

УДК 502/504:626/628:626.22-628.113

А. В. КЛОВСКИЙ, Д. В. КОЗЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРОЙСТВУ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОННЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ПОРОГОВ В УСЛОВИЯХ БЕСПЛОТИННОГО ЗАБОРА ВОДЫ ИЗ МАЛЫХ ГОРНЫХ РЕК III ГРУППЫ

Рассматриваются условия бесплотинного забора воды из малых горных рек, транспортирующих большое количество наносного материала крупных фракций. Отмечено, что обеспечение качественных водозабора и водоподачи, характеризующихся минимально возможным завлечением в отводящий канал русловых наносов, может быть достигнуто за счет внедрения в состав компоновочных схем водозаборных гидроузлов таких простых и эффективных противонаносных элементов как донные циркуляционные пороги. Показано, что важным условием надежной работы водозаборных сооружений является правильность назначения планово-геометрических характеристик их отдельных конструктивных элементов. Изложены новые рекомендации по устройству и эксплуатации донных циркуляционных порогов в составе бесплотинных водозаборных гидроузлов на предгорных и долинных участках малых горных рек III группы с ледниково-снеговым и снегово-ледниковым питанием, приведены основные классификационные признаки водотоков данного типа. Предложенные рекомендации позволяют обосновать надежные и экономически эффективные проектные решения для бесплотинных водозаборов на предгорных и долинных участках малых горных рек III группы с указанными режимами питания. Данные рекомендации могут быть использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации как вновь возводимых, так и реконструируемых бесплотинных водозаборных гидроузлов на водотоках данного типа.

Бесплотинные водозаборные гидроузлы, русловые наносы, донный циркуляционный порог, искусственная поперечная циркуляция, рекомендации.

Введение. Основной задачей, решаемой при проектировании и последующей эксплуатации всех типов водозаборных гидроузлов, является обеспечение забора расчетных расходов водотока с возможно меньшим завлечением в отводящий канал русловых наносов (в первую очередь, донных). Несмотря на обширный научный базис исследуемого вопроса, полностью решить проблему борьбы с наносами при отборе части речного потока пока не удалось. Связано это, в первую очередь, с чрезвычайным разнообразием и сложностью гидрологических и наносных условий работы водозаборных сооружений [1, 2]. Обеспечение качественного водозабора и водоподачи может быть достигнуто за счет внедрения в состав компоновочных схем водозаборных гидроузлов простых и эффективных противонаносных устройств и элементов [3, 4].

Материалы и методы. Анализ специальной литературы по данному вопросу [5–7] позволил выделить в качестве

объекта исследований бесплотинные водозаборные гидроузлы на предгорных и долинных участках малых горных рек III группы с ледниково-снеговым и снегово-ледниковым питанием, а в качестве предмета исследований – противонаносные устройства в их составе в виде донных циркуляционных порогов, их гидравлические и наносные условия работы. Отметим, что в соответствии с гидротехнической классификацией горных рек по группам и типам их русловых участков, предложенной А. В. Филончиковым, к малым горным рекам III группы относятся водотоки с максимальным расходом 1 % обеспеченности $Q_{1\%} = 150...400 \text{ м}^3/\text{с}$ и среднелетними расходами $Q_{\text{ср.летн}} = 10...30 \text{ м}^3/\text{с}$. Уклон таких рек, текущих вдоль хребта, на предгорных и долинных участках варьируется от 0,003 до 0,01 [7]. Для горных рек с ледниково-снеговым питанием $\Delta \geq 1$, для рек со снегово-ледниковым питанием $\Delta = 0,27...0,99$, где Δ – отношение стока за вторую половину лета (июль–сентябрь) к стоку за первую

половину снеготаяния (март–июнь) [8].

Рекомендации по устройству и эксплуатации донных циркуляционных порогов. Как известно, важным условием надежной работы водозаборных сооружений является правильность назначения плано-геометрических характеристик их отдельных конструктивных элементов. Это положение в полной мере относится к вопросам устройства и эксплуатации донных циркуляционных порогов, так как защитные функции таких противонаносных элементов непосредственно зависят от их геометрических характеристик и планового расположения в составе гидроузла [3, 4].

Некоторые общие указания по устройству и эксплуатации донных циркуляционных порогов в составе бесплотинных водозаборных гидроузлов сформулированы В. С. Бондаренко [9]. Им же предложена компоновочная схема бесплотинного водозабора на р. Терек и подробно рассмотрены основы ее функционирования.

На основании уточнения гидравлических и наносных условий работы донных циркуляционных порогов в условиях бесплотинного забора воды из малых горных рек III группы [3, 4] и предложенных конструктивных решений авторами разработаны новые рекомендации по устройству и эксплуатации таких противонаносных элементов применительно к рассматриваемым условиям водоотделения.

В соответствии с рекомендациями [9] угол отвода потока φ выбирается исходя из конкретных условий существования проектируемого узла. По данным В. С. Бондаренко угол отвода следует назначать больше 90° ($\varphi > 90^\circ$), если сооружение длительные периоды будет работать в режиме водообмена, а минимальные уровни реки при этом надежно гарантируют расчетные заборы. При необходимости получения минимальных потерь на входе угол отвода должен быть меньше 90° .

В общем случае угол отвода потока φ принимается равным 90° , так как при таком взаимном расположении водотока и отвода режим работы водозаборного сооружения может плавно меняться в зависимости от изменения уровней воды в реке, что обеспечивает его безнаосную эксплуатацию в тяжелых

гидрологических и наносных условиях. Вместе с тем устройство отвода под углом $\varphi = 90^\circ$ к водотоку несколько удешевляет строительство ввиду сокращения затрат на подготовительные и строительно-монтажные работы.

По рекомендациям [9] необходимая ширина водоприемного фронта b определяется подбором из формулы расхода через подтопленный водослив с широким порогом

$$Q_{вз} = \varepsilon \varphi b h \sqrt{2gz}, \quad (1)$$

где $Q_{вз}$ – величина забираемого из реки расхода; ε – коэффициент бокового сжатия; φ – коэффициент скорости; b – ширина водоприемного фронта (водоприемника); h – глубина воды в реке ниже отвода; z – потери напора на входе в отвод; g – ускорение свободного падения.

Значения ε и φ зависят от формы входного отверстия водоприемника и определяются в соответствии с рекомендациями [10]. Потери напора на входе в отвод могут быть оценены по зависимости В. С. Бондаренко:

$$z = (1,21 - 0,21 \cos \varphi) V_k^2 / 2g, \quad (2)$$

где V_k – скорость потока в отводящем русле; наиболее точные результаты формула дает при $V_k \approx V_0$; V_0 – средняя скорость основного потока выше отвода [9].

Ширина водоприемника и ширина отводящего канала в большинстве случаев принимаются равными. Поэтому при определении ширины водоприемника b необходимо учитывать также гидрогеологические условия местности, тип и форму отводящего канала и пр. В первом приближении зависимость (1) позволяет достаточно точно определять значения b , необходимые для дальнейших расчетов.

Участки водотока выше и ниже по течению относительно водозаборного сооружения (см. рисунок) на длину не менее двадцати средних глубин потока $20H_0$ рекомендуется устраивать зарегулированными с постоянной шириной B и вертикальными бортами или трапецеидальными с шириной B по дну. В этом случае стабилизируется гидравлическая и кинематическая структура потока в зоне влияния водозаборного сооружения, искусственная поперечная циркуляция и защитные винтовые течения вдоль верховой и низовой грани проектируемого донного циркуляционного порога получают достаточное развитие, значительно облегчается определение требуемой величины стеснения потока.

ка русла B и угол установки порога к береговой линии β , можно определить требуемую длину наносозащитного порога l_n : $l_n = nB/\sin \beta$. (5)

В соответствии с результатами проведенных исследований [12, 13] донные циркуляционные пороги следует устраивать с уклоном верхней грани по течению $i_n > 0$ и относительной высотой в средней части преграды $P_{отн}$ во всем диапазоне колебания уровней воды в реке:

$P_{отн} = P_{отн} / H_0 = 0,35 \dots 0,5$,
где $P_{отн} = (P_n^{cp} + P_k) / 2$ – высота донного циркуляционного порога в его средней части, равная полусумме высот порога в его начальной и конечной частях; H_0 – средняя глубина бытового русла.

При соблюдении данных рекомендаций порогра работает как затопленная преграда, и защитные функции ИПЦ и винтовых течений вдоль верховой и низовой граней порога получают наибольшее развитие.

Зная средний максимальный $H_{0,max}$ и средний минимальный $H_{0,min}$ уровни воды в реке, можно определить требуемую высоту донного циркуляционного порога в его средней части P_{cp} :

$$0,35H_{0,max} \leq P_{cp} \leq 0,5H_{0,min}. \quad (6)$$

Условие (6) соблюдается в том случае, если соотношение между максимальным и минимальным уровнями не превышает 1,428 во всем диапазоне колебания горизонтов воды в реке. На реках с резко переменными уровнями воды низовой борт водоприемного отверстия рекомендуется выполнять в виде вертикальной стенки, параллельной наносозащитному порогу [9].

Высота порога в его конечной части P_k в соответствии с рекомендациями [9, 11] не должна быть меньше $H_0/6$. Анализ полученных нами экспериментальных данных свидетельствует о том, что винтовое течение вдоль верховой грани порога начинает разрушаться на участке порога с высотой $P_x \leq 0,25$ [14]. Поэтому рекомендуется устраивать пороги с $P_k \geq 0,25H_{0,max}$.

Зная длину донного наносорегулирующего порога l_n , высоту преграды в ее средней и конечной частях (P_{cp} и P_k соответственно), высоту порога в его начальной части P_n можно определить по следующей зависимости:

$$P_n = 2P_{cp} - P_k. \quad (7)$$

В этом случае уклон верхней грани порога определяется как:

$$i_n = (P_n - P_k) / l_n. \quad (8)$$

Концевой участок косо направленных донных циркуляционных порогов

рекомендуется располагать на луче, проведенном под углом $\gamma = 30^\circ$ к верховому ребру водоприемника (см. рисунок 1). Начальный участок порога (его корень) сопрягается непосредственно с берегом, от которого осуществляется забор воды.

В конструктивном отношении наносозащитный порог рекомендуется устраивать монолитным железобетонным с геометрическими характеристиками, определенными в соответствии с выше указанными рекомендациями.

В качестве основных рекомендаций по эксплуатации донных циркуляционных порогов можно выделить выполнение периодических осмотров наносозащитных устройств с целью выявления возможных дефектов и повреждений и последующего принятия соответствующих решений по восстановлению конструкций, а также проведение наблюдений за гидрологическим режимом водосточника с целью проверки соблюдения граничных условий работы донных циркуляционных преград (условие [6]). При резком подъеме уровня воды в реке предпочтительно осуществлять водозабор переливом через шандоры, что должно дополнительно уменьшить процент завлеченных в отвод донных наносов.

Выводы

Разработаны новые рекомендации по устройству и эксплуатации донных циркуляционных порогов в составе бесплотинных водозаборных гидроузлов на предгорных и долинных участках малых горных рек III группы, позволяющие обосновать надежные и экономически эффективные проектные решения для бесплотинных водозаборов. Данные рекомендации могут быть использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации как вновь возводимых, так и реконструируемых бесплотинных водозаборных гидроузлов на водотоках данного типа.

Библиографический список

1. Румянцев И. С., Кловский А. В. Научный обзор изученности вопросов проектирования и безнаносной эксплуатации бесплотинных водозаборных гидроузлов // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – № 2. – С. 101–106.
2. Козлов Д. В. Приоритетные направления развития научно-исследовательской деятельности в области водного хозяйства // Инновационные технологии в мелиорации: материалы международной научно-практической конференции (Костяковские чтения). – М.: Изд. ВНИИА, 2011. – С. 8–13.
3. Кловский А. В., Румянцев И. С., Козлов

Д. В. Некоторые пути совершенствования гидравлических условий работы бесплотинных водозаборных гидроузлов с донными циркуляционными порогами // Природообустройство. – 2015. – № 3. – С. 45–52.

4. Кловский А. В., Румянцев И. С., Козлов Д. В. Результаты гидравлических исследований условий работы донных циркуляционных порогов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 4. – С. 5–11.

5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 8, Северный Кавказ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 447 с.

6. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Терек (российская часть бассейна): в 6 книгах / Западно-Каспийское бассейновое водное управление [Электронный ресурс]. – URL: http://zkbvu.ru/documents/skiovo_terek_ru.php (Дата обращения 07.10.15).

7. Филончиков А. В. Проектирование автоматизированных водозаборных узлов на горных реках. – Фрунзе: Кыргызстан, 1990. – 371 с.

8. Кромер Р. К. Исследование процессов занесения и промыва подпорных бьефов низконапорных гидроузлов на реках горно-предгорной зоны: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1979. – 228 с.

9. Бондаренко В. С. Разработка и исследование бесплотинного водозабора для рек с тяжелым наносным и гидрологическим режимами: дис. ... канд. техн. наук. – Новочеркасск, НИМИ, 1975. – 184 с.

10. Штеренлихт Д. В. Гидравлика. – М.: Колос, 2004. – 656 с.

11. Соболин Г. В. Борьба с наносами при водозаборе в каналы оросительных систем горно-предгорной зоны: дис. ... доктора техн. наук. – М., – 425 с. МГМИ, 1987

12. Кловский А. В. Сравнительный анализ эффективности работы фронтальных донных циркуляционных порогов постоянной и переменной высоты // Природообустройство. – 2014. – № 4. – С. 37–42.

13. Кловский А. В. Результаты исследований гидравлических условий работы фронтальных донных циркуляционных порогов // Международный научный журнал. – 2014. – №3. – С. 77–83.

14. Румянцев И. С., Кловский А. В. Результаты исследований скоростного режима защитных винтовых течений в створе фронтальных донных порогов // Приволжский научный журнал. – 2014. – № 2. – С. 96–100.

Материал поступил в редакцию 07.12.2015.

Сведения об авторах

Кловский Алексей Викторович, инженер, аспирант; ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; тел.: +7-903-541-07-85; e-mail: Alexey.Klovskiy@yandex.ru.

Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор, проректор по инновационному развитию; ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева; 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; тел.: 8(499)976-29-62; e-mail: kozlovdv@mail.ru.

A. V. KLOVSKY, D. V. KOZLOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

RECOMMENDATIONS ON ARRANGEMENT AND OPERATION OF BOTTOM CIRCULATION SILLS UNDER THE CONDITIONS OF DAMLESS WATER INTAKE FROM SMALL MOUNTAIN RIVERS OF III GROUP

There are considered conditions of damless water intake from small mountain rivers transporting a large quantity of alleviated material of coarse grains. It is stated that ensuring of the qualitative water diversion and supply which are characterized by the minimum possible silting of the discharge canal can be achieved by introducing into layout schemes of diversion units simple and effective anti-alluvial elements such as bottom circulation sills. It is shown that the important condition for a reliable operation of water diversion structures is the proper choice of planning-geometric characteristics of separate structural components. There are given new recommendations on the arrangement and operation of bottom circulation sills within damless diversion units on submontane and valley lots of small rivers of III group with an ice snow and snow-ice feeding, there are given main systematic indications of watercourses of such type. The proposed recommendations make it possible to substantiate reliable and economically efficient design solutions for damless diversion units on submontane and valley lots of small mountain rivers of III group with the indicated regimes of feeding. The given recommendations can be used when designing, building and operation of both being erected and reconstructed damless diversion hydraulic units on watercourses of this type.

Damless diversion hydraulic units, river alluvia, bottom circulation sill, artificial cross circulation, recommendations.

References

1. **Rumyantsev I. S., Klovskiy A. V.** Scientific survey of the knowledge of problems of designing and alluvia-free operation of damless diversion hydraulic units // The International technical – economic journal. – 2014. – № 2. – P. 101–106.

2. **Kozlov D. V.** Priority directions of development of research and development activity in the field of water economy // Innovation technologies in land reclamation: materials of the international theoretical and practical conference (Kostyakovskie chteniya). – M.: Publishing house VNIIA, 2011. – P. 8–13.

3. **Klovskiy A. V., Rumyantsev I. S., Kozlov D. V.** Some ways of improvement of hydraulic conditions of operation of damless diversion hydraulic units with bottom circulation sills // Environmental engineering. – 2015. – № 3. – P. 45–52.

4. **Klovskiy A. V., Rumyantsev I. S., Kozlov D. V.** Results of hydrological researches of the conditions of operation of bottom circulation sills // Land reclamation and water economy. – 2015. – № 4. – P. 5–11.

5. Resources of the USSR surface water. Volume 8, The North Caucasus. – L.: Hydrometeoizdat, 1973. – 447 p.

6. Scheme of complex use and protection of water bodies of the Terek river basin (the Russian part of the basin): in 6 books / The West – Caspian water basin administration.

- URL: http://zkbvu.ru/documents/skiovo_terek_ru.php

7. **Filonchikov A. V.** Designing of automated diversion units on mountain rivers. – Frunze: Kyrgyzstan, 1990. – 371 p.

8. **Kromer R. K.** Investigation of the silting and washout processes of retaining pools of low head hydraulic units on the rivers of a mountain – submontane zone: dissertation of the candidate of technical sciences. – M., 1979. – 228 p.

9. **Bondarenko V. S.** Development

and investigation of damless water intake for the rivers with heavy silting and hydrological regimes: dissertation of the candidate of technical sciences. – Novocherkassk, NIMI, 1975. – 184 p.

10. **Shterenlikht D. V.** Hydraulics. – M.: Kolos, 2004. – 656 p.

11. **Sobolin G. V.** Control of alluvia at water intake into the channels of irrigation systems of the mountain – submontane zone: dissertation of the candidate of technical sciences. – M., – 425 p. MGMI, 1987

12. **Klovskiy A. V.** Comparative analysis of the efficiency of operation of frontal bottom circulation sills of the constant and variable height // Environmental engineering. – 2014. – № 4. – P. 37–42.

13. **Klovskiy A. V.** Results of the investigations of hydraulic conditions of operation of frontal bottom circulation sills // The International scientific journal. – 2014. – №3. – P. 77–83.

14. **Rumyantsev I. S., Klovskiy A. V.** Results of the investigations of a speed regime of protective corkscrew currents in the range of frontal bottom sills // Privolzhsky scientific journal. – 2014. – № 2. – P. 96–100.

Received on December 07, 2015.

Information about the authors

Klovskiy Alexey Victorovich, engineer, post graduate student; FSBEI HE RSAU-MTAA; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19, tel.: +7-903-541-07-85; e-mail: Alexey.Klovskiy@yandex.ru.

Kozlov Dmitriy Vyacheslavovich, doctor of technical sciences, professor, pro-rector on innovation development; FSBEI HE RSAU-MTAA; 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19, tel.: 8(499)976-29-62; e-mail: kozlovdv@mail.ru.