

УДК

Предназначение и компоновочно-конструктивное решение Багаевского гидроузла на реке Дон

Шкура В. Н.¹, Шевченко А. В.²

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

Аннотация. Приведены сведения, обосновывающие целесообразность и условия создания Багаевского гидроузла на реке Дон. Дано обоснование и описание принятого компоновочного решения гидроузла и конструктивного исполнения сооружений, обеспечивающих его функционирование. По результатам технического обоснования проекта разработано рациональное решение Багаевского гидроузла, обеспечивающего свое предназначение и разноотраслевое использование водно-ресурсного потенциала реки Дон.

Ключевые слова: речной гидроузел, комплексное водопользование, водохозяйственное обоснование гидроузла, сооружения гидроузла.

Shkura V. N.¹, Shevchenko A. V.²

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

Abstract. The information justifying the expediency and conditions for the creation of the Bagaevsky waterworks on the Don River is given. The justification and description of the adopted layout solution of the waterworks and the structural design of the structures ensuring its functioning are given. Based on the results of the technical justification of the project, a rational solution has been developed for the Bagaevsky waterworks, which provides its purpose and diversified use of the water resource potential of the Don River.

Keywords: river waterworks, integrated water use, water management justification of the waterworks, waterworks structures.

Введение. Современная парадигма природопользования предусматривает повышение эффективности, рациональности и комплексности использования водных ресурсов при обеспечении требований охраны окружающей среды. В настоящее время, при всё возрастающих объемах отраслевого водопользования, проявляется дефицит водных ресурсов, характерный для рек южного склона территории Российской Федерации. Так, на Нижнем Дону в последние десятилетия обострилась проблема обеспечения водными ресурсами водопотребляющих отраслей хозяйствования (орошения, рыбоводства, водного транспорта, коммунального и промышленного водоснабжения, водных рекреаций и др.). Сложившееся и деградирующее состояние водной экосистемы Нижнего Дона определили необходимость принятия соответствующей

щих мер. Их состав и реализация предусматриваются Распоряжением Правительства Российской Федерации № 2012-р от 21 июля 2021 года «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») по оздоровлению и развитию водохозяйственного комплекса реки Дон» [1]. Одним из мероприятий, предусмотренных «Распоряжением» является строительство низконапорного Багаевского гидроузла на р. Дон. Создание указанного гидроузла обеспечит более высокий уровень регулирования водного стока реки и её шлюзование.

Отметим, что проблема шлюзования (устройства каскада гидроузлов на р. Дон), осуществляемого преимущественно в целях улучшения (обеспечения) условий судоходства имеет давнюю (более чем столетнюю) историю. Первые технически обоснованные (проектные) предложения по устройству каскада гидроузлов на р. Дон были сделаны Н. П. Пузыревским в 1911 г. [2]. В процессе реализации, предложенной им (и в последующем уточнявшейся), схемы на Нижнем Дону был построен каскад из четырех гидроузлов (включая Цимлянский, Николаевский, Константиновский и Кочетовский), схема расположения которых проиллюстрирована ниже на рисунке 1.

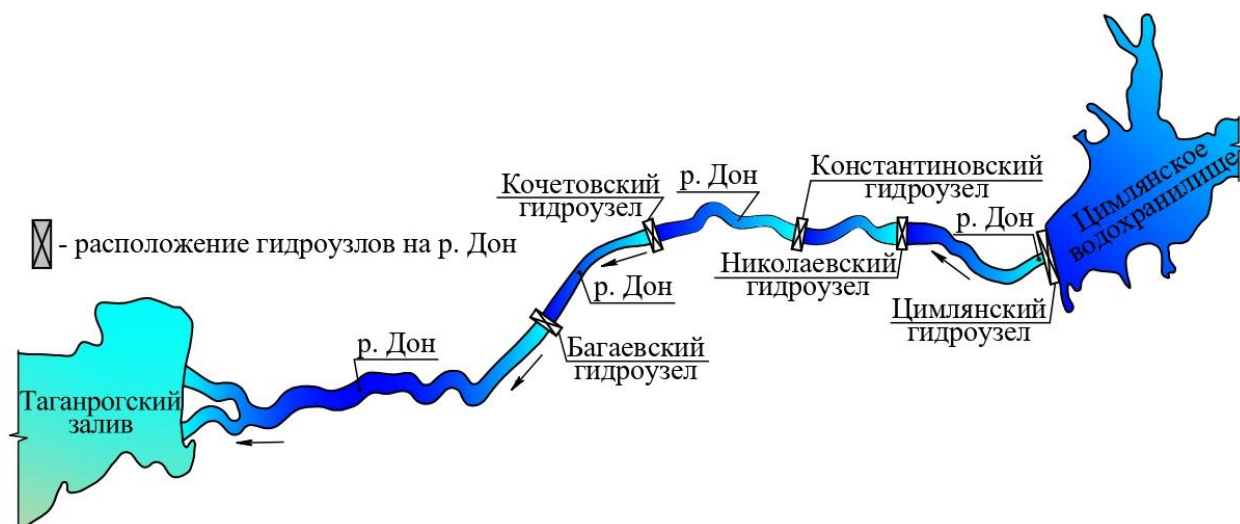


Рисунок 1 – План-схема расположения гидроузлов на р. Дон

Дальнейшее шлюзование реки предлагается осуществлять, реализуемым в настоящее время, строительством Багаевского гидроузла по проекту АО «Акватик» [2, 3]. Вопросы целесообразности устройства гидроузла неоднозначно рассматриваются и оцениваются специалистами [3–5], что предопределяло необходимость особо тщательного и разностороннего подхода к разработке его компоновочно-конструктивного решения. В разработке обоснований компоновки гидроузла и технических решений, входящих в его состав рыбохозяйственных сооружений, принимали непосредственное участие авторы настоящей статьи, что и предопределило основную направленность ее содержания, заключающуюся в обосновании создания и разработке компоновочно-конструктивного решения Багаевского гидроузла на реке Дон.

Материалы и методы. Эмпирическую базу для обоснования целесообразности создания и компоновочного решения низконапорного Багаевского гидроузла и конструктивного исполнения входящих в его состав сооруже-

ний составили данные по гидрологическим, водохозяйственным, рыбохозяйственным, топографическим и др. условиям его устройства и функционирования.

Результаты и обсуждение. Основное функциональное предназначение строящегося гидроузла – обеспечение необходимых судоходных глубин на участке водно-транспортного пути между Багаевским и Кочетовским гидроузлами в условиях острого дефицита водных ресурсов. Учитывая особую рыбохозяйственную значимость реки Дон, на гидроузле должны быть созданы условия для беспрепятственного прохода рыб вверх по реке в процессе их анадромно-нерестовых миграций и условия для нереста подготовленных к репродукционному процессу производителей рыб [6]. При этом, необходимо минимизировать площади затопления и подтопления поймы реки Дон [7–9].

Створ гидроузла выбран на участке реки между хутором Арпачин и станицей Манычской, характеризуемый наличием острова Белый, что позволяло реализовать «островную» схему его последующего строительства.

В процессе анализа гидрологических, водохозяйственных и топографических условий функционирования гидроузла и рассмотрения ряда вариантов, за расчетную отметку уровня воды в верхнем бьефе принята отметка равная – 2,0 мБС. Создаваемый подпор уровней воды, характеризуемый указанной отметкой, обеспечивал необходимые условия для судоходства и соответствовал минимуму затопления и подтопления территории [3, 5].

Создание гидроузла позволяет получить экономию объемов воды, сбрасываемой из Цимлянского водохранилища в течение навигационного периода ($T_{нав} = 244$ суток), для обеспечения судоходства. Необходимые глубины в русле реки Дон, при его функционировании, будут обеспечиваться при расходах, составляющих – 250 м³/с, а не при – 430 куб. м судоходных попусков, необходимых в настоящее время. Объем экономии водного ресурса на обеспечение интересов водного транспорта составит – 3,79 км³, который может быть использован для других целей, например, для орошения земель и (или) реализации рыбохозяйственных попусков. При соответствующем новом условиях изменении режима функционирования ГЭС и водосброса Цимлянского гидроузла в период нерестового хода (апрель-май) предлагается осуществлять нерестовый попуск расходом – 1000 м³/с, при последующем (во вненерестовый период) его снижении до – 230 м³/с. При расходе воды – 1000 м³/с все гидроузлы могут функционировать в безнапорном («бесподпорном») режиме, то есть при свободном протекании водного потока в пределах русла р. Дон. Это позволит создать условия для свободного прохода по реке рыб и их нереста на русловых нерестилищах. Экономия воды на обеспечение потребностей судоходства позволяет в средне- и высоководные годы осуществлять периодические (один раз в два-три года) нерестовые попуски с затоплением пойменных нерестилищ («донских займищ»). Возможность получения «судоходной» экономии объемов воды позволяет повысить обеспеченность водными ресурсами ряд Нижне-Донских оросительных систем.

Одним из определяющих компоновочно-конструктивное решение речного гидроузла требований, является требование обеспечения интересов рыбного хозяйства – охраны ихтиофауны и создания условий для естествен-

ного воспроизводства водных биоресурсов. Указанная задача предусматривает создание условий для свободного (беспрепятственного) прохода проходных и полупроходных видов рыб к местам нереста и возможностей для нереста подготовленных к репродукционному процессу их производителей.

В процессе рассмотрения ряда компоновочных решений гидроузла, объединяющего несколько сооружений разно-функционального назначения, выбран вариант их компоновки, проиллюстрированный на рисунке 2.

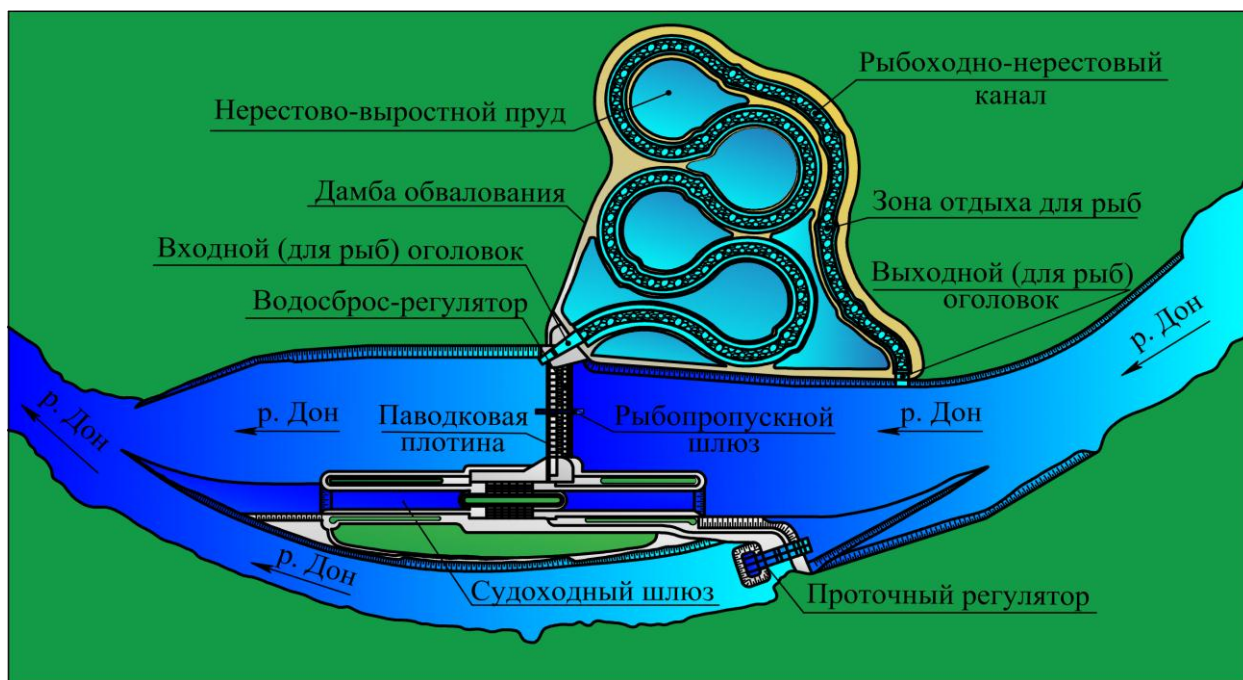


Рисунок 2 – Компоновочная схема Багаевского гидроузла на р. Дон

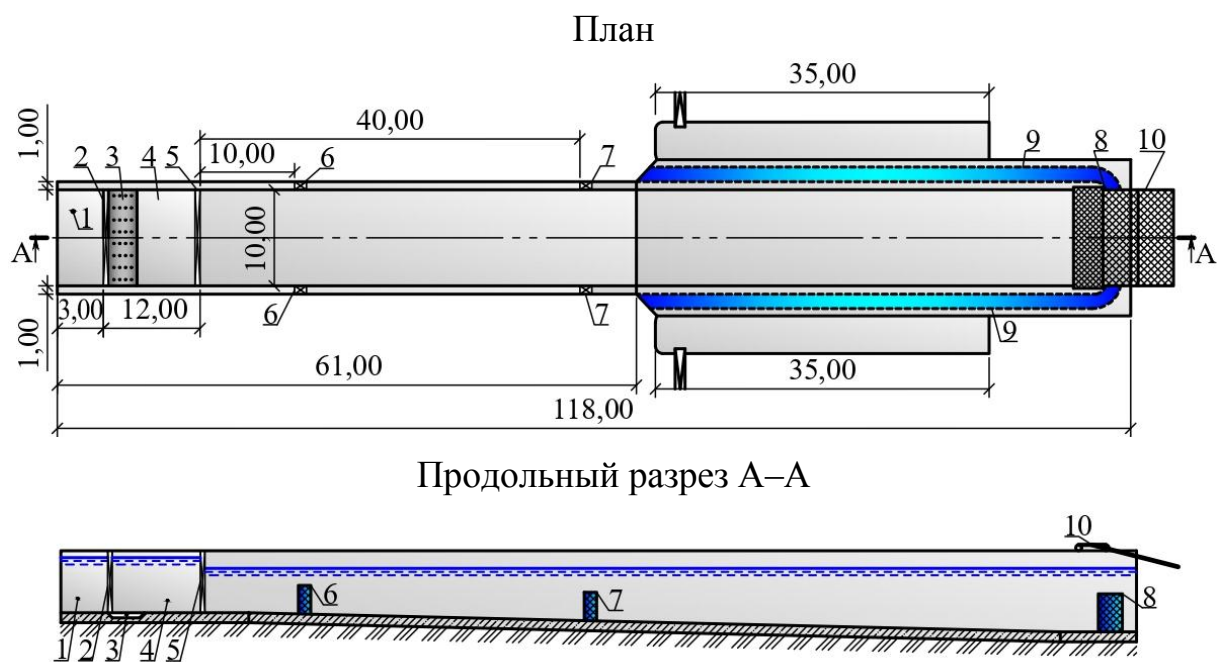
В соответствии с рисунком 2, в состав гидроузла включены: шестипролётная паводковая плотина (с шириной пролёта – $b_{пр} = 20,0$ м); шестипролётный водосброс-регулятор; двухниточный судоходный шлюз; рыбопропускной шлюз; рыбоходный канал с системой нерестовых прудков; регулятор, обеспечивающий экологическую проточность на участке старого русла.

С учетом того факта, что р. Дон определяется водным объектом высшей категории рыбохозяйственного значения, при разработке технического обоснования компоновочно-конструктивного решения гидроузла особое внимание было уделено разработке рыбоводных («рыбохозяйственных») и других, оказывающих влияние на условия обитания рыб, сооружений.

Так, при разработке водосбросных сооружений учтено требование о необходимости создания условий для свободного прохода рыб через водоподпорный створ гидроузла при его функционировании в безнапорном режиме. Для обеспечения этих условий предусмотрено устройство широкого водосбросного («водопрпускного») фронта, превышающего размеры русла реки при пропуске расходов, превышающих – $600 \text{ м}^3/\text{с}$. При таком решении перепад уровней воды между бьефами гидроузла не превышает – $0,06$ м, что исключает создание скоростного (для рыб) барьера в створе сооружений гидроузла при его функционировании в безнапорном режиме. Свободному проходу рыб способствует конструктивное решение водосливного порога, вы-

полненного в виде горизонтальной железобетонной плиты, отметка поверхности которой принята на уровне отметки дна р. Дон в бытовых условиях. При таком техническом решении исключается необходимость для придонно-перемещающихся рыб (в частности, для осетровых) изменения горизонта плавания при проходе через створное пространство плотин гидроузла.

Для пропуска рыб, перемещающихся в срединно-русловой части р. Дон предусмотрено устройство рыбопропускного шлюза, расположенного между паводковой плотиной и водосбросом-регулятором (см. рисунок 2). Конструкция шлюза (рисунок 3), в отличие от известных, предусматривает обеспечение непрерывного режима привлечения и накопления рыб, что обеспечивается устройством дополнительного блока питания. При совместной работе основного и дополнительного блоков питания в зоне распространения исходящего из шлюза водного потока, формируются стабильные гидравлические условия привлечения рыб и возможности их накопления в рыбоаккумуляторе в процессе шлюзования (перевода в верхний бьеф реки). Принятое техническое решение позволяет осуществлять до 16 – 24 циклов шлюзования рыб в сутки, что в 2–3 раза превышает количество таковых на действующих аналогах, что, в свою очередь, повышает рыбопропускную способность сооружения.



- 1 – участок выхода рыб; 2 – затвор верхней; 3 – площадка осмотра рыб;
4 – камера шлюзования; 5 – затвор нижней; 6, 7, 8 – отверстия блока питания; 9 – галереи блока питания; 10 – побуждающее устройство

Рисунок 3 – Конструктивная схема рыбопропускного шлюза Багаевского гидроузла на р. Дон

На гидроузле предусмотрено устройство рыбоходно-нерестового канала, предназначенного для пропуска рыб, мигрирующих вдоль правобережной части русла реки. Рыбоходно-нерестовый канал рассчитан на пропуск расхода в (100–110) м³/с, что составляет – 40 % от общего расхода реки в меженный период. Средняя скорость течения водного потока по тракту канала со-

ставляет $0,895$ м/с, что соответствует скоростям плавания практически для всех мигрирующих в створе гидроузла проходных, полупроходных и туводных видов рыб. Поперечное сечение канала принято трапецеидальным и характеризуется: глубиной $h_k = 2,5$ м, шириной по дну $b_k = 36,0$ м, заложением откосов $m_k = 1:3,5$ и протяженностью $L_k = 5350$ м. Дно и откосы канала покрываются слоем галечно-гравийной смеси, обеспечивающей закрепление его русла от деформаций и являющейся нерестовым субстратом для литофильных видов рыб (белуги, осетра, севрюги, стерляди, рыбца, шемаи).

Канал имеет меандрическую форму (рисунок 4), что не только обеспечивает его компактность, но и позволяет формировать разноскоростную структуру течений в плане и по глубине. При таком решении скорость потока в тракте составляет $\bar{v}_k = 0,895 \pm 0,15$ м/с, что позволяет рыбам с разной плавательной способностью выбирать наиболее приемлемые для них зоны (трассы) перемещения или нереста. Учитывая значительную протяженность тракта канала, по его длине предусмотрено устройство зон отдыха для рыб с меньшими скоростями течения и большими объемами жизненного (акваториального) пространства. Нерестовая площадь тракта для литофилов составляет $24,9$ га, а для реофилов $28,6$ га. В межмеандровом пространстве площадью $32,4$ га предусмотрено устройство нерестово-подростных прудков для нереста литофильных видов рыб (леща, судака, сазана и др.). Прудки обустроены соответствующими условиями для нереста литофилов, развития репродукционного продукта, подращивания молоди и обустроены сооружениями для регулирования водного режима, впуска и выпуска рыб.

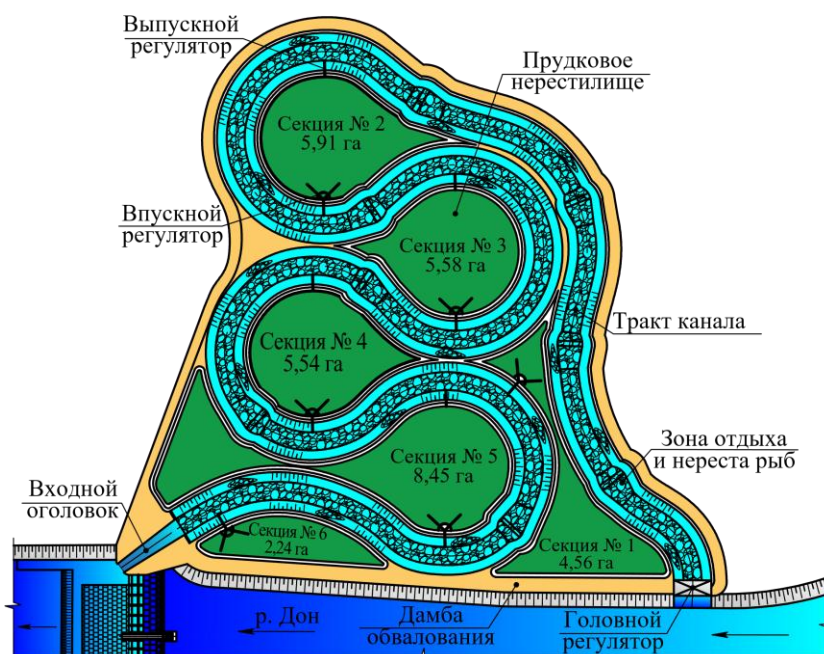


Рисунок 4 – Схема рыбоходно-нерестового канала Багаевского гидроузла на р. Дон

Техническое решение гидроузла предусматривает широкий спектр возможностей для управления сбросом расходов воды через пролёты паводковой плотины, водосброса-регулятора и проточного водовыпуска (регулятора) в целях оптимизации условий работы рыбопропускного шлюза и рыбо-

ходно-нерестового канала. Это позволяет прогнозировать высокие значения показателя качества условий для привлечения и пропуска рыб из нижнего бьефа гидроузла в верхний, что подтверждается нижеприведенным расчетом.

Расчет показателя качества условий для пропуска рыб через створ гидроузла ($\Pi_{к/у}$, %) при его работе в подпорном режиме выполнен по зависимости (учитывающей гидрометрические параметры рыбопропускных сооружений и потока в нижнем бьефе гидроузла), имеющей нижеследующий вид (1):

$$\Pi_{к/у} = 100 \cdot \frac{Q_c}{Q_p} \cdot \left(\frac{\bar{v}_{пр}}{\bar{v}_p} \right)^{0,5} \cdot \left[1,0 - |v_{кр} - v_{пр}|^{0,5} \right] \cdot \left(1,0 + 5,0 \cdot \frac{B_c}{B_p} \right)^{0,5} \cdot \left[1,2 - 0,1 \cdot \frac{L_{уд} - L_{з/п}}{L_{з/п}} \right], \quad (1)$$

где $\Pi_{к/у}$ – показатель качества гидрометрических условий в нижнем бьефе гидроузла для привлечения рыб в рыбопропускное сооружение, %;

Q_c – расход потока, истекающего в реку из рыбопропускного сооружения (рыбопропускного шлюза и (или) рыбоходно-нерестового канала), м³/с;

Q_p – расход водного потока реки, протекающего по нижнему бьефу гидроузла в створе входа рыб в рыбопропускное сооружение, м³/с;

$\bar{v}_{пр}$ – среднее значение скорости привлекающего рыб водного потока на входном створе в оголовок рыбопропускного сооружения, м/с;

\bar{v}_p – средняя по живому сечению скорость речного потока в створе, соответствующем входу рыб в рыбопропускное сооружение, м/с;

$v_{кр}$ – крейсерская скорость плавания мигрирующих рыб в реке, м/с;

B_c – ширина входного оголовка рыбопропускного сооружения, м;

B_p – ширина речного потока в створе входа мигрирующих по реке на нерест рыб в оголовок рыбопропускного сооружения, м;

$L_{уд}$ – удаленность створа входного сечения рыбопропускного сооружения от верхней границы зоны поиска рыбами прохода через препятствие, м;

$L_{з/п}$ – протяженность зоны поиска мигрирующими на нерест рыбами прохода через препятствие (от верхней границы зоны до нижней), м;

Исходные данные и результаты расчета значений показателей качества условий для пропуска рыб через створ гидроузла приведены в таблице 1.

Таблица 2 – Исходные данные и результаты расчетов показателей качества условий работы рыбопропускных сооружений

Рыбопропускное сооружение	Q_p , м ³ /с	Q_c , м ³ /с	$\bar{v}_{пр}$, м/с	\bar{v}_p , м/с	$v_{кр}$, м/с	B_c , м	B_p , м	$L_{уд}$, м	$L_{з/п}$, м	$\Pi_{к/у}$, %
Рыбопропускной шлюз	250	45,0	0,895	0,52	0,85	10,0	160,0	80,0	100,0	27,0
	400	55,0		0,40						22,9
Рыбоходно-нерестовый канал	250	100,0		0,52		22,5				65,6
	400	100,0		0,40						37,6

В соответствии с выполненным по зависимости (1) расчетом, прогнозируемые значения качества условий для привлечения рыб в рыбопропускные сооружения ($\Pi_{к/у}$, %) составят: для расхода гидроузла $Q_p = 250 \text{ м}^3/\text{с}$ – $\Pi_{к/у} = 27,0 + 65,6 = 92,6 \%$, а для $Q_p = 400 \text{ м}^3/\text{с}$ – $\Pi_{к/у} = 22,9 + 37,6 = 60,5 \%$.

Судя по полученным значениям показателя качества условий, для наиболее реальных расходов гидроузла прогнозируется пропуск через створ гидроузла от 60,5 % до 92,6 % от подходящего к нему количества рыб.

Заключение. В современных условиях аридного климата Юга Российской Федерации, актуальной проблемой является все возрастающий дефицит водных ресурсов, используемых в целях удовлетворения потребностей сельского, рыбного, коммунального хозяйства, водного транспорта, рекреаций и энергетики. При сложившемся остром недостатке в обеспечении водными ресурсами различных отраслей экономики, все большее распространение получает строительство гидроузлов на средних и крупных реках. Одним из таких проектов, реализуемых в настоящее время, является строительство и последующая эксплуатация низконапорного Багаевского гидроузла на р. Дон. Устройство указанного сооружения предусмотрено с целью повышения и регулирования водности реки Дон, на участке ниже Кочетовского гидроузла, а также удовлетворения потребностей водного транспорта, орошения, рыбоводства и других направлений использования водно-ресурсного потенциала Нижнего Дона. При создании речных гидроузлов предусматривается обеспечение природоохранных мероприятий различного уровня важности, среди которых особое значение придается созданию условий для беспрепятственного (свободного) прохода проходных, полупроходных и туводных видов рыб через створ гидроузла и (или) их нереста в пригидроузловом рыбоводном комплексе. Применительно к Багаевскому гидроузлу на р. Дон эта задача решена посредством устройства в его составе рыбопропускного шлюза и рыбоходно-нерестового канала с системой разных по размеру нерестово-выростных прудков и возможностью обеспечения прохода рыб через водосбросной фронт гидроузла (функционирующего в безнапорном режиме) со скоростями течения водного потока, оптимальными для большинства мигрирующих на нерест по руслу реки представителей рыбной ихтиофауны.