: Легк. и пищ. пром-сть, 1984. 256 с.

7. Анохин А. М., Щепкина В. А. Программа возрождения рыбных запасов юга России «Серебряный поток Дона» // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Аз. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва. 2018. С. 102–105.

8. Боровской В. П., Гарбуз А. Ю., Баев О. А. Методика гидравлического расчета нерестового канала с разнофракционным гравийно-галечниковым покрытием русла // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 233–248. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=923> (дата обращения: 30.01.2022).

9. Павлов Д. С., Скоробогатов М. А. Миграции рыб в зарегулированных реках. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2014. 413 с.

10. Голованов В. К., Поддубный А. Г. Поведение осетровых в нижнем бьефе Кочетовского гидроузла // Биология внутренних вод: информ. бюл. Л., 1976. № 29. С. 54–56.

11. Поддубный А. Г., Малинин Л. К. Миграции рыб во внутренних водоемах: монография. М.: Агропромиздат, 1988. 224 с.

12. Гайдаев С. К. Рыбоводные сооружения низконапорного Багаевского гидроузла на реке Дон // Гидротехника. 2019. № 2(55). С. 22–25.

13. Шурухин Л. А., Пантина Т. А. Проект строительства Багаевского гидроузла как элемента единой системы внутренних водных путей европейской части России // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 5(72). С. 69–72.

14. Шурухин Л. А. Багаевский гидроузел: инженерные решения и итоги проектирования // Гидротехника. 2018. № 3. С. 41–46.

15. Research on dams and fishes: Determinants, directions, and gaps in the world scientific production / Н. R. Pereira, L. F. Gomes, Н. O. Barbosa, F. M. Pelicice, J. C. Nabout, F. B. Teresa, L. C. G. Vieira // Hydrobiologia. 2020. Vol. 847. P. 579–592. <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04122-y>.

16. Fishway in hydropower dams: a scientometric analysis / J. L. Brito-Santos, K. Dias-Silva, L. S. Brasil, J. B. da Silva, A. M. Santos, L. M. de Sousa, T. B. Vieira // Environmental Monitoring and Assessment. 2021, 28 Oct. Vol. 193. P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09360-z>.

17. Гидравлический расчет рыбоходно-нерестового канала с элементами искусственной шероховатости / Ю. М. Косиченко, В. Н. Шкура, О. А. Баев, М. Ю. Косиченко // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 4(28). С. 223–241. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=342> (дата обращения: 21.02.2022).

18. Конструктивные схемы и методики гидравлического расчета элементов рыбоводных комплексов на базе оросительно-обводнительных каналов / В. Н. Шкура, О. А. Баев, А. Ю. Гарбуз, Ю. М. Косиченко. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2018. 43 с.

References

1. Shkura V. N., 2015. *Rybovodnye melioratsii malykh i srednikh stepnykh rek (obosnovanie putey i sredstv ikh realizatsii): monografiya* [Fish-breeding Reclamation of Small and Medium Steppe Rivers (Substantiation of Ways and Means of Their Implementation): monograph]. Novocherkassk Reclamation Engineering Institute DGAU, Novocherkassk, Lik Publ., 198 p. (In Russian).
2. Shkura V. N., 1999. *Rybopropusknye sooruzheniya* [Fish Passage Structure]. In 2 parts, pt. 1, Moscow, Roma Publ., 729 p. (In Russian).
3. Shkura V. N., 2012. *Rybokhodnye i rybokhodno-nerestovye kanaly: monografiya* [Fish Pass and Fish Pass and Spawning Channels: monograph]. Novocherkassk Reclamation Engineering Institute DGAU, Novocherkassk, Lik Publ., 204 p. (In Russian).
4. Chistyakov A. A., 2004. *Konstruktsii rybokhodnykh i rybokhodno-nerestovykh kanalov: ucheb. posobie* [Designs of Fish Pass and Fish Passage and Spawning Channels: textbook]. Novocherkassk State Reclamation Academy, Novocherkassk, 150 p. (In Russian).
5. 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* [Operation experience of bypass spawning and fish pass channels at low-pressure hydroelectric facilities on the Lower Don]. *Gidrotekhnicheskie rybokhozyaystvennyye sooruzheniya i ruslovaya gidrotekhnika* [Hydrotechnical Fishery Facilities and Channel Hydraulic Engineering]. State Agroindustrial Complex USSR, Novocherkassk Reclamation Engineering Institute named after A. K. Kortunov, Novocherkassk, pp. 10-20. (In Russian).
6. Malevanchik B. S., Nikonorov I. V., 1984. *Rybopropusknye i rybozashchitnye sooruzheniya* [Fish Pass and Fish Protection Structures]. Moscow, Light and Food Industry Publ., 256 p. (In Russian).
7. Anokhin A. M., Shchepkina V. A., 2018. *Programma vozrozhdeniya rybnykh zapasov yuga Rossii "Serebryanyy potok Dona"* [Program for the revival of fish stocks in the south of Russia "Silver Stream of the Don"]. *Aktual'nye voprosy rybolovstva, rybovodstva (akvakul'tury) i ekologicheskogo monitoringa vodnykh ekosistem: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konf., posvyashchennoy 90-letiyu Azovskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta rybnogo khozyaystva* [Current Issues of Fisheries, Fish Breeding (Aquaculture), and Ecological Monitoring of Aquatic Ecosystems: Proc. of International Scientific-Practical Conference, dedicated to 90th anniversary of Azov Scientific Research Institute of Fishery Industry], pp. 102-105. (In Russian).
8. Borovskoy V. P., Garbuz A. Yu., Baev O. A., 2018. [Hydraulic calculation methodology of spawning canal with differently fractured gravel-pebble-bed covering]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 1(29), pp. 233-248, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=923> [accessed 30.01.2022]. (In Russian).
9. Pavlov D.S., Skorobogatov M.A., 2014. *Migratsii ryb v zaregulirovannykh rekakh* [Fish Migrations in Regulated Rivers]. Moscow, Association of scientific editions, KMK, 413 p. (In Russian).
10. Golovanov V. K., Poddubny A. G., 1976. *Povedenie osetrovyykh v nizhnem befe Kochetovskogo gidrouzla* [Behavior of sturgeons in the downstream of the Kochetovsky waterworks facility]. *Biologiya vnutrennikh vod: inform. byulleten* [Biology of Internal Waters: Information bull.], Leningrad, no. 29, pp. 54-56. (In Russian).
11. Poddubny A. G., Malinin L. K., 1988. *Migratsii ryb vo vnutrennikh vodoemakh: monografiya* [Fish Migrations in Inland Waters: monograph]. Moscow, Agropromizdat Publ., 224 p. (In Russian).
12. Gaidaev S. K., 2019. *Rybovodnye sooruzheniya nizkonapornogo Bagaevskogo gidrouzla na reke Don* [Fishways of the Bagaevsky low-head hydroelectric engineering complex on the river Don]. *Gidrotekhnika* [Hydrotechnics], no. 2(55), pp. 22-25. (In Russian).
13. Shurukhin L. A., Pantina T. A., 2017. *Proekt stroitel'stva Bagaevskogo gidrouzla*

kak elementa edinoy sistemy vnutrennikh vodnykh putey evropeyskoy chasti Rossii [Project for building the Bagaevsky hydroelectric engineering complex as an element in the unified deep-water system of European Russia's inland waterways]. *Transport Rossiyskoy Federatsii* [Transport of the Russian Federation], no. 5(72), pp. 69-72. (In Russian).

14. Shurukhin L. A., 2018. *Bagaevskiy gidrouzel: inzhenernye resheniya i itogi proektirovaniya* [The Bagaevsky hydroelectric complex: engineering solutions and design results]. *Gidrotekhnika* [Hydrotechnics], no. 3, pp. 41-46. (In Russian).

15. Pereira H. R., Gomes L. F., Barbosa H. O., Pelicice F. M., Nabout J. C., Teresa F. B., Vieira L. C. G., 2020. Research on dams and fishes: Determinants, directions, and gaps in the world scientific production. *Hydrobiologia*, vol. 847, pp. 579-592, <https://doi.org/10.1007/s10750-019-04122-y>.

16. Brito-Santos J. L., Dias-Silva K., Brasil L. S., Da Silva J. B., Santos A. M., De Sousa L. M., Vieira T. B., 2021. Fishway in hydropower dams: a scientometric analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 28 Oct., vol. 193, pp. 1-17, <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09360-z>.

17. Kosichenko Yu. M., Shkura V. N., Baev O. A., Kosichenko M. Yu., 2017. [Hydraulic calculation of the fish spawning canal with elements of artificial roughness]. *Nauchnyy Zhurnal Rossiyskogo NII Problem Melioratsii*, no. 4(28), pp. 223-241, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=342> [accessed 21.02.2022]. (In Russian).

18. Shkura V. N., Baev O. A., Garbuz A. Yu., Kosichenko Yu. M., 2018. *Konstruktivnye skhemy i metodiki gidravlicheskogo rascheta elementov rybovodnykh kompleksov na baze orositel'no-obvodnitel'nykh kanalov* [Structural Schemes and Methods of Hydraulic Calculation of Elements of Fish-breeding Complexes Based on Drainage and Irrigation Canals]. *Novocherkassk, RosNIIPM*, 43 p. (In Russian).

Информация об авторах

В. Н. Шкура – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, профессор;

А. В. Шевченко – младший научный сотрудник, аспирант.

Information about the authors

V. N. Shkura – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Professor;

A. V. Shevchenko – Junior Researcher, Postgraduate Student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.03.2022; одобрена после рецензирования 15.03.2022; принята к публикации 16.03.2022.

The article was submitted 01.03.2022; approved after reviewing 15.03.2022; accepted for publication 16.03.2022.