

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 626.88

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-1-219-237

Рыбоходно-нерестовый канал в составе Кочетовского гидроузла на р. Дон

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:** разработка компоновочно-конструктивного решения рыбоходно-нерестового канала, устраиваемого в составе Кочетовского гидроузла на р. Дон. **Материалы и методы.** Фактологическую основу разработки составили известные сведения и материалы комплексных авторских обследований и исследований, выполненных на Кочетовском гидроузле по общепринятым методикам. **Результаты.** При разработке технического решения рыбоходно-нерестового канала собрана, обработана и проанализирована научно-техническая информация о компоновочно-конструктивном решении гидротехнических сооружений действующего Кочетовского гидроузла, данные о гидрологии и гидрометрии исследованного участка реки, топографические и другие материалы. Предложено протрассировать канал в обход сооружений гидроузла в пределах правобережной водоохранной зоны реки с включением в его состав: входного оголовка, обустроенного сопрягающим лотком и дополнительным блоком питания; тракта канала излучинной формы в плане, обустроенного зонами отдыха для рыб; выходного оголовка с головным регулятором, выполняющим функцию основного блока питания. Предлагается устройство канала с характеристиками: общий расход на входе рыб в канал 90 куб. м/с; расход тракта канала, обеспечиваемый головным регулятором, 50 куб. м/с и расход дополнительного блока питания 40 куб. м/с; средняя скорость водного потока в неподтопленной зоне тракта канала 0,95 м/с; скорость потока на входе в канал 0,60–1,05 м/с; глубина воды в неподтопленной зоне тракта канала 2,5 м; ширина канала (трапециoidalного сечения) по дну 15,0 м; заложение откосов 2,5; длина канала 5850 м. **Вывод.** Разработано компоновочно-конструктивное решение рыбоходно-нерестового канала, устраиваемого в обход сооружений Кочетовского гидроузла (р. Дон), органично адаптированного к условиям его создания и обеспечивающего условия для прохода и нереста анадромных видов рыб.

Ключевые слова: речной гидроузел, миграция рыб, пропуск рыб, нерест рыб, рыбопропускное сооружение, рыбоходно-нерестовый канал, компоновка рыбоходно-нерестового канала, конструкция рыбоходно-нерестового канала

Для цитирования: Шкура В. Н., Шевченко А. В. Рыбоходно-нерестовый канал в составе Кочетовского гидроузла на р. Дон // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 1. С. 219–237. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-219-237>.

HYDRAULIC ENGINEERING

Original article

Fish passage and spawning channel as a part of the Kochetovsky waterworks on the river Don

Viktor 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: development of a layout and design solution for a fish passage and spawning channel, arranged as a part of the Kochetovsky waterworks on the river Don. **Materials and methods.** The factual basis of the development was made up of known information and materials of complex authors' surveys and studies carried out at the Kochetovsky waterworks according to generally accepted methods. **Results.** When developing a technical solution for a fish passage and spawning canal, scientific and technical information on the layout and design of the hydraulic structures of the existing Kochetovsky waterworks, data on the hydrology and hydrometry of the investigated section of the river, topographic and other materials were collected, processed and analyzed. It is proposed to contour the canal bypassing the waterworks structures within the right-bank water protection zone of the river with the inclusion of: an inlet head equipped with a mating flume and an additional power supply unit; canal track of a curved shape in a plan, equipped with recreation areas for fish; outlet head with a head regulator that performs the function of the main power unit. A channel arrangement with the following characteristics is proposed: the total flow rate at the fish entry to the channel is 90 cubic m/s; channel track flow rate, provided by the head regulator, 50 cubic m/s and the consumption of an additional power supply unit of 40 cubic m/s; the average water flow velocity in the non-flooded zone of the channel tract is 0.95 m/s; channel inlet flow rate 0.60–1.05 m/s; water depth in the unflooded zone of the canal tract 2.5 m; channel width (trapezoidal section) along the bottom 15.0 m; slopes gradient 2.5; channel length 5850 m. **Conclusion.** A layout and design solution for a fish passage and spawning canal, arranged bypassing the Kochetovsky waterworks facilities (river Don), organically adapted to the conditions of its creation and providing conditions for passing and spawning of anadromous fish species, has been developed.

Keywords: river waterworks, fish migration, fish passage, fish spawning, fish passing facilities, fish passage and spawning channel, layout of the fish passage and spawning channel, design of the fish passage and spawning channel

For citation: Shkura V. N., Shevchenko A. V. Fish passage and spawning channel as a part of the Kochetovsky waterworks on the river Don. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(1):219–237. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-1-219-237>.

Введение. Действующими в Российской Федерации государственными актами в области экономики и рационального природопользования предусмотрено увеличение добычи рыбы во внутренних водоемах страны [1–3]. Для этого на важных в рыбохозяйственном отношении водных объектах предусматривается создание условий для естественного воспроизводства популяций и восстановления запасов промысловых видов рыб. Особую актуальность решение указанной задачи приобретает в Азово-Донском рыбохозяйственном бассейне, где в последние десятилетия имеет

место устойчивая тенденция к стагнации и деградации популяций особо ценных проходных (белуги, осетра, севрюги, рыбца, шемаи и др.), ценных полупроходных (леща, тарани, судака, сазана и др.) и туводных (стерляди, карповых и др.) видов рыб [4, 5]. Рыбоводческая обстановка на Дону характеризуется запретом (с 2000 г.) промыслового лова осетровых и наличием дефицита производителей этих рыб для функционирования заводов по их искусственному воспроизводству, прогнозируется реальная угроза потери генофонда белуги, севрюги и русского осетра. Эффективность естественного воспроизводства рыбца, шемаи, проходной сельди, леща, судака и других видов определяется как низкая («низкоурожайная»). Сложившаяся в бассейне ситуация с естественным воспроизводством усугубляется все возрастающими потребностями экономики в водных ресурсах при системно снижающейся водности р. Дон и ее притоков. В этих условиях рыбное хозяйство испытывает все возрастающее давление отраслевого водопользования и антропогенных нагрузок на водные экосистемы.

Отметим, что специалисты рыбного хозяйства предлагали к реализации различные подходы к обеспечению рыбоводства на Нижнем Дону, реализуемого в условиях зарегулированности водного стока реки каскадом гидроузлов при дефиците водных ресурсов в стокорегулирующем Цимлянском водохранилище. Наряду с обустройством гидроузлов рыбопропускными сооружениями предлагалось интенсифицировать искусственное воспроизводство ценных видов рыб, осуществлять периодические нерестовые попуски расходов воды по р. Дон с регулируемым (по объемам, уровням и срокам) затоплением русловых и пойменных нерестилищ, расчисткой русел нерестовых малых и средних рек, зарыблением водохранилищ. Указанные мероприятия реализуются в различных объемах с разной степенью интенсивности и эффективности. Их результативность и возможность проведения зависят от ряда (природно-климатических, социально-экономических, водно-ресурсных и др.) условий реализации и в настоящее время (по разным

причинам) определяются как недостаточные для восстановления рыбопродуктивности Азово-Донского бассейна.

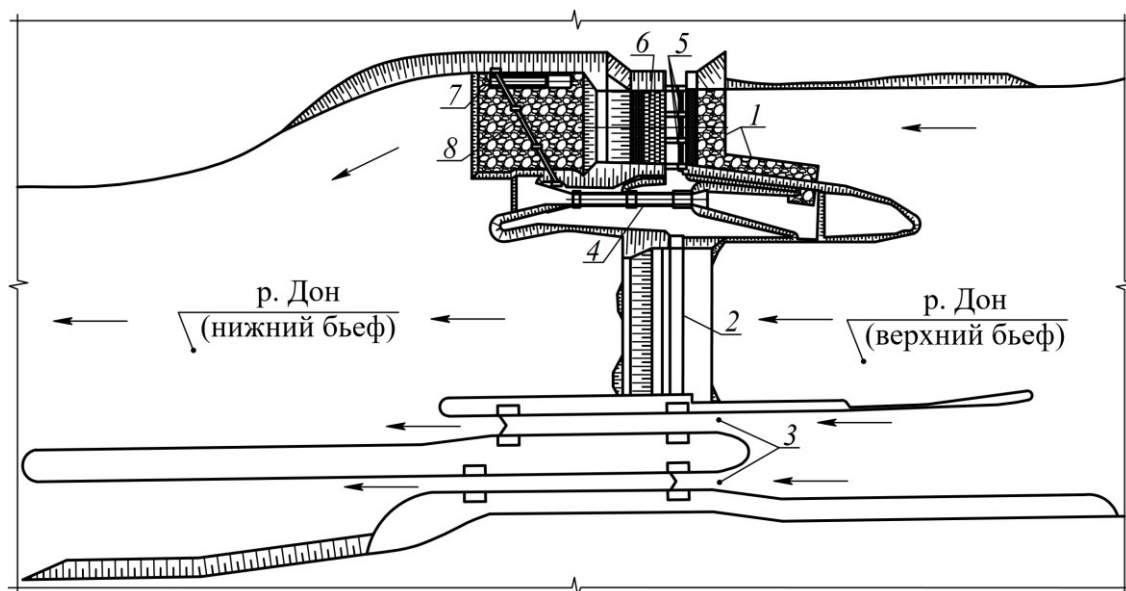
Упорядочение водопользования и развитие рыбохозяйственной деятельности на Нижнем Дону предусмотрено Распоряжением Правительства Российской Федерации «План мероприятий («дорожная карта») по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса р. Дон» [6]. Планом мероприятий по его реализации предусмотрена разработка технического обоснования компоновочно-конструктивного решения Кочетовского рыбоходного канала, что определено целью настоящего исследования.

Кочетовский гидроузел построен на р. Дон в 1919 г. с целью обеспечения судоходных глубин в русле реки и в последующем дважды (в 1971 и 2007 гг.) подвергался кардинальной реконструкции. Проектом гидроузла было предусмотрено устройство рыбоходного сооружения, конструкция которого оказалась неудачной, и при пропуске паводка рыбоход был разрушен. До 1972 г. гидроузел использовался без обеспечения пропуска рыб к местам их нереста, расположенным выше его створа. Реализованным проектом реконструкции в 1972 г. в составе гидроузла было предусмотрено устройство рыбопропускного комплекса, включающего рыбопропускной шлюз, плавучую установку для накопления и транспортировки рыбы и электрорыбозаградитель. Компоновочное решение гидроузла после данной реконструкции проиллюстрировано рисунком 1.

Выполненными на гидроузле исследованиями [7, 8] установлена высокая эффективность функционирования рыбопропускного шлюза и низкая эффективность работы выведенных из эксплуатации плавучей установки для накопления и транспортировки рыбы и электрорыбозаградителя.

Судя по данным, приведенным в работе Б. С. Малеванчика, И. В. Никонорова [9], рыбопропускной шлюз до 1984 г. обеспечивал массовый пропуск из нижнего бьефа гидроузла в верхний анадромно-мигрирующих рыб, а его рыбопропускная способность достигала 62 % от количества подхо-

дящих к гидроузлу 36 видов рыб. В последующем (по разным причинам и обстоятельствам) пропуск рыб снизился [10], что актуализировало необходимость решения вопроса о проектировании рыбоходного или рыбоходно-нерестового канала [11].



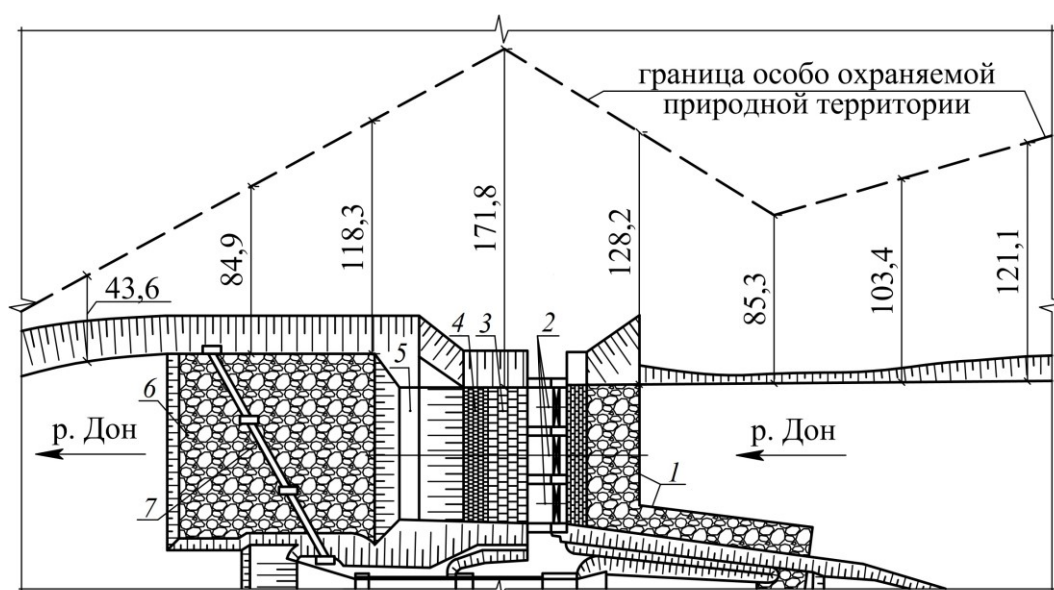
- 1 – понурное крепление водосброса-регулятора; 2 – водосливная (судоходная) плотина;
3 – судоходные сооружения; 4 – рыбопропускной шлюз; 5 – пролеты водосброса-регулятора; 6 – рисберма; 7 – плавучая установка для накопления и транспортировки рыбы; 8 – электрорыбозаградитель
- 1 – approach floor fastening of the spillway-regulator; 2 – spillway (navigable) dam;
3 – navigation facilities; 4 – fish passage lock; 5 – spillway regulator spans; 6 – apron;
7 – floating fish accumulation and transportation structure; 8 – electric fish screen

Рисунок 1 – Компоновочно-конструктивное решение Кочетовского гидроузла на р. Дон
Figure 1 – Layout and design solution of the Kochetovsky waterworks on the river Don

Материалы и методы. Эмпирическую базу работы составили данные исследований и обследований, выполненных на Кочетовском, Николаевском и Константиновском гидроузлах, и материалы технического обоснования проекта Багаевского рыбоходно-нерестового канала.

Результаты и обсуждение. В соответствии с данными гидрометрических исследований [8] условий сброса воды водопропускными сооружениями, протекания водного потока в нижнем бьефе Кочетовского гидроузла и ихтиологических исследований, посвященных изучению трасс перемещения

рыб [12], рыбоходно-нерестовый канал необходимо расположить на прилегающем к гидроузлу участке правобережной поймы р. Дон. Территориально ограничивающими факторами для выбора трассы расположения канала являются существующее компоновочно-конструктивное решение водосброса-регулятора, граница особо охраняемой природной территории и земельного участка правобережья Кочетовского руслового водохранилища. План-схема участка возможного расположения устьевой (входной для рыб) части рыбоходно-нерестового канала представлена на рисунке 2.



1 – понур; 2 – пролеты водосброса-регулятора; 3 – водобой; 4 – рисберма;
5 – ковш рисбермы; 6 – каменное крепление русла; 7 – электрорыбозаградитель
1 – approach floor; 2 – spillway-regulator spans; 3 – floor; 4 – apron;
5 – apron bucket; 6 – channel rock apron; 7 – electric fish screen

Рисунок 2 – План-схема водосброса-регулятора и правобережного (прилегающего к гидроузлу) участка возможного размещения рыбоходно-нерестового канала

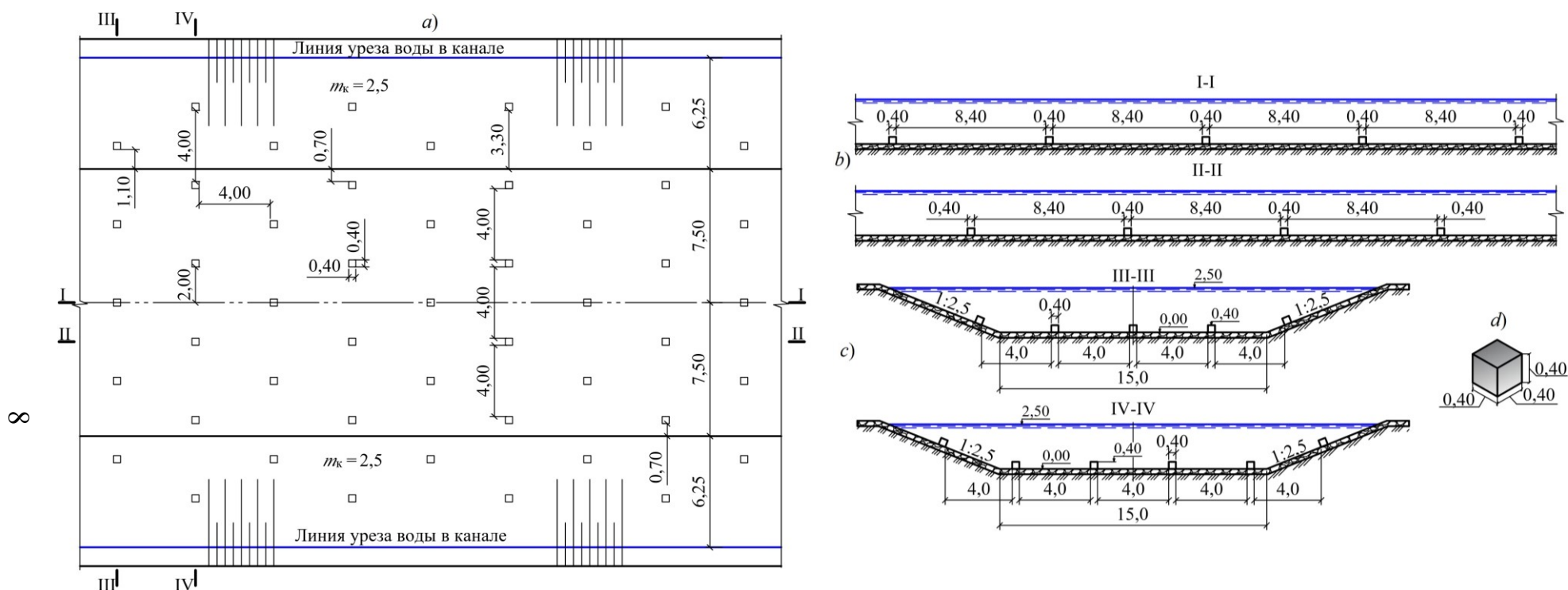
Figure 2 – Layout of the spillway-regulator and the right-bank (adjacent to the waterworks) site of possible placement of fish passage and spawning channel

В соответствии с данными рисунка 2 устьевая часть канала может быть размещена между границей особо охраняемой природной территории и береговой зоной реки с расположением входного (для рыб) створа в пределах существующего крепления отводящего русла водосброса-регулятора.

Разработке компоновочно-конструктивного решения рыбоходно-нерестового канала предшествовали обоснования его расходно-скоростных параметров и расчеты для определения его геометрических размеров.

Определяющими рыбоведческими характеристиками рыбоходно-нерестовых каналов являются средняя (по тракту) скорость течения водного потока и его глубина. В соответствии с известными данными о скоростях плавания рыб при нерестовых миграциях [12], нормативно рекомендуемыми значениями привлекающих, бросковых и сносящих скоростей течений¹ за расчетную величину средней по живому сечению скорости водного потока в тракте канала принята $\bar{v}_k = 0,95$ м/с [13]. При этом предусматривается варьирование значений скорости по глубине потока и в плане на величину $\Delta\bar{v}_k = \pm 0,1$ м/с, что соответствует крейсерским значениям скоростей плавания основных (особо ценных и ценных) подлежащих пропуску рыб. Учитывая ритмику миграционного перемещения производителей анадромно-мигрирующих по р. Дон рыб, в тракте предусмотрели устройство зон отдыха рыб со скоростями течения 0,6–0,7 м/с. Расчетная глубина водного потока в тракте канала принята равной $h_k = 2,5$ м. Форма поперечного сечения русла канала принята трапециoidalной с заложением откосов $m_k = 2,5$. Дно и откосы канала покрываются разноразмерной галечно-гравийно-каменной смесью. Крепление дна осуществляется 10-сантиметровыми слоями гравия диаметром 80–100 мм, гальки с размером фракций от 50 до 100 мм с вкраплениями камня размером от 200 до 400 мм. По откосам русло отсыпается галечно-гравийной смесью (слоем 30 см) в равном соотношении по объемам фракций (20–60 и 60–120 мм). По поверхности отсыпанной смеси укладываются крупноразмерные камни [11] (диаметром 200–400 мм) по схеме, приведенной на рисунке 3.

¹Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87 [Электронный ресурс]: СП 101.13330.2012: утв. Минрегионразвития России 30.06.12: введ. в действие с 01.01.13. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095534> (дата обращения: 10.12.2021).



a – план; *b* – продольные сечения I – I и II – II; *c* – поперечные сечения III – III и IV – IV; *d* – вид на элемент искусственной шероховатости
a – plan; *b* – longitudinal sections I – I and II – II; *c* – cross sections III – III and IV – IV; *d* – view of the element of artificial roughness

Рисунок 3 – Конструктивное решение фрагмента тракта рыбоходно-нерестового канала

Figure 3 – Structural solution of the fragment of the fish passage and spawning channel tract

Принятое галечно-гравийно-каменное покрытие смачиваемого периметра тракта не только обеспечивает крепление дна и откосов рыбоходно-нерестового канала, повышает шероховатость его русла, но и одновременно является нерестовым субстратом для литофильных видов рыб.

Рыбопропускная способность и нерестовые возможности канала в значительной мере определяются его расходом (Q_k , м³/с). На вышерасположенных Николаевском и Константиновском рыбоходно-нерестовых каналах расходы оставляют 70 и 80 м³/с соответственно, а на строящемся нижерасположенном Багаевском канале $Q_k = 100$ м³/с. Ориентируясь на расходы аналогов, правомерно принять расход Кочетовского рыбоходно-нерестового канала равным $Q_k = 90$ м³/с, что составляет 36 % от минимального расчетного расхода гидроузла. Учитывая, что конструкция канала предусматривает устройство дополнительного блока питания, предлагаем общий расход канала разделить между расходом, пропускаемым по тракту ($Q_{т/к}$, м³/с), и дополнительным блоком ($Q_{д/б}$, м³/с) в соотношении: $Q_{т/к} = 50$ м³/с и $Q_{д/б} = 40$ м³/с.

Гидравлическим расчетом, выполненным по методике В. П. Боровского, А. Ю. Гарбуза, О. А. Баева [14], установлены гидрометрические параметры канала, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Гидрометрические характеристики Кочетовского рыбоходно-нерестового канала

Table 1 – Flow geometry of the Kochetovsky fish passage and spawning channel

Наименование параметра	Значение параметра
Расход, пропускаемый по тракту канала, $Q_{т/к}$, м ³ /с	90,0
Средняя скорость водного потока в тракте $\bar{v}_k$, м/с	0,95 ± 0,10
Форма поперечного сечения тракта канала	трапецеидальная
Глубина водного потока в тракте канала h_k , м	2,5
Коэффициент заложения откосов канала m_k	2,5
Протяженность тракта канала L_k , м	5850
Средняя ширина тракта канала по дну $\bar{b}_k$, м	21,25
Средний уклон дна рыбоходно-нерестового канала I_k	0,000436
Нерестовая площадь тракта канала S_n , м ²	124312,5
Примечание – Тракт канала закреплен слоем галечно-гравийной смеси, являющейся нерестовым субстратом для литофильных видов рыб.	

Установленные параметры канала позволили наметить его компоновочно-конструктивное решение, проиллюстрированное рисунком 4.

В составе рыбоходно-нерестового канала выделяют входной и выходной (для рыб) участки («оголовки»), тракт канала и зоны отдыха рыб.

Входной оголовок обеспечивает топографическое («физическое») сопряжение русла канала с руслом реки и гидравлическое сопряжение вытекающего из канала водного потока с речным потоком. В соответствии с современными рекомендациями при конструировании входных оголовков необходимо обеспечить сопряжение русел канала и реки по схеме «дно в дно», закрепить откосы и ложе водотока в пределах подходов участков к входу в тракт канала. При этом гидрометрические параметры канала и реки на подходе участку должны формировать благоприятные гидравлические условия для привлечения рыб к входу в канал. В соответствии с СП 101.13330.2012 и данными, приведенными в работах J. L. Brito-Santos, H. R. Pereira, A. B. M. Baki и др. [15–17], входное сечение входного (для рыб) оголовка канала необходимо располагать в пределах зоны активного поиска рыбами прохода через физическую и скоростную преграду на их миграционном пути (между ее верхней и нижней границами). В реальных топографических условиях и при имеющем место конструктивном исполнении отводящего русла водосброса-регулятора предложено компоновочно-конструктивное решение входного оголовка канала, проиллюстрированное на рисунках 5 и 6.

В соответствии с данными рисунков 5 и 6 входной створ расположен на расстоянии 100 м от створа перекрываемых плоскими металлическими затворами пролетов водосброса-регулятора и находится за пределами водобоя, закрепленного бетонным покрытием части рисбермы, и за ее каменно-укрепленным ковшом, но в пределах зоны поисков (между верхней и нижней ее границами). Подходной участок к входному сечению входного (для рыб) оголовка рыбоходно-нерестового канала на протяжении 71,0 м закреплен каменной наброской. Ширина отводящего канала водосброса-

регулятора в створе расположения входного (для рыб) сечения рыбоходно-нерестового канала составляет 115 м. Удаленность входа рыб в канал и его параметры позволяют сформировать установившийся равномерный по живому сечению режим течения руслового водного потока, сбрасываемого водосбросом-регулятором, и обеспечить требуемое выделение исходящего из канала привлекающего рыб потока в общем течении реки.

Компоновочно-конструктивное решение входного (для рыб) оголовка (устьевой части канала) и характерные продольные и поперечные разрезы и сечения по нему проиллюстрированы ниже рисунком 7.

Расположение и параметры устьевого (для водного потока) участка тракта канала вписываются в участок местности между границей особо охраняемой природной территории и правобережной бровкой р. Дон, его входная часть органично вписывается в существующее компоновочно-конструктивное решение русла действующего водосброса-регулятора.

Дополнительный блок питания обеспечивает регулируемую подачу расходов (от 10 до 40 м³/с) воды в сопрягающий лоток входного оголовка, что компенсирует снижение скоростей течения в нем, вызванное увеличением глубин водного потока в направлении от верхового к низовому створу лотка. Дополнительный блок питания предлагается выполнить из четырех ниток автономно функционирующих водоводов с размерами поперечного сечения 2,4 × 2,4 м, обеспечивающих подвод изымаемой из руслового водохранилища воды к водораспределительным галереям с последующим ее выпуском через систему водовыпускных отверстий в акваториальное пространство сопрягающего лотка входного оголовка рыбоходно-нерестового канала.

Совместной работой основного и дополнительного блоков питания обеспечивается регулирование скоростей течения во входном (для рыб) сечении входного оголовка от 0,6 м/с (при расходе гидроузла $Q_{г/у} = 1100 \text{ м}^3/\text{с}$) до 1,05 м/с (при расходах гидроузла $Q_{г/у} = 250...300 \text{ м}^3/\text{с}$).

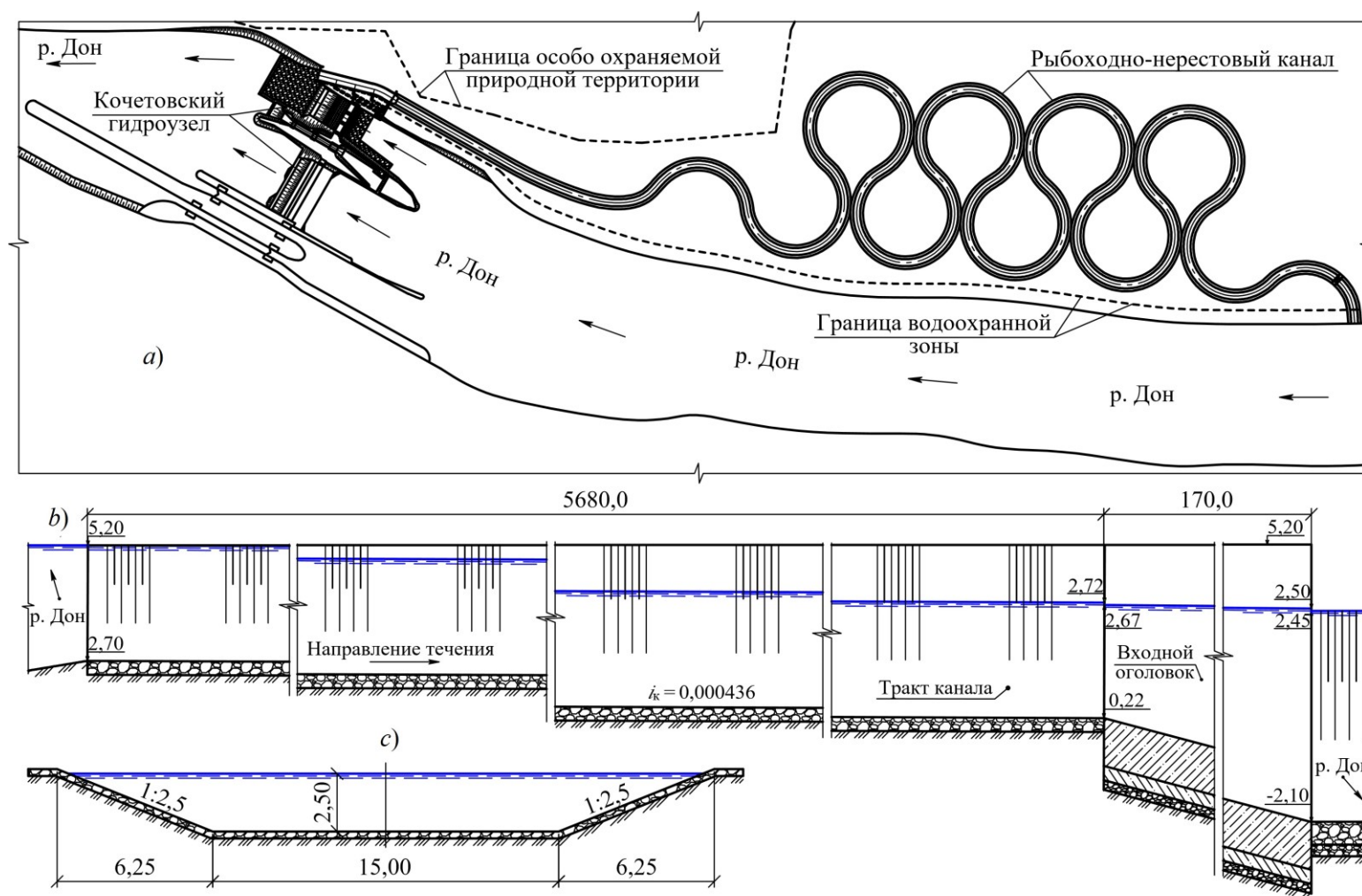
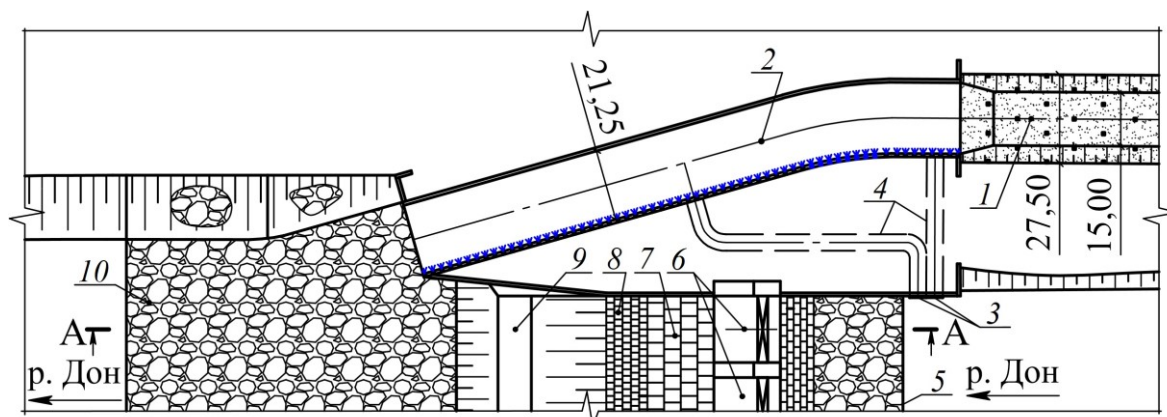


Рисунок 4 – Компоновочная схема Кочетовского рыбоходно-нерестового канала:
a – план; b, c – продольный и поперечный разрезы по тракту канала

Figure 4 – Layout scheme of the Kochetovsky fish passage and spawning channel:
a – plan; b, c – longitudinal and cross sections along the channel tract

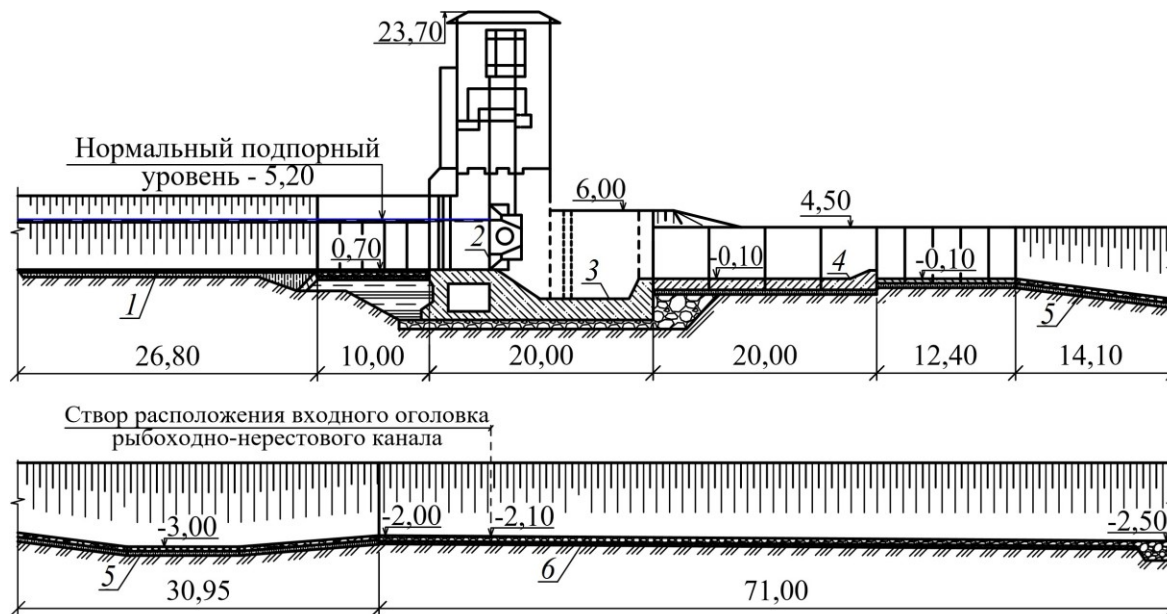


1 – тракт рыбоходно-нерестового канала; 2 – входной оголовок канала;
3 – щитовые затворы дополнительного блока питания; 4 – водоводы блока питания;
5 – понурное крепление водосброса-регулятора; 6 – пролеты водосброса-регулятора;
7 – водобой; 8 – рисберма; 9 – ковш рисбермы; 10 – каменное крепление русла

1 – fish passage and spawning channel tract; 2 – channel input head;
3 – sluice gates of the additional power supply unit; 4 – power supply conduits;
5 – approach floor fastening of the spillway-regulator; 6 – spillway-regulator spans;
7 – floor; 8 – apron; 9 – apron bucket; 10 – channel rock apron

**Рисунок 5 – Плановое расположение входного оголовка
Кочетовского рыбоходно-нерестового канала**

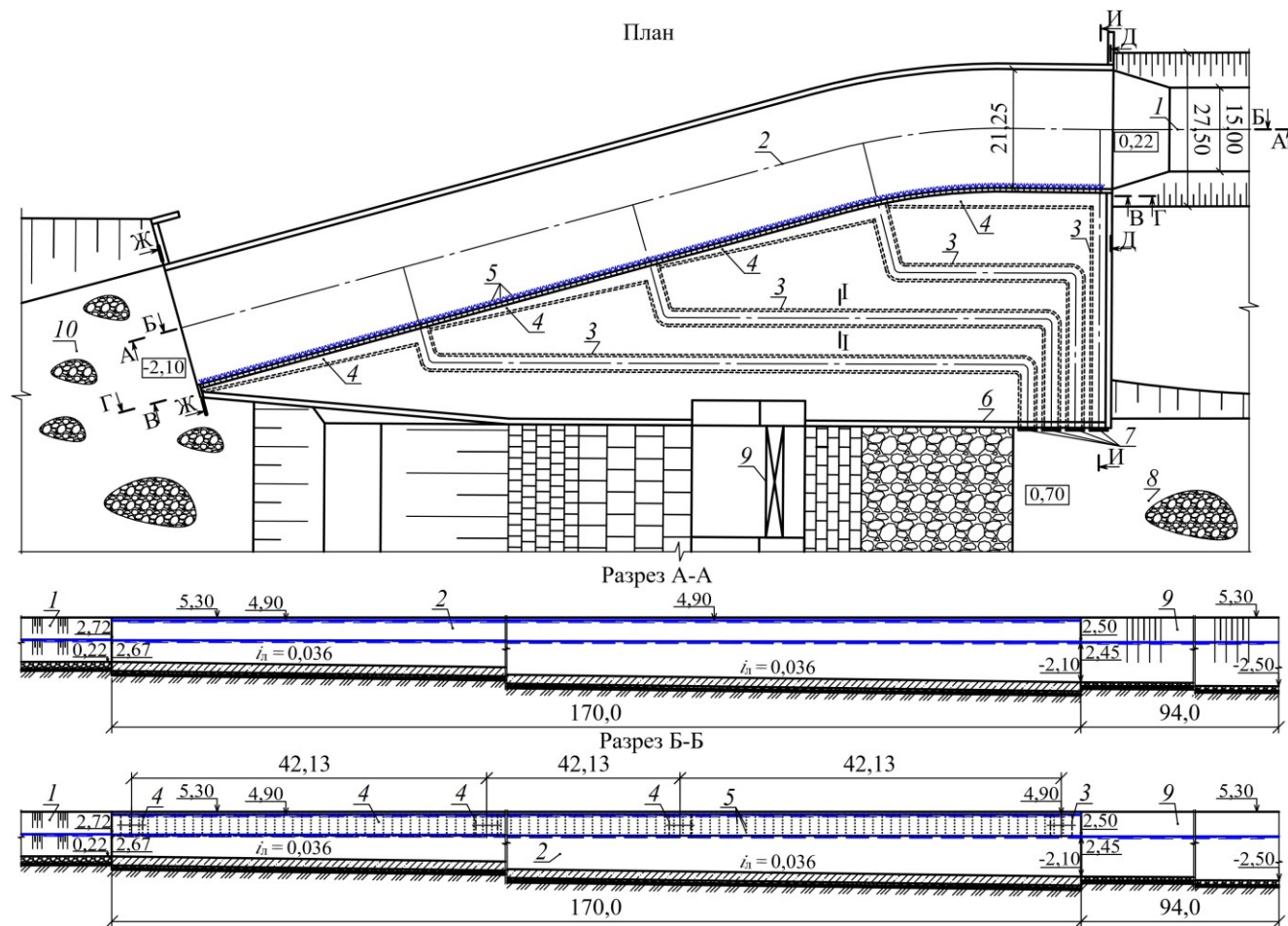
**Figure 5 – Planned location of the input head
of the Kochetovsky fish passing and spawning channel**



1 – понур; 2 – затвор; 3 – водобой; 4 – рисберма; 5 – ковш рисбермы;
6 – каменное крепление русла реки

1 – approach floor; 2 – gate; 3 – floor; 4 – apron; 5 – apron bucket;
6 – rock apron of the riverbed

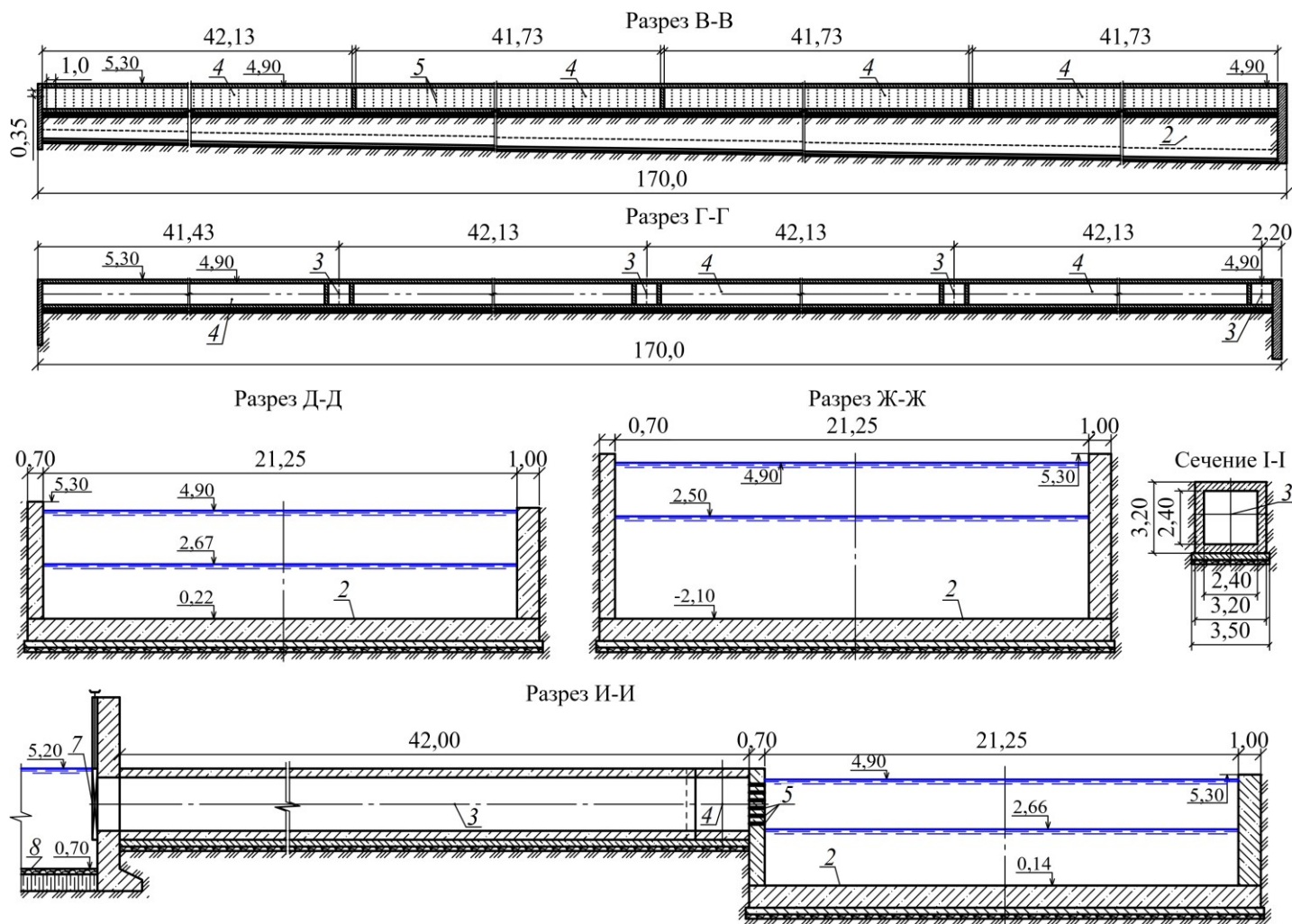
**Рисунок 6 – Продольный разрез по пролету водосброса-регулятора
Figure 6 – Longitudinal section along the spillway-regulator span**



- 1 – тракт канала; 2 – сопрягающий лоток; 3 – водоводы; 4 – галереи; 5 – водовпускные отверстия; 6 – подпорная стенка;
7 – щитовые затворы; 8, 10 – каменное крепление р. Дон; 9 – пролет водосброса-регулятора
1 – channel tract; 2 – mating flume; 3 – conduits; 4 – galleries; 5 – water inlets; 6 – bulkhead; 7 – sluice gates;
8, 10 – rock apron of the river Don; 9 – spillway-regulator span

Рисунок 7 – Конструкция сопрягающего лотка входного оголовка, лист 1

Figure 7 – Design of the mating flume of the input head, sheet 1



2 – сопрягающий лоток; 3 – водоводы; 4 – галереи; 5 – водовпускные отверстия; 7 – щитовые затворы; 8 – каменное крепление р. Дон
2 – mating flume; 3 – conduits; 4 – galleries; 5 – water inlets; 7 – sluice gates; 8 – rock apron of the river Don

Рисунок 7 – Конструктивное решение сопрягающего лотка входного оголовка, лист 2

Figure 7 – Structural solution of the mating flume of the input head, sheet 2

Тракт канала предлагается выполнить криволинейным в плане с системой излучин, что позволяет формировать разноскоростные по глубине и в плане зоны течений, отличающиеся от средних значений (на 10–15 %) как в большую, так и в меньшую сторону. Данное решение позволяет рыбам, обладающим разной плавательной способностью, выбирать наиболее приемлемые для них трассы перемещения. В тракте канала в соответствии с рекомендациями, представленными в нашей более ранней работе [18], предусмотрено устройство четырех зон отдыха для рыб.

Выходной участок (выходной для рыб оголовков) включает трехпролетный головной регулятор, выполняющий функцию основного блока питания, и выходной (для рыб) участок канала, обеспечивающий подвод воды к регулируемому сооружению и условия для входа рыб в русловое водохранилище, при конструировании использовались рекомендации, приведенные в работе А. А. Чистякова и в нашем предыдущем исследовании [19, 20].

Вывод. Разработано компоновочно-конструктивное решение рыбоходно-нерестового канала, устраиваемого в обход русловых сооружений действующего Кочетовского гидроузла (на р. Дон), органично адаптированного к условиям его создания и обеспечивающего условия для прохода и нереста анадромно-мигрирующих рыб.

Список источников

1. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс]: Указ Президента РФ от 21 янв. 2020 г. № 20. Доступ из справ. правовой системы «Консультант Плюс».
2. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 26 нояб. 2019 г. № 2798-р. Доступ из информ. правового портала НПП «Гарант-Сервис».
3. О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов [Электронный ресурс]: Федер. закон от 20 дек. 2004 г. № 166-ФЗ (послед. ред.). Доступ из справ. правовой системы «Консультант Плюс».
4. Дубинина В. Г. Требования рыбного хозяйства при управлении режимами водохранилищ // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3, № 1. С. 67–97. DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027.
5. 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 Между-

нар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Аз. науч.-исслед. ин-та рыб. хоз-ва. 2018. С. 102–105.

6. Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса реки Дон [Электронный ресурс]: Распоряжение Правительства РФ от 21 июля 2021 г. № 2012-р. Доступ из справ. правовой системы «Консультант Плюс».

7. Шкура В. Н., Уманец И. К., Родионов Г. Н. О работе рыбопропускного шлюза Кочетовского гидроузла на р. Дон // Рыбное хозяйство. 1977. № 7. С. 40–42.

8. Шкура В. Н. Рыбопропускные сооружения. В 2 ч. Ч. 1. М.: Рома, 1999. 380 с.

9. Малеванчик Б. С., Никоноров И. В. Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. М.: Лег. и пищевая пром-сть, 1984. 256 с.

10. Анохин А. М., Копадзе И. З., Донцов А. А. Обеспечение безопасности прохода рыб на нерест на примере Кочетовского гидроузла на реке Дон // Безопасность техногенных и природных систем. 2018. № 3–4. С. 79–86. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2018-3-4-79-86>.

11. Шкура Вл. Н., Дроботов А. Н. Рыбоходные и рыбоходно-нерестовые каналы / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск: НГМА, 2012. 203 с.

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

13. Шкура В. Н., Шевченко А. В. Рыбоходно-нерестовые каналы, как средство улучшения условий воспроизводства рыб на Нижнем Дону // Рыбное хозяйство. 2022. № 5. С. 82–87.

14. 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).

15. 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>.

16. Research on dams and fishes: Determinants, directions, and gaps in the world scientific production / H. R. Pereira, L. F. Gomes, H. 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>.

17. Baki A. B. M., Azimi A. H. Hydraulics and design of fishways II: vertical-slot and rock-weir fishways // Journal of Ecohydraulics. 2021, Sept. <https://doi.org/10.1080/24705357.2021.1981780>.

18. Шкура В. Н., Шевченко А. В. Конструирование и расчет трактов пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 3. С. 244–263. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1304> (дата обращения: 01.10.2022). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-244-263>.

19. Чистяков А. А. Конструкции рыбоходов / Новочеркас. гос. мелиоратив. акад. Новочеркасск: Темп, 2006. 532 с.

20. Шкура В. Н., Шевченко А. В. Регулирующие сооружения пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. 2022. Т. 4, № 2. С. 70–87. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=141> (дата обращения: 01.10.2022). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-2-70-87>.

References

1. *Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii* [On approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation]. Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020, no. 20. (In Russian).
2. *Strategiya razvitiya rybokhozyaystvennogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda* [Strategy for the Development of the Fishery Complex of the Russian Federation for the Period up to 2030]. Order of the Government of the Russian Federation of November 26, 2019, no. 2798-r. (In Russian).
3. *O rybolovstve i sokhranении vodnykh biologicheskikh resursov* [On fisheries and conservation of aquatic biological resources]. Federal Law of December 20, 2004, no. 166-FZ. (In Russian).
4. Dubinina V.G., 2019. *Trebovaniya rybnogo khozyaystva pri upravlenii rezhimami vodokhranilishch* [Requirements for fishery under water reservoir management]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika* [Ecosystems: Ecology and Dynamics], vol. 3, no. 1, pp. 67-97, DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027. (In Russian).
5. Anokhin A.M., Shchepkina V.A., 2018. *Programma vozrozhdeniya rybnykh zapasov yuga Rossii "Serebryanyy potok Dona"* [Program of revival of fish stocks of south of Russia "The Silver Stream of the Don"]. *Aktual'nye voprosy rybolovstva, rybovodstva (akvakul'tury) i ekologicheskogo monitoringa vodnykh ekosistem: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 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 the International Scientific-Practical Conference, Dedicated to the 90th Anniversary of Azov Sea Research Fishery Institute], pp. 102-105. (In Russian).
6. *Ob utverzhdenii plana meropriyatiy ("dorozhnoy karty") po ozdorovleniyu i razvitiyu vodokhozyaystvennogo kompleksa reki Don* [On the approval of the action plan ("road map") on improvement and development of the water management complex of the river Don]. Decree of the Government of the Russian Federation of July 21, 2021, no. 2012-r. (In Russian).
7. Shkura V.N., Umanets I.K., Rodionov G.N., 1977. *O rabote rybopropuskного shlyuza Kochetovskogo gidrouzla na reke Don* [On the operation of the fish-passing sluice of the Kochetovsky waterworks on the river Don]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries], no. 7, pp. 40-42. (In Russian).
8. Shkura V.N., 1999. *Rybopropusknye sooruzheniya* [Fish Passage Structures]. In 2 parts, pt. 1, Moscow, Roma Publ., 380 p. (In Russian).
9. Malevanchik B.S., Nikonorov I.V., 1984. *Rybopropusknye i rybozashchitnye sooruzheniya* [Fish Passage and Fish Protection Facilities]. Moscow, Light and Food Industry Publ., 256 p. (In Russian).
10. Anokhin A.M., Kopadze I.Z., Dontsov A.A., 2018. *Obespechenie bezopasnosti prokhoda ryb na nerest na primere Kochetovskogo gidrouzla na reke Don* [Providing safety of fish passing to spawning ground on the example of the Kochetovsky waterworks on the Don River]. *Bezopasnost' tekhnogennykh i prirodnnykh sistem* [Safety of Technogenic and Natural Systems], no. 3-4, pp. 79-86, <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2018-3-4-79-86>. (In Russian).
11. Shkura V.I., Drobotov A.N., 2012. *Rybokhodnye i rybokhodno-nerestovye kanaly* [Fish Passage and Fish Passage Spawning Canals]. Novochoerkassk State Land Reclamation Academy, Novochoerkassk, 203 p. (In Russian).
12. 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).

13. Shkura V.N., Shevchenko A.V., 2022. *Rybokhodno-nerestovyye kanaly, kak sredstvo uluchsheniya usloviy vosproizvodstva ryb na Nizhnem Donu* [Fish passage and spawning channels as a means of improving fish reproduction conditions on the Lower Don]. *Rybnoe khozyaystvo* [Fisheries], no. 5, pp. 82-87. (In Russian).

14. 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).

15. 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>.

16. 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>.

17. Baki A.B.M., Azimi A.H., 2021. Hydraulics and design of fishways II: vertical-slot and rock-weir fishways. *Journal of Ecohydraulics*, Sept., <https://doi.org/10.1080/24705357.2021.1981780>.

18. Shkura V.N., Shevchenko A.V., 2022. [Design and calculation of fish passage and spawning channel tracts at waterworks]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 3, pp. 244-263, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1304> [accessed 01.10.2022], <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-3-244-263>. (In Russian).

19. Chistyakov A.A., 2006. *Konstruktsii rybokhodov* [Design of Fish Passages]. Novocherkassk State Land Reclamation Academy, Novocherkassk, Temp Publ., 532 p. (In Russian).

20. Shkura V.N., Shevchenko A.V., 2022. [Regulatory structures of fish passage and spawning channels near waterworks]. *Ekologiya i vodnoe khozyaystvo*, vol. 4, no. 2, pp. 70-87, available: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=141> [accessed 01.10.2022], <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-2-70-87>. (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 11.11.2022; одобрена после рецензирования 05.12.2022; принята к публикации 20.12.2022.

The article was submitted 11.11.2022; approved after reviewing 05.12.2022; accepted for publication 20.12.2022.