

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Научная статья

УДК 626.88

doi: 10.31774/2658-7890-2022-4-2-70-87

Регулирующие сооружения пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов

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 рекомендаций по проектированию регулирующих сооружений, устраиваемых в составе рыбоходно-нерестовых каналов при речных гидроузлах. **Материалы и методы.** Эмпирической основой для разработки рекомендаций послужили материалы авторского обследования регулирующих сооружений, устроенных и используемых на рыбоходно-нерестовых каналах низконапорных Николаевского и Константиновского Нижне-Донских гидроузлов, и разработанная конструкция головного регулятора для Багаевского рыбоходно-нерестового канала на р. Дон. **Результаты и обсуждение.** Определена необходимость устройства в трактах пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов регулирующих сооружений («головных регуляторов»), обеспечивающих регулируемую подачу воды в рыбоходное сооружение в период анадромных миграций и нереста рыб, прекращение водоподачи в канал в межнерестовые периоды, при ликвидации чрезвычайных аварийных ситуаций и проведении ремонтных работ. Установлено отсутствие общепринятого и общеиспользуемого методического подхода к конструированию и выбору расположения регулирующих сооружений на трактах пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов, отсутствие необходимых рекомендаций по их компоновочно-конструктивным решениям, и определена необходимость разработки соответствующих рекомендаций по их проектированию. Приведены сведения и результаты анализа конструктивных решений и размеров регуляторов на действующих и запроектированных пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналах, дана оценка их достоинств и недостатков. **Выводы.** Приведена технико-технологическая характеристика применяемых компоновочно-конструктивных решений регулирующих сооружений, устраиваемых в составе пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов. Сформулирован перечень требований к компоновочно-конструктивным решениям головных регуляторов, и рекомендованы варианты их конструктивных улучшений. Предложены рекомендации по проектированию регулирующих сооружений, устраиваемых на пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналах.

Ключевые слова: рыбоходно-нерестовые каналы, регулирующие сооружения, головные регуляторы, скорости течений, миграции рыб, скорости плавания рыб

Для цитирования: Шкура В. Н., Шевченко А. В. Регулирующие сооружения пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов // Экология и водное хозяйство. 2022. Т. 4, № 2. С. 70–87. <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-2-70-87>.

HYDRAULIC ENGINEERING

Original article



Regulatory structures of fish passage and spawning channels near hydroelectric facilities

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 recommendations for the control structure design arranged as part of fish passage and spawning channels at river waterworks. **Materials and methods.** The empirical basis for developing recommendations was the materials of the author's survey of regulatory structures arranged and used on the fish-spawning canals of the low-head Nikolaevsky and Konstantinovsky Lower-Don hydroelectric facilities, and the developed design of the head regulator for the Bagaevsky fish-spawning channel on the river Don. **Results and discussion.** The necessity of installation of fish passage and spawning channels of regulating structures ("main head regulators") in waterworks was determined, which provide regulated water supply to the fish passage during the period of anadromous migrations and fish spawning, stop water supply to the canal during inter-spawning periods, during emergency response and repair work. The absence of a generally accepted and commonly used methodological approach to the design and selection of the location of control structures on the tracts of fish passage and spawning canals at waterworks, the absence of the necessary recommendations on their layout and design solutions, and the need to develop appropriate recommendations for their design were determined. Information and results of the analysis of constructive solutions and sizes of regulators on current and projected fish-passage and spawning canals at waterworks are given, their advantages and disadvantages are assessed. **Conclusions.** The technical and technological characteristics of the current layout and design solutions for control structures, arranged as part of fish passage and spawning channels at waterworks are given. A list of requirements for the layout and design solutions of head regulators is formulated, and options for their design improvements are recommended. Recommendations for the design of control structures, arranged on fish passage and spawning canals at waterworks are proposed.

Keywords: fish passage and spawning channels, control structures, head regulators, current velocities, fish migrations, fish swimming speeds

For citation: Shkura V. N., Shevchenko A. V. Regulatory structures of fish passage and spawning channels near hydroelectric facilities. *Ecology and water management*. 2022;4(2):70–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2658-7890-2022-4-2-70-87>.

Введение. Одним из направлений рыбохозяйственной деятельности по обеспечению условий для естественного воспроизводства анадромно-мигрирующих рыб на рыбохозяйственно-значимых реках с устроенными на них каскадами гидроузлов является создание пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов [1–4]. Такие сооружения построены и эксплуатируются на низконапорных Николаевском и Константиновском гидроузлах на р. Дон [5]. Учитывая приемлемость и установленную рыбоводческую эффек-

тивность указанных объектов, такие сооружения запроектировали на Багаевском и проектируют на Кочетовском гидроузлах. Одним из видов гидротехнических сооружений, обеспечивающих функционирование рыбоходно-нерестовых каналов, являются регулирующие сооружения, устраиваемые на их трактах [6]. Судя по известным публикациям [1–4, 7–14], при проектировании головных регуляторов на рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналах специалисты (в отсутствии научно обоснованных рекомендаций) исходят из собственных соображений по их размещению и конструированию. И только в процессе эксплуатации этих сооружений устанавливаются недостатки их компоновочно-конструктивных решений [5–8], снижающие эффективность работы пригидроузовых рыбоходно-нерестовых каналов [9–11]. Необходимость исключения возможных ошибок при создании современных регуляторов в составе рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов [15–17] предопределяет актуальность разработки рекомендаций по их проектированию, что является целью настоящего исследования.

Регулирующие сооружения, устраиваемые на рыбоходно-нерестовых каналах (в трактах каналов), выполняют функцию впуска водных масс в тракт канала и его предотвращения (т. е. как водоподающие регуляторы они функционируют в технологических режимах «открыто» и «закрыто»). Отметим, что в зарубежной практике значительное количество относительно небольших по размерам низконапорных пригидроузовых рыбоходных и рыбоходно-нерестовых каналов устраивались и функционируют и вовсе без каких-либо регулирующих сооружений [18, 19]. Функционирование таких каналов осуществлялось без регулирования водоподачи, а поступающие в их тракт расходы воды определялись уровнями верхнего бьефа, отметкой порога (дна) канала в истоке и размерами поперечного сечения его тракта на головном (верховом) участке. Устранение возможных аварийных ситуаций на трактах таких каналов (в силу их незначительных габаритов) предполагалось осуществлять при наличии течения водного потока в них.

Более крупные и инженерно-обустроенные каналы на зарубежных и отечественных объектах оборудовались головным регулятором.

В отечественной практике все действующие, строящиеся и проектируемые рыбоходно-нерестовые каналы оборудуются регулируемыми сооружениями (регуляторами водного потока). При работе канала в режиме полного выполнения его функций по обеспечению условий для прохода и нереста рыб затворы регулятора находятся в поднятом над уровнем воды состоянии, чем обеспечивается поступление в тракт канала расчетного расхода воды с выдерживанием в нем расчетных глубин и скоростей течения водного потока и беспрепятственный выход анадромно-мигрирующих рыб из канала в водоем. В определенных гидрологических и (или) рыбоводческих условиях возможно функционирование канала в режиме, исключающем проход рыб, т. е. при обеспечении его функционирования в режиме искусственного (канального) нерестилища для определенных видов рыб. В таких случаях предусматривается регулирование расхода воды при соответствующем частично прикрытом положении затворов регулирующего сооружения. Отметим, что наличие регулирующего сооружения позволяет не только регулировать водоподачу, но и полностью исключить поступление воды в канал, даже при высоких уровнях водной поверхности в верхнем бьефе гидроузла, в периоды отсутствия анадромных миграций рыб, при проведении текущих или восстановительных ремонтных работ на канале, при авариях или чрезвычайных ситуациях на гидроузле.

Материалы и методы. Фактологическую основу настоящей разработки составили данные полевых обследований действующих и анализа компоновочно-конструктивных решений запроектированных регулирующих сооружений, входящих в состав рыбоходно-нерестовых каналов каскада низконапорных гидроузлов, устроенных на Нижнем Дону [1–8, 15–17].

Результаты и обсуждение. На действующих Нижне-Донских Николаевском, Константиновском и строящемся Багаевском пригидроузловых

рыбоходно-нерестовых каналах принято различное (по протяженности их трактов) расположение регулирующих сооружений («головных регуляторов»), что иллюстрируется на приведенных рисунках 1–3.

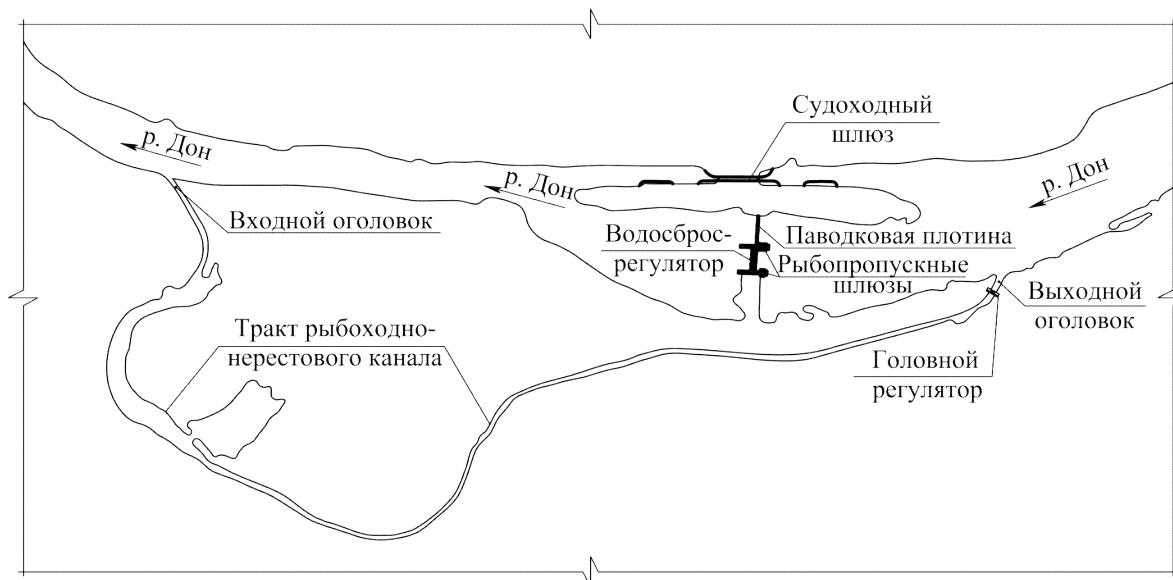


Рисунок 1 – Плановое расположение регулирующего сооружения на Николаевском рыбоходно-нерестовом канале

Figure 1 – Layout of the control structure on the Nikolaevsky fish-passage and spawning channel

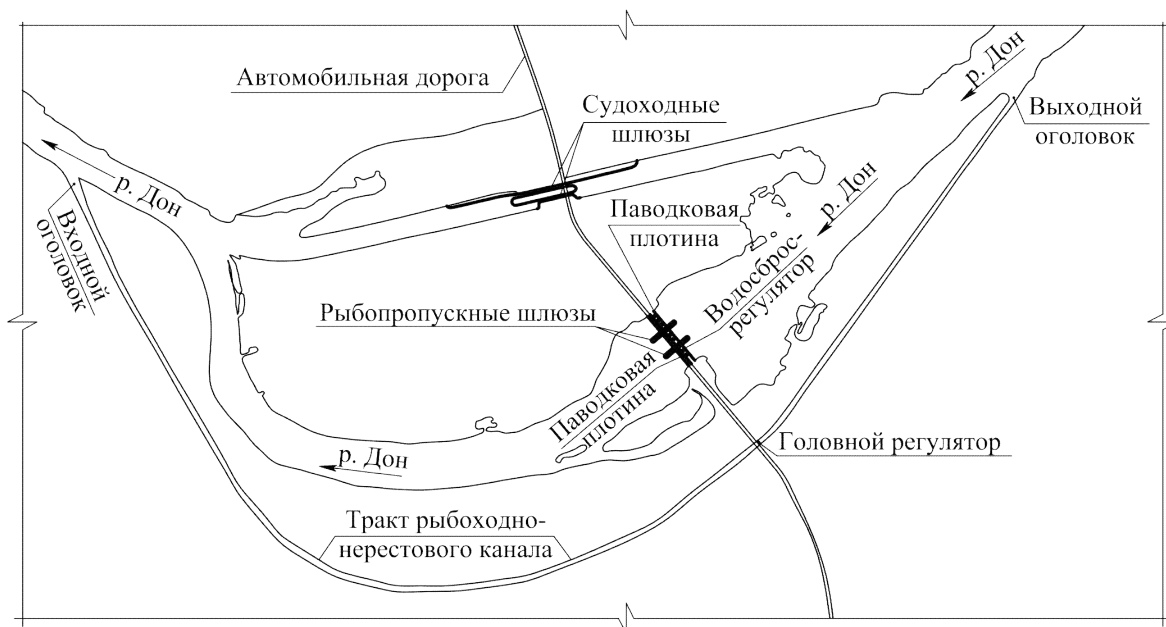


Рисунок 2 – Расположение регулирующего сооружения на тракте Константиновского рыбоходно-нерестового канала

Figure 2 – Location of the control structure on the tract of the Konstantinovskiy fish-passage and spawning channel

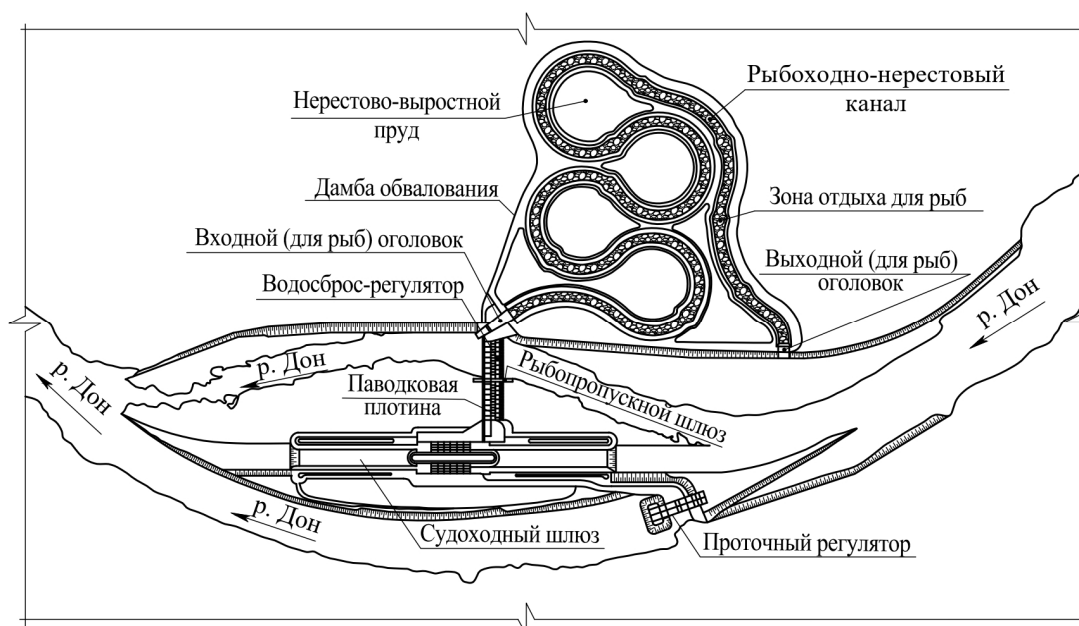


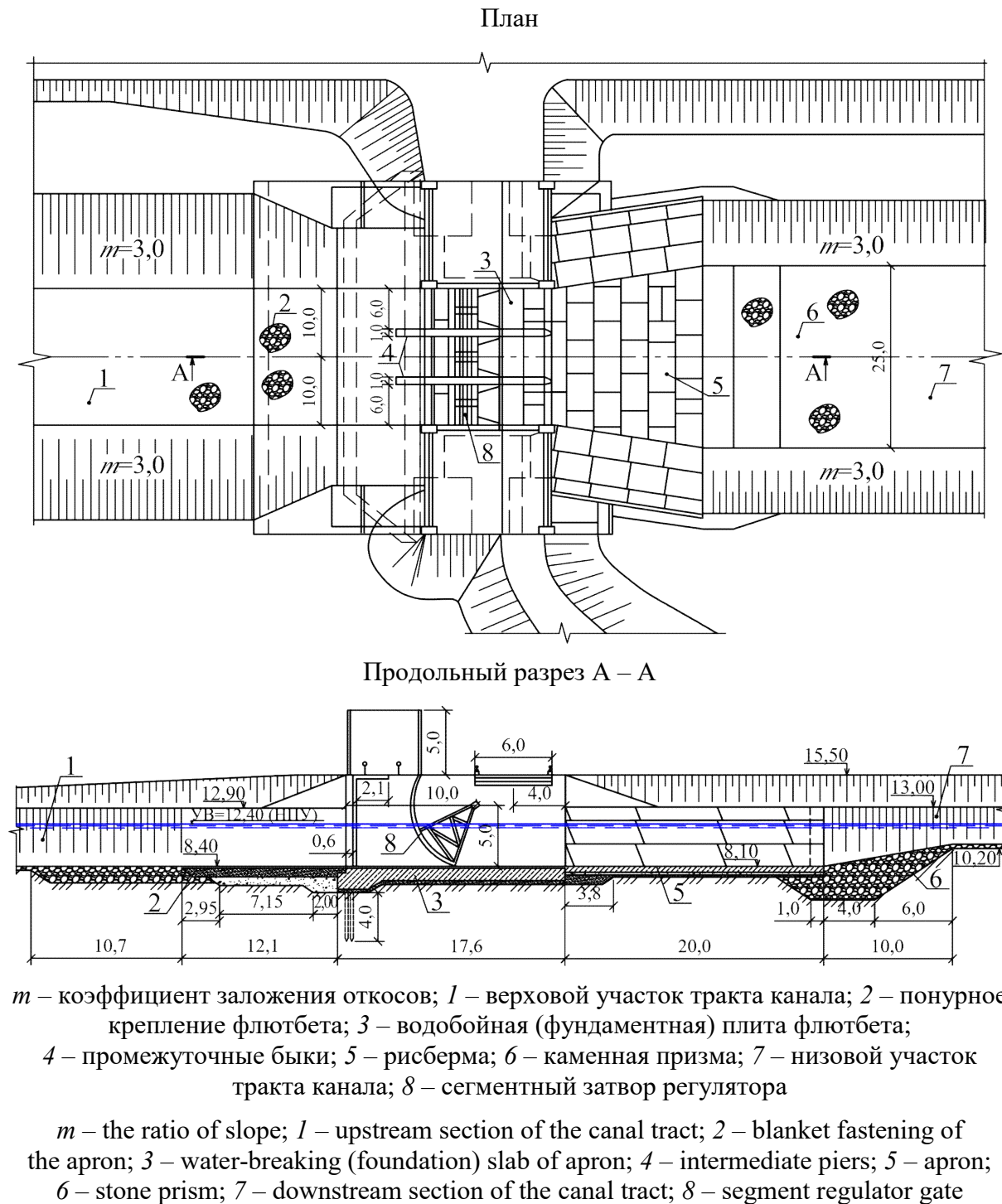
Рисунок 3 – Расположение головного регулятора на рыбоходно-нерестовом канале Багаевского гидроузла на р. Дон

Figure 3 – Location of the head control on fish passage and spawning channel of the Bagaevsky waterworks on the river Don

В соответствии с приведенными на рисунках 1–3 схемами на рассматриваемых каналах принято различное расположение регулирующих сооружений на трактах: на расстоянии 100 м от створа сопряжения тракта канала с береговой зоной на Николаевском канале, на расстоянии 2200 м от створа выхода рыб в водохранилище на Константиновском канале и непосредственно в пределах берега водохранилища на Багаевском гидроузле.

На Константиновском гидроузле расположение регулирующего сооружения совпадает с расположением автомобильной дороги, а его конструкция предусматривает устройство мостового переезда и перехода. На Багаевском гидроузле размещение регулятора принято из соображения максимальной компактности объекта при соблюдении допустимого (по требованиям рыбоводно-биологического обоснования) удаления его выходного створа от створа водосбросной плотины. Отметим, что регулятор является конструктивным элементом выходного (для рыб) или истокового (для тракта) участка канала – выходного оголовка, и его расположение должно быть увязано с расположением этого участка рыбоходного канала.

Конструктивное решение регулирующего сооружения, устроенного и эксплуатируемого на действующем пригидроузловом Николаевском рыбоходно-нерестовом канале, проиллюстрировано ниже на рисунке 4.



**Рисунок 4 – План и продольный разрез головного регулятора
Николаевского рыбоходно-нерестового канала**

**Figure 4 – Plan and longitudinal section of the head regulator of the
Nikolaevsky fish passage and spawning channel**

Конструктивное решение регулирующего сооружения Николаевского рыбоходно-нерестового канала характеризуется нижеследующими расходно-скоростными параметрами и конструкционными особенностями.

1 Головой регулятор Николаевского рыбоходно-нерестового канала рассчитан на пропуск расхода $Q_{\text{нпу}} = 70 \text{ м}^3/\text{с}$ при нормальном подпорном уровне и $Q_{\text{фпу}} = 80 \text{ м}^3/\text{с}$ при форсировке уровней воды в верхнем бьефе гидроузла. Расчетный перепад уровней воды на регуляторе составляет $\Delta Z = 2,45 \text{ м}$, а средние скорости течения водного потока в его пролетах составляют $\bar{v}_{\text{пр}} = (1,26 \pm 0,06) \text{ м/с}$.

2 Регулятор выполнен трехпролетным с водовыпускными отверстиями размером $6,0 \times 4,0 \text{ м}$, перекрываемыми сегментными затворами.

3 Водонапорный фронт регулятора (общей шириной, равной $20,0 \text{ м}$) разделен двумя промежуточными быками толщиной $1,0 \text{ м}$. Флютбет регулятора включает понур, фундаментную плиту (водобой) и горизонтальную рисберму. Высота устоев доковой конструкции регулятора составляет $7,1 \text{ м}$. В пределах концевой участка рисбермы и за его пределами устроен ковш, засыпанный (закрепленный) каменной наброской. Поверхность каменного крепления (каменной призмы) выполнена с повышением ее отметок в направлении течения воды на $2,1 \text{ м}$ относительно отметки поверхности рисбермы, что обеспечивает топографическое (высотное) сопряжение днища (флютбета) регулятора с дном тракта канала. Отрезок бетонно-закрепленной части рисбермы и весь участок каменного крепления выполнены расширяющимися в плановом очертании с шириной от $(b_p)_1 = 20,0 \text{ м}$ до $(b_p)_2 = b_k = 25,0 \text{ м}$ (где b_k – ширина тракта рыбоходного канала по дну).

Принятое конструктивное решение регулятора с заглубленной посадкой его порога в целом обеспечивает подачу в канал расчетного расхода

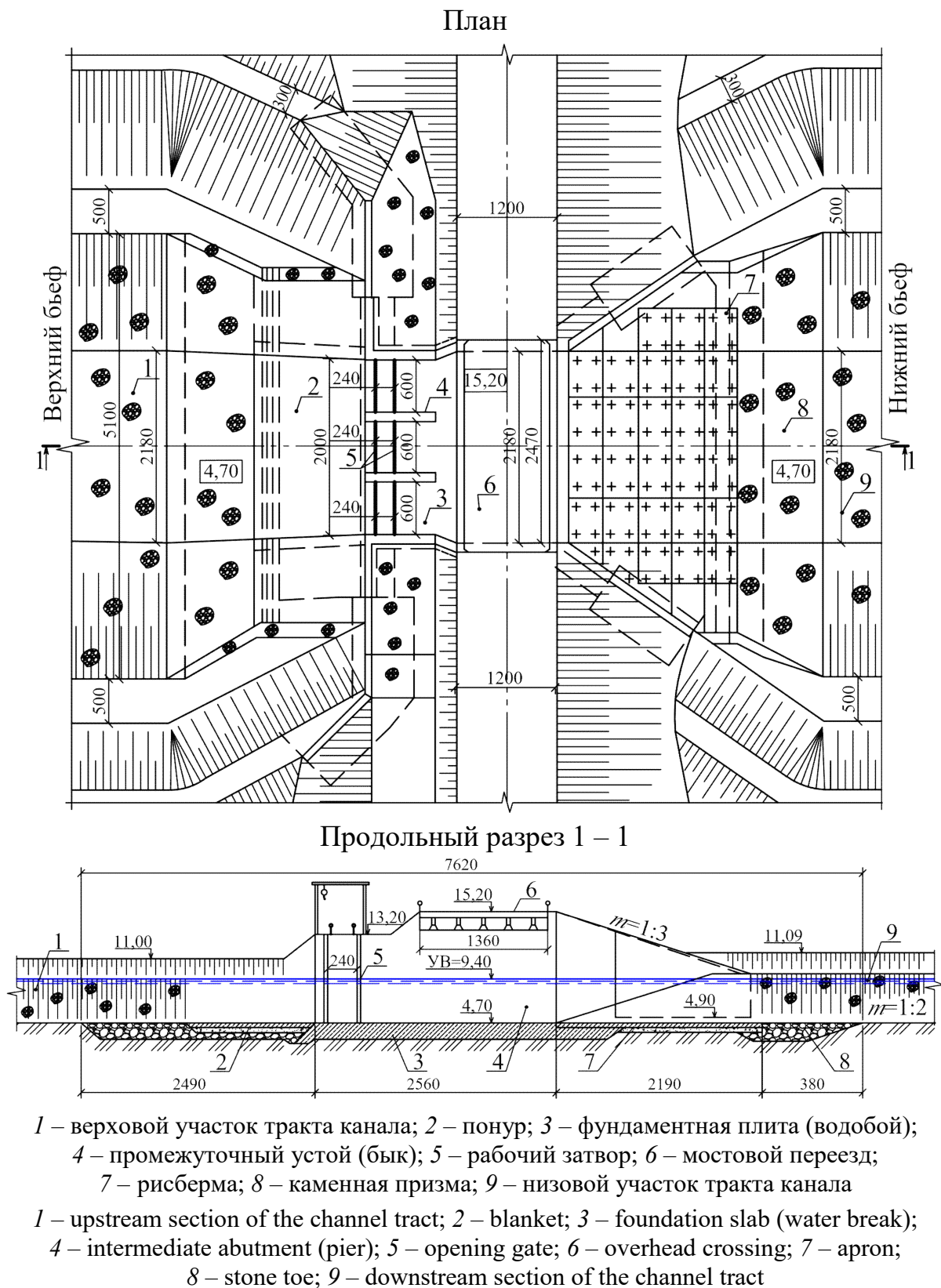
воды и выполнение его функционально-гидротехнического предназначения по впуску воды в тракт канала и его прекращению. Определенные проблемы рыбоводческого характера представляют достаточно высокие (для большинства анадромно-мигрирующих рыб) скорости протекания водного потока в водопропускных отверстиях и относительно резкое увеличение глубины водного потока на фундаментной плите регулятора по сравнению с его глубинами в акваториальном пространстве тракта канала.

Конструктивное решение регулирующего сооружения Константиновского рыбоходно-нерестового канала проиллюстрировано рисунком 5.

Конструктивные особенности, расходно-скоростные и геометрические параметры регулирующего сооружения Константиновского рыбоходно-нерестового канала характеризуются нижеследующими показателями.

1 Регулятор рассчитан на подачу в канал расхода воды $Q_{\text{нпу}} = 80 \text{ м}^3/\text{с}$ при расчетной глубине водного потока на его пороге $h_{\text{пор}} = 2,4 \text{ м}$ и средней скорости течения в водопропускных пролетах $\bar{v}_{\text{пр}} = (1,2 \pm 0,5) \text{ м/с}$.

2 Регулятор открытого типа выполнен в виде неразрезной доковой конструкции. Водопропускной фронт регулятора образован тремя пролетами (водопропускными отверстиями) шириной в свету по 6,0 м каждый, перекрываемыми тремя рядами шандорных затворов размером $1,63 \times 6,36 \times 0,8 \text{ м}$. Водопропускные пролеты регулятора формируются двумя разделительными быками толщиной 1,0 м каждый. Флютбет регулятора включает понур, водобойную плиту и рисберму, выполненные на одной отметке по высоте. В конце рисбермы, устроенной из железобетонных плит, предусмотрено устройство каменной призмы. Рисберма выполнена расширяющейся в плане, чем обеспечивается сопряжение прямоугольного сечения водобоя с трапецеидальной формой верховой части тракта канала.

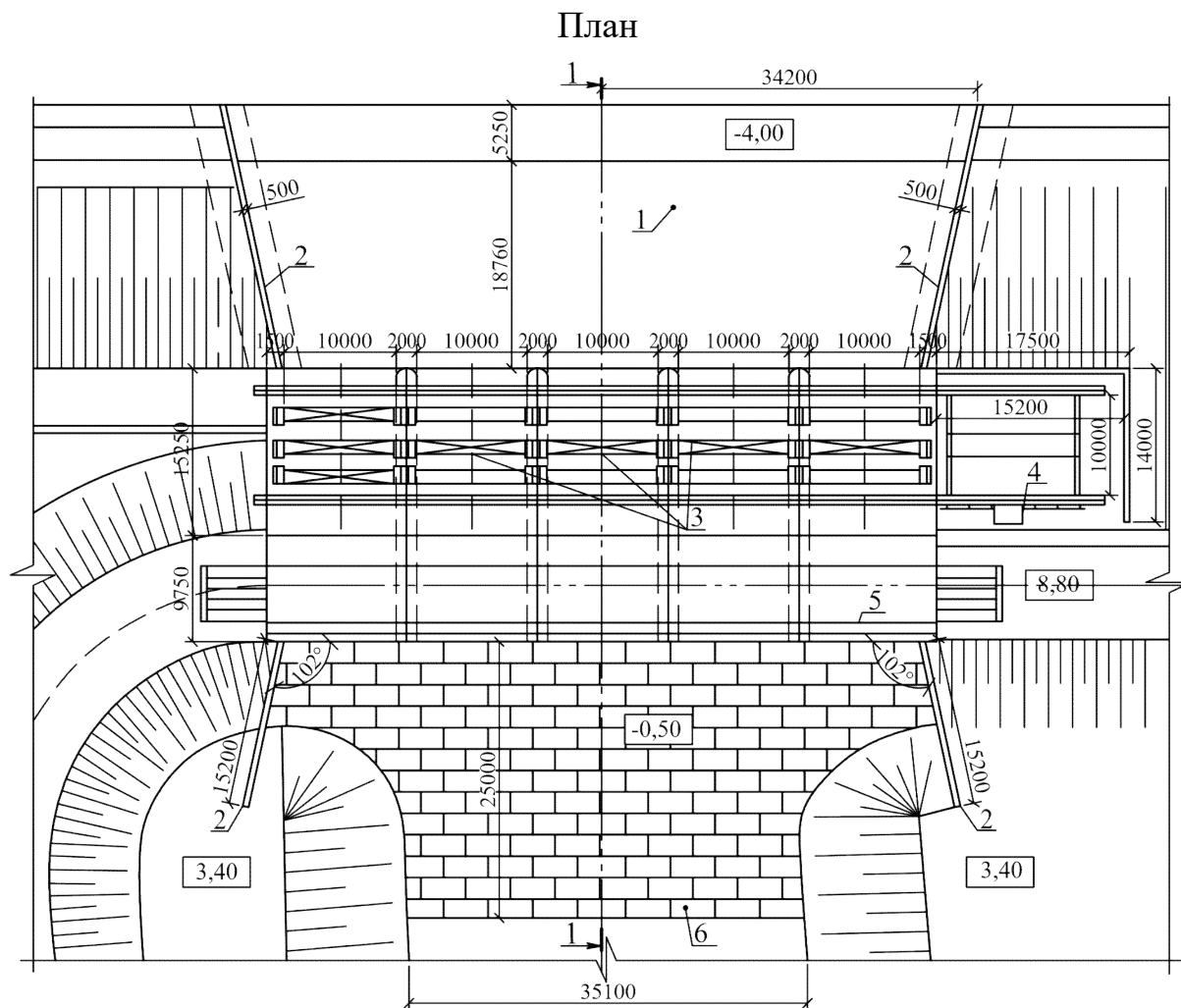


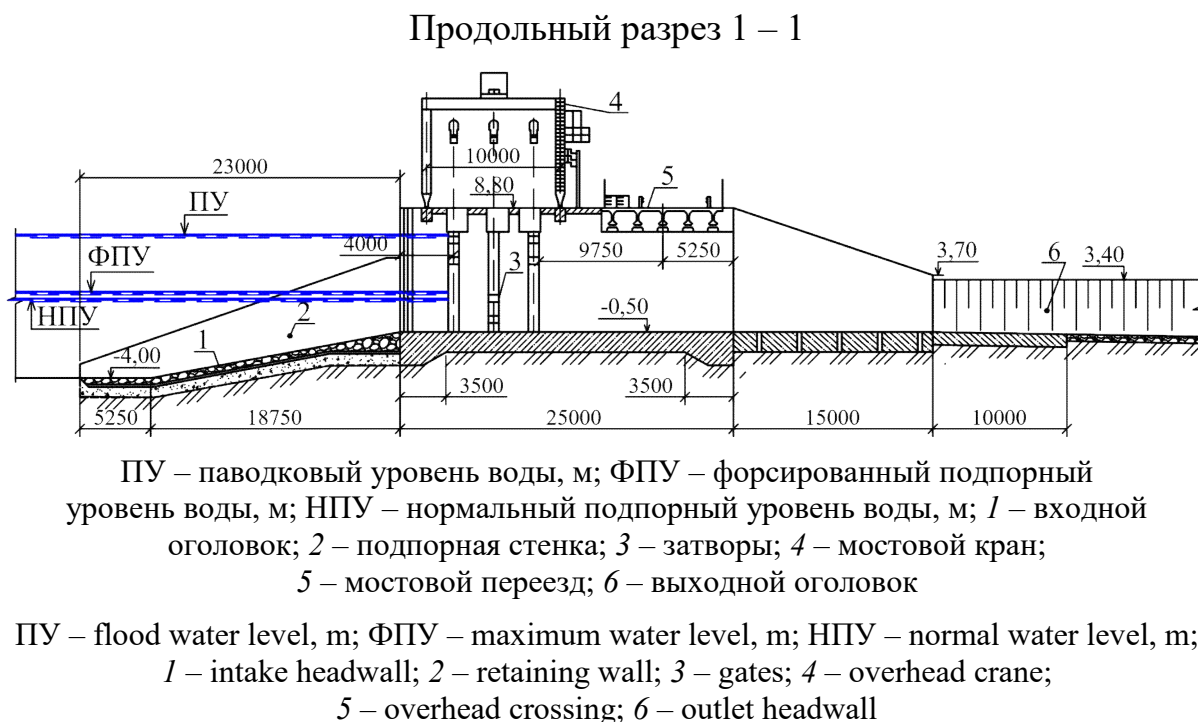
**Рисунок 5 – План и продольный разрез головного регулятора
Константиновского рыбоходно-нерестового канала**

**Figure 5 – Plan and longitudinal section of the head regulator
Konstantinovskiy fish-passage and spawning channel**

В целом регулирующее сооружение (регулятор) соответствует своему функциональному предназначению как гидротехническое сооружение, обеспечивающее впуск воды в тракт рыбоходно-нерестового канала и предотвращение подачи воды. Недостатки конструктивного решения регулятора заключаются в нерациональном его расположении (на значительном удалении от створа выхода рыб в водохранилище) и устройстве на нем дорожного полотна, наличии сжатого сечения водного потока в водопропускных отверстиях и связанном с этим увеличении скорости течения в пролетных сечениях; определенную проблему представляет применение шандорных регулирующих устройств вместо плоского затвора.

Конструктивное решение регулирующего сооружения Багаевского рыбоходно-нерестового канала проиллюстрировано рисунком 6.





**Рисунок 6 – Конструктивное решение головного регулятора
Багаевского рыбоходно-нерестового канала**

**Figure 6 – Design solution of the main head regulator Bagaevsky
fish passage and spawning channel**

Регулятор запроектирован на пропуск расхода при нормальном подпорном уровне $Q_{\text{нпу}} = 100 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_{\text{фпу}} = 110 \text{ м}^3/\text{с}$ при форсировке уровня воды в верхнем бьефе Багаевского гидроузла. Расчетная глубина водного потока в пролетах регулятора $h_{\text{рег}} = 2,5 \text{ м}$, а средняя скорость течения составляет $\bar{v}_{\text{рег}} = 0,900 \text{ м/с}$. Регулирующее сооружение выполнено пятипролетным со средней шириной пролета, равной $b_{\text{пр}} = 12,4 \text{ м}$. Водопропускные отверстия перекрываются плоскими затворами. Флютбет регулятора включает понур, водобой и рисберму. В конструкции регулятора предусмотрено планово-высотное (топографическое) сопряжение его с руслом реки (на входе водного потока и с трактом канала на выходе потока из регулятора). Параметры регулятора приняты с учетом незатопления тракта канала при пропуске через гидроузел катастрофического паводка.

Конструкция регулятора обеспечивает выполнение его функциональ-

ного предназначения в качестве регулирующего гидротехнического сооружения по подаче воды в канал и предотвращению водоподачи. При этом обеспечиваются предусмотренные рыбоводно-биологическим обоснованием условия для захода в его акваториальное пространство перемещающихся по каналу рыб и для выхода их в акваторию водохранилища.

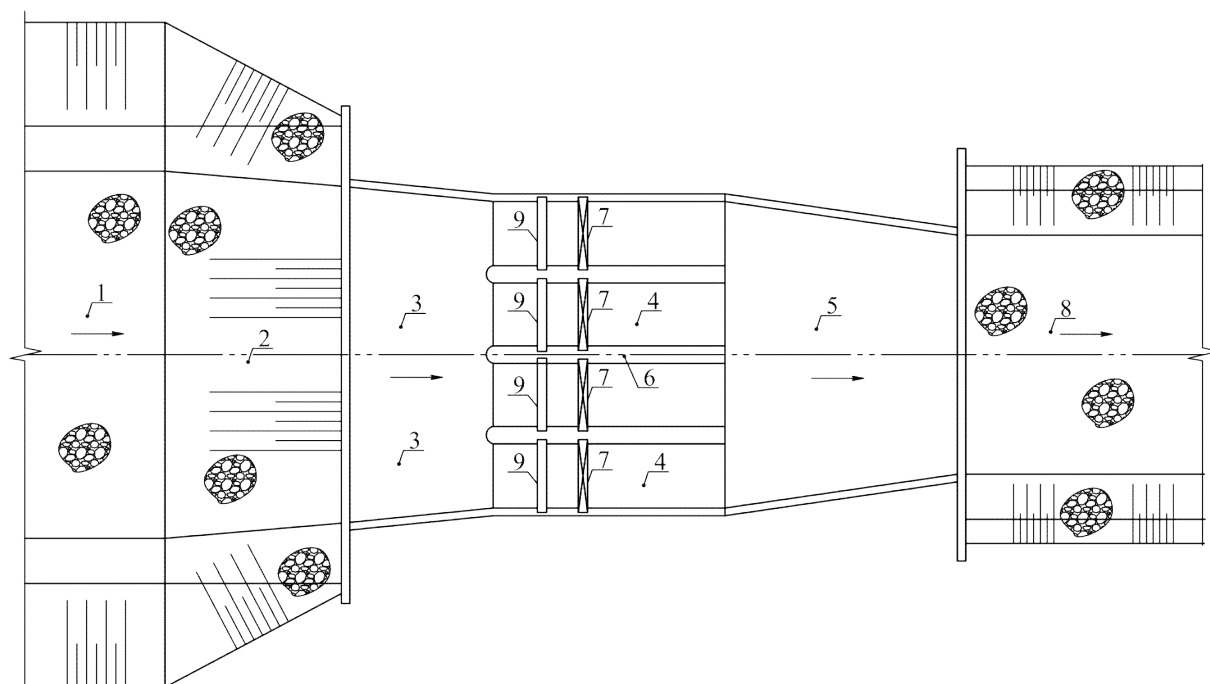
Обобщение приведенного выше информационного материала позволяет сформулировать приведенные ниже рекомендации по проектированию регулирующих сооружений для рыбоходно-нерестовых каналов.

1 Регулирующее сооружение рекомендуется располагать на удалении 100–150 м от берега водохранилища (линии уреза воды в нем). При таком расположении регулятора основная (большая) часть тракта канала может использоваться рыбами как искусственное нерестилище. На выходном участке выходного оголовка указанной протяженности возможно также конструктивное исполнение тракта канала, которое позволит сформировать благоприятные для рыб условия их выхода из канала в пригидроузловую зону водохранилища. Последнее предусматривает обеспечение благоприятного для рыб топографического сопряжения тракта канала с ложем (дном и берегами) водохранилища и плавно-системного снижения скорости течения воды в пролетах регулятора от верхнего предела значений крейсерских скоростей до скоростей течения в водохранилище (как правило, соответствующих нижнему уровню крейсерских значений).

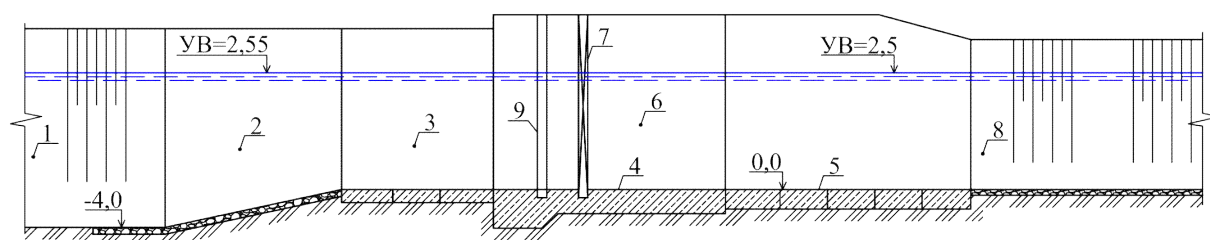
2 Рекомендуемое конструктивное решение регулирующего сооружения (головного регулятора) проиллюстрировано на рисунке 7.

Приведенное на рисунке 7 конструктивное решение обеспечивает соответствующие потребностям рыб условия для входа в акваториальное пространство регулятора, свободного прохода ими пролетных строений и последующего перемещения по тракту канала и выхода в водохранилище.

План



Продольный разрез



1 – водохранилище; 2 – верховой (сопрягающий) участок тракта канала; 3 – понур;
4 – фундаментная плита (водобой); 5 – рисберма; 6 – промежуточный устой (бык);
7 – рабочий затвор; 8 – тракт канала; 9 – ремонтный затвор

1 – reservoir; 2 – upper (adjusting) section of the canal; 3 – blanket; 4 – foundation slab
(apron); 5 – downstream spillway apron; 6 – intermediate abutment (pier);
7 – opening gate; 8 – channel path; 9 – bulkhead gate

Рисунок 7 – Компановочно-конструктивное решение головного регулятора в составе рыбоходно-нерестового канала

Figure 7 – Layout and design solution of the head regulator as part of the fish passage and spawning channel

3 В соответствии с предназначением рыбоходно-нерестовых каналов по созданию условий для прохода по их трактам анадромно-мигрирующих рыб скорости течения в их водопропускных (пролетных) отверстиях не должны превышать крейсерских значений (средних скоростей по живому сечению водного потока в тракте канала). Водопропускная способность ре-

гулятора должна соответствовать расчетному расходу канала, а глубина водного потока на пороге должна соответствовать расчетной глубине потока в тракте канала. Конструкция и размеры пролетных строений регулятора должны обеспечивать беспрыжковое сопряжение уровней воды его верхнего ($Z_{в/б}$) и нижнего ($Z_{н/б}$) бьефов при их перепаде, не превышающем $\Delta Z = Z_{в/б} - Z_{н/б} \leq 0,05$ м, где ΔZ – перепад уровней воды в верхнем и нижнем бьефе рыбоходно-нерестового канала – на участке до и после регулятора.

4 В конструкции регулятора исключается устройство элементов, травмирующих рыб, и в частности зубьев, шашек и пирсов на водобое.

5 Отметка порога регулирующего сооружения принимается на уровне отметки дна рыбоходно-нерестового канала в створе его расположения.

Выводы

1 Приведена характеристика применяемых компоновочно-конструктивных решений регулирующих сооружений (регуляторов), устраиваемых в составе пригидроузловых рыбоходно-нерестовых каналов.

2 Сформулированы требования к компоновочно-конструктивным решениям головных регуляторов, и рекомендованы возможные варианты их конструктивного и компоновочного совершенствования.

3 Разработаны рекомендации по созданию и проектированию регулирующих сооружений, устраиваемых на рыбоходно-нерестовых каналах, входящих в состав низконапорных речных гидроузлов.

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. Кортюнова. 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. Гидротехнические сооружения на рыбоходно-нерестовых каналах // Гидротехническое строительство: регион. науч.-техн. конф. «Гидротехника, гидравлика и экология», 25 дек. 2002 г. 2003. С. 8–10.

8. Боровской В. П. Рациональное расположение входных оголовков рыбоходно-нерестовых каналов // Сооружения рыбопропускных и рыбозащитных комплексов: сб. ст. / НИМИ. Новочеркасск, 1987. С. 42–51.

9. 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.

10. 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).

11. 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.

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

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

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

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

16. 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.

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

18. 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>.

19. 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>.

References

1. Shkura V. I., 2015. *Rybovodnye melioratsii mal'kikh i srednikh stepnykh rek (obosnovanie putey i sredstv ikh realizatsii): monografiya* [Fish-Growing Land Reclamation of Minor and Medium-sized 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 Structures]. In 2 parts, pt. 1, Moscow, Roma Publ., 729 p. (In Russian).
3. Shkura V. N., 2012. *Rybokhodnye i rybokhodno-nerestovye kanaly: monografiya* [Fish Passage and Fish Passage and Spawning Channels: monograph]. Novocherkassk Reclamation Engineering Institute DGAU, Novocherkassk, Lik Publ., 204 p. (In Russian).
4. Chistyakov A. A., 2004. *Konstruksii rybokhodnykh i rybokhodno-nerestovykh kanalov: ucheb. posobie* [Designs of Fish Passage 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 passage channels at low-pressure hydroelectric facilities on the Lower Don]. *Gidrotekhnicheskie rybokhozyaystvennye sooruzheniya i uslovaya gidrotekhnika* [Hydrotechnical Fishery Facilities and Channel Hydraulic Engineering]. State Agroindustrial Committee of the 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 Passage and Fish Protection Facilities]. Moscow, Light and Food Industry, 256 p. (In Russian).
7. Anokhin A. M., 2003. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya na rybokhodno-nerestovykh kanalakh* [Hydrotechnical structures on fish passage and spawning canals]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo: regionalnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Gidrotekhnika, gidravlika i ekologiya"* [Hydrotechnical Construction: Regional Scientific-Technical Conference "Hydrotechnics, Hydraulics and Ecology"], pp. 8-10. (In Russian).
8. Borovskoy V. P., 1987. *Ratsional'noe raspolozhenie vkhodnykh ogolovkov rybokhodno-nerestovykh kanalov* [Rational location of the entrance heads of fish passage and spawning canals]. *Sooruzheniya rybopropusknykh i rybozashchitnykh kompleksov: sb. st.* [Structures of Fish Passage and Fish Protection Complexes: coll. art.]. NIMI, Novocherkassk, pp. 42-51. (In Russian).
9. Anokhin A. M., Shchepkina V. A., 2018. *Programma vozrozhdeniya rybnykh zapasov yuga Rossii "Serebryanyy potok Dona"* [The program of revival of fish stocks of the south of Russia "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* [Actual Issues of Fisheries, Fish Farming (Aquaculture) and Environmental Monitoring of Aquatic Ecosystems: Proc. of the International Scientific-Practical Conference, dedicated to the 90th anniversary of Azov Sea Fisheries Research Institute], pp. 102-105. (In Russian).
10. 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).
11. 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 Fish-breeding Complexes on the Basis of Irrigation Canals]. Novocherkassk, RosNIIPM, 43 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. Golovanov V. K., Poddubny A. G., 1976. *Povedenie osetrovyykh v nizhnem b'efe Kochetovskogo gidrouzla* [Behavior of sturgeons in the downstream Kochetovsky hydroelectric complex]. *Biologiya vnutrennikh vod: inform. byul.* [Biology of Internal Waters: Inform. Bull.]. Leningrad, no. 29, pp. 54-56. (In Russian).
 14. 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).
 15. Gaidaev S. K., 2019. *Rybovodnye sooruzheniya nizkonapornogo Bagaevskogo gidrouzla na reke Don* [Fishways of the Bagaevsky low-head hydroelectric engineering complex on the Don river]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Engineering], no. 2(55), pp. 22-25. (In Russian).
 16. 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 Bagayevsky hydroelectric installation 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).
 17. Shurukhin L. A., 2018. *Bagaevskiy gidrouzel: inzhenernye resheniya i itogi proektirovaniya* [Bagaevsky hydroelectric complex: engineering solutions and design results]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Engineering], no. 3, pp. 41-46. (In Russian).
 18. 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>.
 19. 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>.
-

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 18.03.2022; одобрена после рецензирования 06.04.2022;
принята к публикации 18.05.2022.*

*The article was submitted 18.03.2022; approved after reviewing 06.04.2022; accepted for
publication 18.05.2022.*