

УЛУЧШЕНИЕ РАБОТЫ ПЛОТИННОГО ВОДОЗАБОРНОГО УЗЛА НА ГОРНЫХ РЕКАХ В ЦЕЛЯХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Петевотян Р. А., Карамян А. С.

IMPROVEMENT OF DIVERSION DAM UNIT OPERATION ON MOUNTAIN RIVERS FOR SUPPLY IN SETTLEMENTS

Petevotyan R. A., Karamyan A. S.

Аннотация

Введение: в Республике Армения для хозяйственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов в основном используются подземные водоисточники, которые не нуждаются в очистке. В тех регионах, где отсутствуют подземные источники или эти ресурсы существуют в недостаточном количестве, в качестве водоисточника используются горные реки. Существующие конструкции сооружений водоприемных узлов, сложные условия эксплуатации систем водоснабжения, питающихся из горных рек, приводят к существенному снижению качества водоснабжения. Опыт эксплуатации водозаборных узлов, построенных на горных реках, показывает, что особенности этих рек являются: большое сезонное колебание расходов — до 100 и более раз; огромное количество взвешенных веществ в период паводка — мутность воды до 10 тыс. мг/л и более; содержание в водном потоке донных наносов, плавника, шуги и т. д. создают эксплуатационные проблемы. Весь объем водохранилища плотинного водозабора наполняется внезапно поступающими наносами, засоряются сооружения предварительной очистки воды (песколовки, отстойники). **Цель исследования:** выявление недостатков конструктивных решений водоприемных сооружений для разработки правил проектирования и дальнейшего обеспечения условий их нормального функционирования. **Результаты:** проектирование водозаборных сооружений на горных реках для систем водоснабжения населенных пунктов не регламентируется специальными строительными нормами и правилами. На основании анализа существующей по этой проблеме литературы и опыта эксплуатации разработана общая схема водозаборного узла на горных реках. Предложенную схему целесообразно принимать для плотинных водозаборов на верхних участках горных рек. **Заключение:** по разработанной схеме регулируется речной поток, поступающий на водоприемный бассейн и на сооружение предварительной очистки воды, что способствует эффективной предварительной очистки воды и повышению надежности работы систем водоснабжения в целом.

Ключевые слова: верхние участки горных рек, плотинные водозаборные сооружения, донные наносы, взвешенные вещества, предварительная очистка речных потоков, паводок, регулирование речного потока, верхний и нижний бьеф, забравная стена.

Abstract

Introduction: in the Republic of Armenia for domestic and drinking water supply in settlements for the most part underground water sources are used which do not require cleaning. In regions where there are no underground water sources or these resources exist in insufficient quantities, mountain rivers are used as a water source. The existing design of intake units' structures, complex operating conditions of water-supply systems using water from mountain rivers, lead to the significant decrease in the quality of water supply. The operation experience of water intake units built on mountain rivers shows that particular qualities, of these rivers are: a large seasonal fluctuation of flow — up to 100 and more times; a large amount of suspended matter in the period of floods — water turbidity up to 10 000 mg/l and more, the content in the water stream bed sediment, fins, sludges, etc. create operational problems. The whole volume of the intake dam reservoir is filled all of a sudden with incoming sediment, preliminary water cleaning structures (sand catchers, sedimentation tanks) are choked up. **The purpose of the study:** identification of shortcomings in design solutions of water intake facilities to work up rules for design and provide conditions for their normal functioning. **Results:** design of water intake facilities on mountain rivers for water-supply systems of settlements are not regulated by a special building code. On the basis of the existing literature on the problem under discussion and the experience of operation, a general scheme of water intake unit on mountain rivers has been developed. The recommended scheme is advisable to use for dam water intake facilities on upper mountain rivers. **Conclusion:** According to the developed scheme the river stream arriving to the intake reservoir and preliminary water cleaning structure can be regulated contributing to effective preliminary water cleaning and to raising the reliability of the water supply system as a whole.

Keywords: headwater area, dam intakes, bed sediment, suspended particles, desilting of rivers, river flow control, upstream, downstream, retaining wall.

Введение

Проектирование водозаборных сооружений на горных реках в целях водоснабжения населенных пунктов не регламентировано специальными техническими нормами и правилами. Существующие системы, особенно в горных и высокогорных регионах Армении, функционируют ненадежно, при этом существенно не соответствуя своему функциональному назначению. Установленные требования, предъявляемые к водозаборным узлам для водоснабжения на горных реках, заключаются в следующем:

- круглогодичное обеспечение безопасного забора воды в требуемом количестве и ее надлежащего качества при всех режимах реки;

- обеспечение забора воды в водоприемник без завлечения донных наносов, шуги и плавника, а также осаждение наносов в отстойниках предварительной очистки воды. Степень осветления воды зависит от требований водопотребителя. При питьевом водоснабжении требуется высокая степень очистки воды от взвешенных наносов;

- простота, надежность в работе и экономичность конструкций, доступность подхода для осмотра, ремонта и эксплуатации [3, 5, 14, 15].

Важно отметить, что водозаборные сооружения на верхних участках горных рек для водоснабжения населенных пунктов отличаются меньшими расчетными расходами воды, что существенно влияет на конструкции сооружений.

При проектировании плотинных водозаборов предлагается обеспечивать выполнение следующих условий для обеспечения их нормальной работы на горных реках:

- создание условий для устойчивого и плавного протекания потока воды на подходе к водозаборным и водосбросным сооружениям вне зависимости от расхода воды в реке. Структура такого потока является благоприятным условием для отвлечения наносов, шуги, льда и планктона от водоприемников, исключая обход сооружений наносов со стороны верхнего и подмыва нижнего бьефов. Важно также обеспечить свободный пропуск в обход паводковых и промывных расходов.

При небольшом водосборе (в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения) вышеуказанные условия рекомендуется обеспечивать регу-

лированием русла реки. Длину регулируемого участка предлагается осуществлять на участке (4–6) B (рис. 1), где B — ширина устойчивого русла по урезу воды. В нижнем бьефе длина регулируемого русла принимается не менее $2B$ [1, 5, 20]:

- водосбросный фронт водозаборного узла, по нормали к оси потока на горных участках реки, не должен стеснять обычный поток, а на предгорных участках рекомендуется несколько сужать водосбросный фронт по сравнению с подводящим руслом во избежание блуждания потока и образования отмелей [2, 12, 19].

Компоновка водосбросного фронта, при наличии неожиданно нарастающих потоков, должна предусматривать наличие постоянно открытых водосливов; необходимо уделять особое внимание расположению водоприемника в составе головного узла. Он может быть совмещен с элементами плотины, сооруженной в русле реки (встроенный водозабор) или примыкать к плотине, по принципам «лобовой водозабор — боковой сброс» (паводочный) или «боковой водозабор — лобовой сброс». Во втором случае забор воды осуществляется под острым углом в отношении направления движения основного потока. Для верхних участков горных рек с небольшим расходом и малой глубиной потока целесообразно предусмотреть встроенный водозабор, совмещенный с элементами плотины в русле [4].

- при конструировании водозаборных сооружений необходимо предусматривать два этапа борьбы с наносами в зависимости от требований к качеству воды по мутности. Первый этап — это мероприятия по предотвращению попадания донных и придонных наносов в водоприемник. Этого можно добиться регулированием расхода потока, поступающего в водоприемник, а также предусмотрением порога и галереи для задержания и удаления наносов в самом регулирующем канале на подходе к сооружениям. Этот этап особенно важен в тех случаях, когда река носит много донных наносов, а расход потока колеблется в десятки раз. В этих условиях наносы быстро наполняют весь объем сооружений, что осложняет эксплуатацию водозаборного узла. Второй этап — захват вовлеченных потоком воды наносов в самом водоприемном бассейне гравелиров-

ками, песколовками и отстойниками со сбросом их в нижний бьеф;

- компоновка водозаборного узла должна иметь устройства, предназначенные для борьбы с шуга-ледовыми затруднениями и плавником — забральные стенки, мусоросбросы, затворы с козырьками на открытых водосбросах.

Методы и материалы

При конструировании водоприемных сооружений на горных реках в каждом отдельном случае необходимо учитывать климатические, гидрогеологические и другие особенности местности, а также гидравлические и качественные показатели данного источника, следовательно, рекомендации типовых решений при проектировании упомянутых сооружений неприемлемы. На основе анализа литературных данных [6–9, 11, 17], а также опыта эксплуатации нами разработана общая схема водоприемного узла на горных реках. Предлагаемая схема целесообразна для плотинных водозаборов, предусмотренных на верхних участках горных рек (см. рис. 1). В поперечном сечении отстойник в верхней части имеет прямоугольную, а в нижней части, в пределах ребер, трапецеидальную форму. Ширину отстойника можно принимать постоянной или переменной.

Для обеспечения нормальной работы плотинных водозаборов на горных реках, предлагается при их проектировании обеспечивать выполнение следующих условий:

- создание условий для устойчивого и плавного протекания потока воды на подходе к водозаборным и водосбросным сооружениям вне зависимости от расхода воды в реке. Структура такого потока является благоприятным условием для отвлечения наносов, шуги, льда и планктонов от водоприемников, исключая обход сооружений наносов со стороны верхнего и подмыва нижнего бьефов. Важно также обеспечить свободный пропуск в обход паводковых и промывных расходов.

Результаты и обсуждение

При небольшом водосборе (в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения) вышеуказанные условия рекомендуем обеспечивать регулированием русла реки. Длину регулируемого участка предлагается осуществлять на участке (4–6) *B*, где *B* — ширина устойчивого русла по

урезу воды. В нижнем бьефе длина регулируемого русла принимается не менее $2B$ [1, 5, 20]:

- водосбросный фронт водозаборного узла, по нормали к оси потока на горных участках реки, не должен стеснять обычный поток, а на предгорных участках рекомендуется несколько сужать водосбросный фронт по сравнению с подводящим руслом, во избежание блуждания потока и образования отмелей [2, 12, 19].

Компоновка водосбросного фронта, при наличии неожиданно нарастающих потоков, должна предусматривать наличие постоянно открытых водосливов; необходимо уделять особое внимание расположению водоприемника в составе головного узла. Он может быть: 1) совмещен с элементами плотины, сооруженной в русле реки (встроенный водозабор); 2) примыкающим к плотине по принципам «лобовой водозабор — боковой сброс» (поводочный) или «боковой водозабор — лобовой сброс». Во втором случае забор воды осуществляется под острым углом в отношении направления движения основного потока. Для верхних участков горных рек с небольшим расходом и малой глубиной потока целесообразно предусмотреть встроенный водозабор, совмещенный с элементами плотины в русле;

- при конструировании водозаборных сооружений необходимо предусматривать два этапа борьбы с наносами в зависимости от требований к качеству воды по мутности. Первый этап — это мероприятия по предотвращению попадания донных и придонных наносов в водоприемник. Этого можно добиться регулированием расхода потока, поступающего в водоприемник, а также предусматриванием порога и галереи для задержания и удаления наносов в самом регулирующем канале на подходе к сооружениям. Этот этап особенно важен в тех случаях, когда река носит много донных наносов, а расход потока колеблется в десятки раз. В этих условиях наносы быстро наполняют весь объем сооружений, что осложняет эксплуатацию водозаборного узла. Второй этап — захват вовлеченных потоком воды наносов в самом водоприемном бассейне гравиеловками, песколовками и отстойниками со сбросом их в нижний бьеф;

- компоновка водозаборного узла должна иметь устройства, предназначенные для борьбы с шуга-ледовыми затруднениями и плавником —

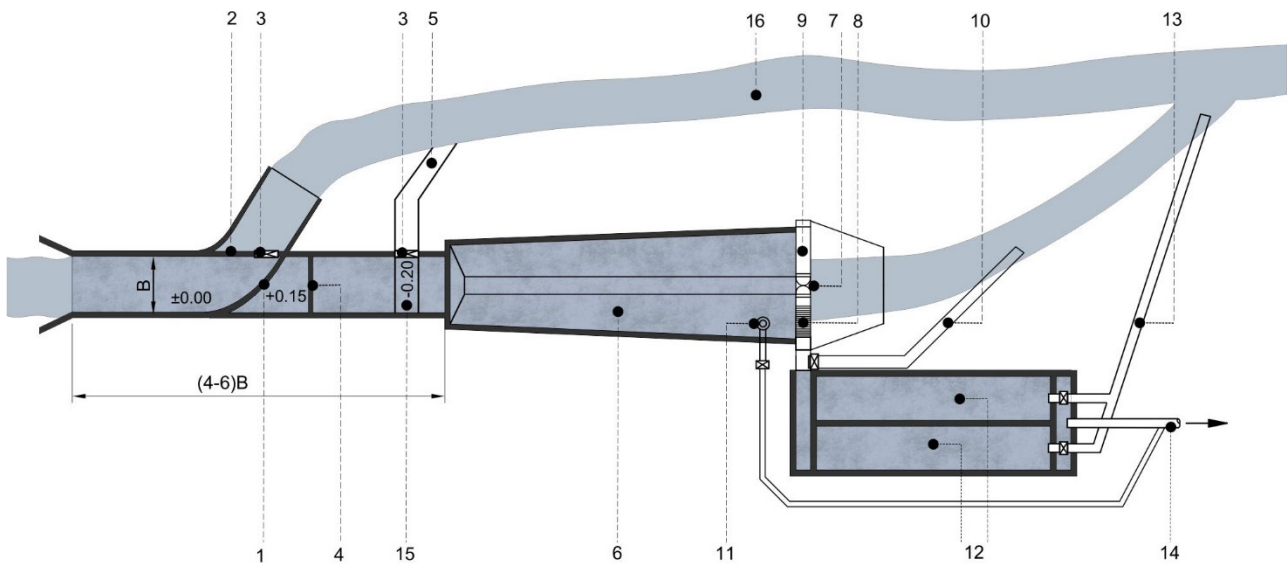


Рис. 1. Предлагаемая схема головного узла на горных реках:

- 1 — донный криволинейный порог; 2 — порог для пропуска максимальных расходов; 3 — плоский затвор донных наносов; 4 — забральная стена; 5 — выпуск донных наносов; 6 — плотинное водохранилище; 7 — затвор регулирования расхода удаления осадка; 8 — водоприемный канал с решеткой; 9 — глухой водосброс плотины; 10 — спуск воды водоприемного канала; 11 — зимний водоприемник; 12 — песколовки; 13 — лоток удаления осадка из песколовки; 14 — к отстойнику предварительной очистки воды или к очистной станции; 15 — открытый лоток; 16 — обходное русло

забральные стенки, мусоросбросы, затворы с козырьками на открытых водосбросах.

Очистные сооружения питьевой воды рассчитаны для очистки вод с мутностью до 1500 мг/л. Использование поверхностных источников с целью коммунального водоснабжения ограничивается содержанием взвешенных веществ до 5000 мг/л [17], а концентрация наносов в горных реках может достигать до 50–60 кг/м³ (50 000–60 000 мг/л) и более. Водозаборный узел для водоснабжения на горных реках должен функционировать непрерывно, бесперебойно и круглый год, а также обеспечивать надлежащее качество и количество предварительно очищенной воды, подаваемое на очистные сооружения.

$$B_o = 2 \frac{c}{\operatorname{tg} \alpha} + b,$$

где c — высота трапецидальной части отстойника; α — угол наклона трапецидальной части отстойника ($\alpha = 45^\circ$); b — ширина промывной галереи.

Живое сечение отстойника будет:

$$\omega_o = B_o H_o - \frac{c^2}{\operatorname{tg} \alpha},$$

где H_o — глубина воды в отстойнике.

Средняя скорость движения воды в середине длины отстойника будет:

$$V_{\text{ср}} = \frac{Q_p + 0,5 Q_{\text{пр}}}{\omega_o}.$$

Длина отстойника определяется по следующей формуле:

$$L_o = k \frac{H}{w_p} V_{\text{ср}} - \frac{Q_{\text{пр}}}{B_o w_p},$$

где w_p — гидравлическая крупность наименьших частиц, задерживаемых в отстойнике; k — коэффициент объемного использования отстойника (принимается 1,2–1,5).

Расчет напорной промывной галереи надо проводить следующим образом: принимая значение скорости в начале и в конце галереи, определяется площадь живого сечения соответственно в начале и в конце галереи, после чего, задавая значение его ширине, определяется уклон дна галереи.

Условия промывки отстойника проверяется следующим выражением:

$$H_o + z_n + h_d + z_k \leq z,$$

где z_n — потери напора при входе воды в галерею; h_d — потери напора по длине галереи; z_k — потери напора при выходе промывной воды из

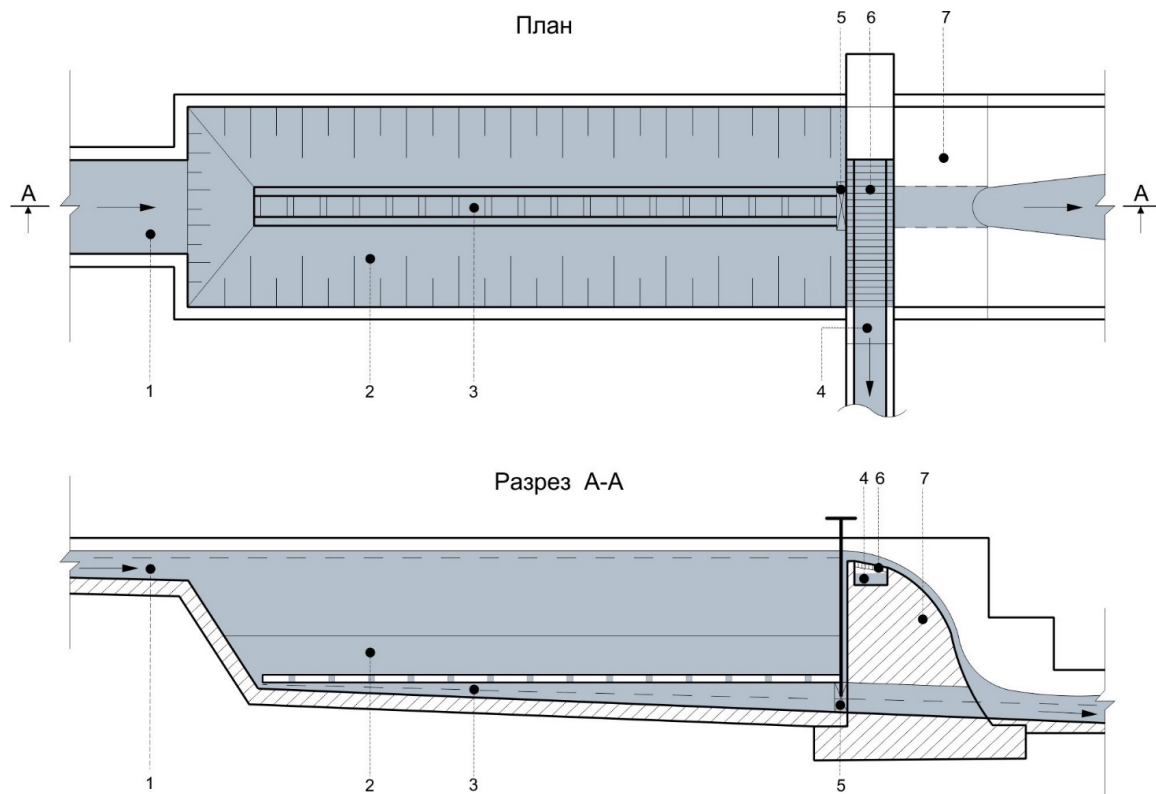


Рис. 2. Водоприемник-отстойник с непрерывным удалением осадка: 1 — подводящий регулирующий канал; 2 — отстойник; 3 — галерея непрерывного удаления осадка; 4 — отвод отстойной воды; 5 — задвижка регулирования расхода промывной воды; 6 — водоприемная решетка; 7 — водоприемная плотина

галереи; z — разница отметок воды в отстойнике и в точке выхода промывного потока в реку.

При нормальной эксплуатации систем и обслуживания предлагаемых сооружений исключается срыв работы водоприемного узла и систем водоснабжения в целом, а также улучшится качество воды, подаваемой населению. При необходимости дополнительная предварительная очистка воды может осуществляться после отстойника (плотинного водоприемника) или на горизонтальных отстойниках (см. рис. 1).

Заключение

Все водозаборные сооружения на горных реках Армении осуществлены в середине прошлого века, техническое состояние которых требует неотлагательной реконструкции, соответствующей современным требованиям. На основе многолетнего опыта эксплуатации водозаборных узлов, а также проведенных исследований на гидравлических моделях сооружений предварительной очистки воды, осуществленные нами разработки конструктивных решений и расчетов

уже внедрены в рабочие проекты по реконструкции некоторых водозаборов горных рек.

Литература

1. Алтунин, С. Т. (1950). *Регулирование русел рек при водозаборе*. М.: Сельхозгиз, 248 с.
2. Алтунин, С. Т. (1962). *Регулирование русел*. М.: Сельхозгиз, 352 с.
3. Асатрян, О. (2017). Улучшение работы горизонтальных отстойников предварительной очистки воды. *Научные труды Национального университета архитектуры и строительства Армении*, т. III, вып. 66, сс. 3–9.
4. Асатрян, О. (2016). Особенности работы водоприемных сооружений на горных реках и пути их улучшения. *Научные труды Национального университета архитектуры и строительства Армении*, т. IV, вып. 63, сс. 19–24.
5. Бондарь, Ф. И., Ереснов, Н. В., Семенов, С. И., Суров, И. Е. (1963). *Специальные водозаборные сооружения*. М.: ГИЛСАС, 362 с.
6. Васильева, И. А., Журавлев, Г. И., Корюкин, С. Н. (1978). *Гидротехнические сооружения*. М.: Стройиздат, 647 с.
7. Волков, И. М., Кононенко, П. Ф., Федичкин, И. К. (1968). *Гидротехнические сооружения*. М.: Колос, 464 с.
8. Гришин, М. М. (ред.) (1979). *Гидротехнические сооружения*. М.: Высшая школа, 615 с.

9. Логинов, Г. И. (2007). *Русловые и гидравлические процессы при водозаборе из горных рек в гидроэнергетические и ирригационные системы*. автореф. дис. докт. тех. наук, Бишкек.

10. Мамедов, А. Ш. (2001). Способы очистки горизонтальных отстойников. *Водоснабжение и санитарная техника*, № 12, сс. 15–16.

11. Мамедов, А. Ш. (2003). Водозаборно-очистные сооружения для горных рек. *Водоснабжение и санитарная техника*, № 8, сс. 18–19.

12. Недрига, В. П. (ред.) (1983). *Справочник проектировщика. Гидротехнические сооружения*. М.: Стройиздат, 543 с.

13. Николадзе, Г. И., Сомов, М. А. (1995). *Водоснабжение*. М.: Стройиздат, 688 с.

14. Орлов, Е. В. (2015). *Водозаборные сооружения*. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 136 с.

15. Петевотян, Р. А., Саакян, А., Саркисян, В. (2015). Изменение теплового режима рек Республики Армения в результате хозяйственной деятельности. *Известия Национального университета архитектуры и строительства Армении*, т. I, вып. 45, сс. 3–7.

16. Петевотян, Р. А., Асатрян О. (2017). Использование габионных структур для регулирования русла и совместного приема поверхностных и подрусловых стоков горных рек. *Известия Национального университета архитектуры и строительства Армении*, № 4(57), сс. 59–63.

17. Минстрой России (2004). СНиП 2.04.02-84*. *Водоснабжение. Наружные сети и сооружения*. М.: ФГУП ЦПП, 128 с.

18. Хачатрян, А. Г. (1957). *Отстойники на оросительных системах*. М.: Сельхозгиз, 342 с.

19. Чугаев, Р. Р. (1985). *Гидротехнические сооружения*, ч. II. М.: Агропромиздат, 302 с.

20. Wegelin, M. (1997). *Traitement d'Eau de surface par des Prefiltres a Gravier*. Dübendorf: Centre de cooperation-suisse pour la technologie et la management, 82 p.

References

1. Altunin, S. T. (1950). *Regulirovanie rusel rek pri vodozabore* [Improvement of rivers during water intake]. М.: Sel'hozgiz, 248 p. (in Russian).

2. Altunin, S. T. (1962). *Regulirovanie rusel* [Improvement of rivers]. М.: Sel'hozgiz, 352 p. (in Russian). 3. Asatryan, O. (2017). Uluchshenie raboty gorizontallykh otstojnikov predvaritel'noj ochistki vody [Improving operation of horizontal flow sedimentation tanks of preliminary water treatment]. *Nauchnye trudy Nacional'nogo universiteta arhitektury i stroitel'stva Armenii*, vol. III, issue 66, pp. 3–9. (in Russian).

4. Asatryan, O. (2016). Osobennosti raboty vodopriemnykh sooruzhenij na gornyx rekah i puti ih uluchsheniya [Working peculiarities of intake structures on mountain rivers and ways of improving thereof]. *Nauchnye trudy Nacional'nogo universiteta arhitektury i stroitel'stva Armenii*, vol. IV, issue 63, pp. 19–24. (in Russian).

5. Bondar', F. I., Eresnov, N. V., Semenov, S. I., Surov, I. E. (1963). *Special'nye vodozabornye sooruzheniya* [Special water intake structures]. М.: GILSAS, 362 p. (in Russian).

6. Vasil'eva, I. A., Zhuravlev, G. I., Koryukin, S. N. (1978). *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Water development facilities]. М.: Strojizdat, 647 p. (in Russian).

7. Volkov, I. M., Kononenko, P. F., Fedichkin, I. K. (1968). *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Water development facilities]. М.: Kolos, 464 p. (in Russian).

8. Grishin, M. M. (ed.) (1979). *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Water development facilities]. М.: Vysshaya shkola, 615 p. (in Russian).

9. Loginov, G. I. (2007). *Ruslovye i gidravlicheskie processy pri vodozabore iz gornyh rek v gidroehnergeticheskie i irrigacionnye sistemy* [Run-of-river and hydraulic processes in the course of water intake from mountain rivers into hydropower and irrigation systems]. avtoref. dis. dokt. tekhn. nauk, Bishkek. (in Russian).

10. Mamedov, A. Sh. (2001). Sposoby ochistki gorizontallykh otstojnikov [Methods of cleaning horizontal flow sedimentation tanks]. *Water Supply and Sanitary Technique*, № 12, pp. 15–16. (in Russian).

11. Mamedov, A. Sh. (2003). Vodozaborno-ochistnye sooruzheniya dlya gornyh rek [Water-intake and treatment facilities for mountain rivers]. *Water Supply and Sanitary Technique*, № 8, pp. 18–19. (in Russian).

12. Nedriга, V. P. (ed.) (1983). *Spravochnik proektirovshchika. Gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Reference book of design engineer. Water development facilities]. М.: Strojizdat, 543 p. (in Russian).

13. Nikoladze, G. I., Somov, M. A. (1995). *Vodosnabzhenie* [Water supply system]. М.: Strojizdat, 688 p. (in Russian).

14. Orlov, E. V. (2015). *Vodozabornye sooruzheniya* [Water intake structures]. М.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nykh vuzov, 136 p. (in Russian).

15. Petevotyan, R. A., Saakyan, A., Sarkisyan, V. (2015). Izmenenie teplovogo rezhima rek Respubliki Armeniya v rezul'tate hozyajstvennoj deyatelnosti [Changing thermal conditions of rivers of the Republic of Armenia resulting from business activity]. *Izvestiya Nacional'nogo universiteta arhitektury i stroitel'stva Armenii*, vol. I, issue 45, pp. 3–7. (in Russian).

16. Petevotyan, R. A., Asatryan O. (2017). Ispol'zovanie gabionnykh struktur dlya regulirovaniya rusla i sovmestnogo priema poverhnostnykh i podruslovykh stokov gornyh rek [Using gabion structures for river improvement and joint collection of surface and underflow runoffs of mountain rivers]. *Izvestiya Nacional'nogo universiteta arhitektury i stroitel'stva Armenii*, № 4(57), pp. 59–63. (in Russian).

17. Minstroj Rossii (2004). SNiP 2.04.02-84*. *Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniya* [Water supply system. External networks and structures]. М.: FGUP CPP, 128 p. (in Russian).

18. Hachatryan, A. G. (1957). *Otstojniki na orositel'nykh sistemah* [Sedimentation tanks in irrigation systems]. М.: Sel'hozgiz, 342 p. (in Russian).

19. Chugaev, R. R. (1985). *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya*, ch. II [Water development facilities, part II]. М.: Agropromizdat, 302 p. (in Russian).

20. Wegelin, M. (1997). *Traitement d'Eau de surface par des Prefiltres a Gravier*. Dübendorf: Centre de cooperation-suisse pour la technologie et la management, 82 p.

Авторы

Петевотян Размик Артаваздович, д-р техн. наук, профессор

Национальный университет архитектуры и строительства Армении

E-mail: rpetevotyan@nuaca.am

Карамян Анаит Сергеевна, канд. архитектуры, профессор

Национальный университет архитектуры и строительства Армении

E-mail: anarchitect@mail.ru

Authors

Petevotyan Razmik Artavazd, Dr. of Engineering, professor

National University of Architecture and Construction of Armenia

E-mail: rpetevotyan@nuaca.am

Karamyan Anahit Sergey, PhD in Architecture, professor

National University of Architecture and Construction of Armenia

E-mail: anarchitect@mail.ru