

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ
ПЛОТИН РЕКИ РАЗДАН**

Г.И. Карапетян¹, Г.Р. Бабаян¹, А.В. Балаян², Г.Г. Мадатян¹

¹ *Национальный политехнический университет Армении*

² *Шушинский технологический университет*

Приведены результаты натурных исследований каскадных плотин р. Раздан. В начале 60-ых годов прошлого века на участке моста Давиташен – Детская железная дорога для рекреационных целей и защиты дна реки было построено 20 низких плотин. Отсутствие обслуживания за последние десятилетия привело к засорению верхних бьефов этих сооружений и выходу из строя затворных оборудований. В результате практически все плотины потеряли свое назначение. В исследованиях оценено техническое состояние сооружений, определен объем отложений верхних бьефов и указаны мероприятия по восстановлению речной системы. Наряду с этим в исследованиях проведено сопоставление натурных данных и результатов расчетов, полученных с использованием критерия, описывающего процесс отложения наносов в верхнем бьефе сооружений. В одних случаях получено хорошее соответствие, в других – значительное расхождение, что объясняется ограниченной применимостью формулы по расчету минимальной скорости движения частиц, использованной при выводе критерия.

Исследования показывают, что при небольшой высоте плотины уклон поверхности отложений наносов в верхнем бьефе (преобразованное, новое дно реки) в основном отрицательный. Это объясняется тем, что в начальной части отложений, в условиях малой глубины и большой скорости, паводковые потоки размывли накопившийся грунт. Оценен гранулометрический состав отложений наносов, а также изучены техническое состояние и условия эксплуатации плотин. Полученные результаты свидетельствуют о том, что прочность и устойчивость плотин обеспечены необходимым запасом.

Ключевые слова: река, плотина, наносы, объем отложений, скорость наносов.

Введение. Изучены применяемые в гидротехнике конструктивные решения низких плотин различного руслового назначения, в том числе головных водозаборов, их расчетное обоснование и условия эксплуатации.

Все реки, особенно во время паводков, приносят значительное количество наносов. Прежде чем выбрать конструкцию плотины, необходимо правильно оценить наносный режим реки, что позволит определить количество наносов,

подлежащих отложению в верхнем бьефе. Результаты решения этих задач оказывают важное влияние на выбор конструктивного решения плотины [1], ее размеры и форму размещения сооружения [2]. Однако изучение и анализ мирового опыта эксплуатации различных поперечных русловых сооружений показывают, что из-за неполного или неправильного решения указанных задач во многих примерах работа сооружения становится неудовлетворительной [3,4]. В аналогичном состоянии находятся также и ставшие объектом исследования каскадные низкие плотины реки Раздан, которые были построены с целью создания водных зеркал в зонах отдыха и регулирования дна русла. В работе представлены результаты натурных исследований этих плотин, их верхних бьефов и механических оборудований, предложены мероприятия по восстановлению работоспособности сооружений. С этой точки зрения тема исследования актуальна.

Целью работы является исследование технического состояния гидротехнических поперечных сооружений, оценка объема отложений наносов в верхнем бьефе, сопоставление натурных и расчетных характеристик отложений.

Методика исследования. На участке реки Раздан Давиташенский мост - Детская железная дорога исследованы существующие 20 бетонных плотин. Из-за отсутствия проектной документации этого каскада, построенного шесть десятилетий назад, возникла необходимость в достаточно подробных исследованиях: были проведены геодезические измерения, наблюдения, фотографирование и документирование текущего состояния. Десять плотин расположены на участке реки от Давиташенского до Киевского мостов, следующие десять – до Детской железной дороги. Высота плотин колеблется в пределах 2...4 м, и они строились с одной, двумя или четырьмя ступенями-падениями. В результате исследований:

- определены размеры и координаты сооружений, выявлены их конструктивные решения (рис. 1);
- измерены геометрические параметры отложений наносов в верхнем бьефе плотин (рис. 2, 3);
- изучены эксплуатационные условия конструкций и произведена оценка технического состояния сооружений и их вспомогательных узлов (рис. 3, 4);
- проведено сравнение натурных и расчетных значений размеров частиц отложений наносов.

Результаты исследования. Изучение сооружений реки Раздан показывает, что, с точки зрения прочности и устойчивости, бетонные плотины находятся в удовлетворительном состоянии, однако существует ряд

первоочередных задач, требующих решения. В частности, затворные водопропускные узлы, предназначенные для промывки и удаления отложений, находятся в запущенном состоянии. На протяжении десятилетий из-за отсутствия технического обслуживания они заполнялись мусорно-грунтовой массой и вышли из эксплуатации (рис. 3).

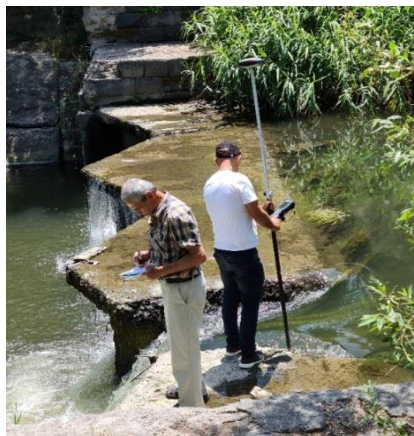


Рис. 1. Геодезические измерения поверхностного положения скоплений у плотины



Рис. 2. Измерения на плотине с одним падением



Рис. 3. Засорение клапанного узла



Рис. 4. Наполненный наносами и покрытый водорослями верхний бьеф

В то же время на рассматриваемом участке реки имеются серьезные экологические, технико-экономические проблемы. Результаты наблюдения показывают, что объемы перед сооружениями в основном занесены наносами и водорослями (рис. 4), а прибрежные зоны покрыты густой массой кустарников и тростника, заболочены и замусорены.

На основании данных натурных исследований:

- определены объемы накопившихся перед плотинами наносов и форма их размещения, проведена оценка технического состояния плотин;
- с использованием гидродинамической модели отложений рассчитаны размеры песчано-гравийных отложений, которые сопоставлены с результатами натурных измерений.

Для оценки объема наносов, отложений в верхнем бьефе плотины измерялись глубина воды вблизи плотины, длина отложений в верхнем бьефе и средний диаметр отложений наносов. Из-за технических сложностей, сильного загрязнения и других объективных причин провести детальные замеры поверхности отложений не представлялось возможным. Исследования показывают, что за шесть десятилетий эксплуатации большая часть поступающих с потоком наносов аккумулировалась в верхних бьефах плотин, расположенных выше Киевского моста (табл. 1). С гранулометрической точки зрения, отложенная масса формировалась из песчано-гравийных частиц. Мелкие частицы песка и глины в основном выносились в Ереванское озеро. При этом, в зависимости от высоты плотин, в их средних частях поверхность отложений стабилизировалась на 0,4...1,2 м ниже вершины плотин. Против течения толщина слоя отложений постепенно уменьшается до 0. Длина распространения отложений изменяется в зависимости от высоты плотины, уклонов русла и верхней поверхности отложений. Из-за значительного снижения скорости течения в береговых слоях верхнего бьефа поверхность отложений поднялась до вершины плотины, покрылась растительностью и сузила русло реки. Это состояние очень характерно для плотин, расположенных на участке реки до Киевского моста (рис. 1.2). В верхних бьефах плотин, расположенных ниже, степень заполнения наносов по течению значительно снижается (табл. 1).

По полученным данным рассчитаны объемы наносов перед плотинами. Расчеты показывают, что общий объем отложений перед первой десяткой плотин составляет около 15500 м^3 , а перед следующими восемью – 5200 м^3 (табл. 1). Перед двумя последними плотинами отложения практически отсутствуют. Таким образом, на исследованном участке реки общий объем отложений с определенной приближенностью оценивается в 21000 м^3 .

Исследования показывают, что при небольшой высоте плотины уклон поверхности отложений наносов в верхнем бьефе (преобразованное, новое дно реки) в основном отрицательный. Это объясняется тем, что в начальной части отложений, в условиях малой глубины и большой скорости, паводковые потоки размывли накопившийся грунт.

Таблица 1

Характерные параметры плотин р. Раздан и накопившихся перед ними наносов

| № пло- ти- ны | Высота плоти- ны, Н _р , м | Ширина плотины, В _р , м | Тол- щина отло- жений возле плоти- ны, h _s , м | Длина отложе- ний, L _s , м | Объем клина отложения, W _s = 0,5 W _{PRIZ} , W _{PRIZ} = B _р h _s L _s , м ³ | Наклон русла, i ₀ |
|---|---|--|--|--|--|------------------------------------|
| Участок от Давиташенского до Киевского моста | | | | | | |
| 1 | 3,0 | 24 | 2,7 | 85 | 2750 | 0,022 |
| 2 | 3,8 | 16,5 | 2,5 | 75 | 1550 | 0,021 |
| 3 | 3,0 | 26 | 2,1 | 70 | 1900 | 0,016 |
| 4 | 3,0 | 20 | 2,6 | 85 | 2210 | 0,015 |
| 5 | 3,0 | 21 | 2,4 | 80 | 2020 | 0,012 |
| 6 | 3,0 | 20 | 2,5 | 100 | 2500 | 0,011 |
| 7 | 2,6 | 20 | 1,3 | 60 | 780 | 0,012 |
| 8 | 1,8 | 25 | 1,1 | 45 | 620 | 0,011 |
| 9 | 2,3 | 21 | 1,1 | 50 | 580 | 0,013 |
| 10 | 2,6 | 26 | 1,0 | 40 | 520 | 0,011 |
| Итого | | | | | 15500 | |
| Участок от Киевского моста до Детской железной дороги | | | | | | |
| 1 | 3,6 | 18 | 3,0 | 90 | 2450 | 0,011 |
| 2 | 2,0 | 25 | 0,7 | 45 | 400 | 0,010 |
| 3 | 2,3 | 13 | 1,2 | 65 | 510 | 0,018 |
| 4 | 2,2 | 13 | 1,4 | 60 | 550 | 0,010 |
| 5 | Эта плотина прорвана, отложения отсутствуют | | | | | |
| 6 | 2,3 | 16 | 1,1 | 55 | 480 | 0,008 |
| 7 | 2,1 | 14 | 1,3 | 65 | 600 | 0,015 |
| 8 | 2,0 | 20 | 0,5 | 35 | 180 | 0,010 |
| 9- 10 | | | | | -- | |
| Итого | | | | | 5200 | |

В исследованиях оценен также гранулометрический состав отложений наносов. Взятые пробы грунта у плотин N1- N4 показывают, что отложения представляют собой смесь песчано-гравийных грунтов диаметром 1...6 см. В пробах доля крупного песка составляет не более 20%. Причем сравнительно крупные наносы были накоплены перед плотинами N1 и N4, а сравнительно мелкие - N2 и N3.

Также были изучены техническое состояние и условия эксплуатации плотин. Исследования свидетельствуют о том, что прочность и устойчивость плотин обеспечены необходимым запасом. Вместе с тем из-за отсутствия обслуживания на протяжении десятилетий затворные оборудования полностью вышли из строя. Частично или полностью повреждены также береговые подпорные стены и вспомогательные конструкции ряда плотин. Во всех перечисленных случаях необходимо провести капитальный ремонт или частичную реставрацию. Полученные результаты исследований позволяют оценить возможные затраты для проведения очистных и восстановительных мероприятий.

В исследованиях проведено сопоставление натуральных данных с результатами расчетов, полученных по критерию, описывающему процесс отложений наносов в верхнем бьефе сооружений [5]. Условие отложений донных наносов перед плотиной представлено следующим неравенством [6]:

$$V_s \geq \beta \frac{Q}{A}, \quad (1)$$

в левой части минимальная скорость, при которой частицы донных наносов еще находятся в движении, а в правой – скорость потока донного слоя.

Используя зависимости, предложенные для средней скорости, скорости донного слоя потока и скорости V_s [7,8], получен критерий, связывающий параметры потока и размеров отложившихся наносов:

$$A \geq \frac{\beta}{\gamma} \frac{Q}{\sqrt[4]{g^2 d h}}. \quad (2)$$

Из последнего выражения получается

$$d \geq \frac{(\beta Q)^4}{A^4 \gamma^4 g^2 h}, \quad (3)$$

где Q - расход реки; β - переходный коэффициент от средней скорости потока к скорости придонного слоя; γ - переходный коэффициент от скорости отрыва к минимальной скорости движения частиц наносов; h - глубина потока над отложениями наносов. Значение β в зависимости от характеристик потока и русла меняется достаточно в широком интервале [9]. Для водотоков горно-

предгорной зоны его значение можно принять в пределах 0,6...0,8. Согласно работе [8], значение γ принимается равным 0,75, h - глубина потока перед плотиной, определяемая суммой

$$h = H_0 + (H_p - h_s), \quad (4)$$

где H_0 – глубина потока на пороге плотины; H_p – высота плотины; h_s – глубина потока до порога (табл. 1).

Величина H_0 определяется по формуле расхода водослива [10]

$$Q = m_0 B_p \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (5)$$

где m_0 – коэффициент водослива; B_p – ширина плотины. Для водослива с практическим профилем в среднем $m_0 = 0,47$ [11].

Сопоставление расчетных и натуральных данных для плотин N1 – N4 проведено с использованием формул (3) и (5). В расчетах для расхода реки приняты два значения: 40 м³/с и 60 м³/с. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные значения средних размеров отложений наносов

| N плотины | Q, м ³ /с | H ₀ , м | H, м | B _p , м | A, м ² | d, м |
|--------------|-------------------------|-----------------------|---------|-----------------------|----------------------|------------------------|
| 1 | 40 | 0,86 | 1,2 | 24 | 28,8 | 3,2 · 10 ⁻² |
| | 60 | 1,1 | 1,4 | | 33,6 | 7,5 · 10 ⁻² |
| 2 | 40 | 1,1 | 2,4 | 17 | 40,8 | 0,4 · 10 ⁻² |
| | 60 | 1,4 | 2,7 | | 45,9 | 1,1 · 10 ⁻² |
| 3 | 40 | 0,8 | 1,7 | 26 | 44,2 | 0,4 · 10 ⁻² |
| | 60 | 1,0 | 1,9 | | 49,4 | 1,2 · 10 ⁻² |
| 4 | 40 | 1,0 | 1,4 | 20 | 28,0 | 3,1 · 10 ⁻² |
| | 60 | 1,3 | 1,7 | | 34,0 | 5,9 · 10 ⁻² |

Как видно из таблицы, натурные диаметры отложений наносов достаточно близки соответствующим расчетным значениям для плотин N1 и N4. Однако для плотин N2 и N3 наблюдается значительное расхождение между этими значениями. Это может быть объяснено локальной применимостью полуэмпирической формулы для скорости V_s [7,8].

Заключение. Русловые сооружения р. Раздан практически полностью потеряли свое эксплуатационное назначение из-за накопления наносов в верхнем бьефе, зарастания берегов густой зеленой массой и выхода из эксплуатации механического оборудования. Результаты проведенных исследований дают возможность разработать мероприятия для

восстановления работоспособности имеющихся сооружений и оздоровления речной системы на исследуемом участке р. Раздан. Проведенные по разработанному критерию расчеты и сопоставление их результатов с размерами взятых проб наносов показывают, что при выводе критерия, описывающего процесс отложений, необходимо уточнить используемое выражение для определения минимальной скорости движения частиц наносов.

Литература

1. **Johnson P.A. and McCuen R.H.** Silt dam design for debris flow mitigation // J. Hydraul. Eng. – 1989. – 115(9). – P. 1293 – 1296.
2. Design of Weirs, Barrages and Canals (Module- IV) /Government of India Central Water Commission National Water Academy, Module Co-ordinator Shri SN Pande (Director) Pune, 2019.- 217 p.
3. **Юлдашева К.А.** Опыт борьбы с заилением водохранилищ. – Ташкент: НИЦ МКВК, 2011.- 70с.
4. Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents / **G.M. Kondolf, Y. Gao, G.W. Annandale, G.L. Morris, et al** // Earth's Future. – 2014.-2.- P. 256–280.
5. **Baljyan P.H., Sarukhanyan A.A., Avanesyan E.V.** Study of sediment deposition processes and assessment of the change in the W-H characteristics of the Madaghis reservoir // J. Eureka: Physics and Engineering. – 2023. – Vol. 1(44). - P. 3-13.
6. **Балджян П.О., Балаян А.В.** Теоретическая модель процесса отложения донных наносов в водохранилище и ее практическое применение // Известия НАН РА и НПУА. Серия технических наук. – 2022. - Том 75, N 3.- С. 443-451. DOI 10.53297/0002306X-2022.v75.3-443.
7. **Мирицхулава Ц.Е.** Основы физики и механики эрозии русел. - Л.: Гидрометеоздат,1988.- 303 с.
8. **Чалов Р.С.** Русловедение: теория, география, практика. Т.1: Русловые процессы: факторы, механизмы и условия формирования речных русел. - М.: ЛКИ, 2008.- 608 с.
9. **Петров А.Г., Петров П.Г.** Вектор расхода наносов в турбулентном потоке над размываемым дном // ПМТФ. - 2000. -Т. 41, № 2. - С. 102–112.
10. **Чоу В.** Гидравлика открытых каналов: Перевод с англ. - М.: Стройиздат, 1969.- 462 с.
11. **Baljyan P.H., Hayriyan G.L, Javadyan H.R.** Evaluation of the “Getavan-1” Hydroscheme's Sedimentation Regime and the Creation of Sediment Accumulation Flushing Effective Measures // Bulletin of High Technology. - Shushi, 2022. - 4(23). – P.74-83. DOI.org/10.56243/18294898-2022.4-74

Поступила в редакцию 09.01.2023.

Отправлена на рецензию 15.01.2023.

Принята к опубликованию 25.09.2023.

ՀՐԱԶԴԱՆ ԳԵՏԻ ՑԱԾՐ ՊԱՏՆԵՇՆԵՐԻ ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՎԻՃԱԿԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Հ.Ի. Կարապետյան, Գ.Ռ. Բաբայան, Ա.Վ. Բալայան, Գ.Գ. Մադաթյան

Ներկայացված են Հրազդան գետի կասկադային պատնեշների բնական հետազոտությունների արդյունքները: Անցյալ դարի 60-ական թվականների սկզբում Հրազդան գետի Դավիթաշենի կամուրջ-Մանկական երկաթուղի տեղամասում հանգիստ կազմակերպելու և գետի հատակը պաշտպանելու նպատակով կառուցվել են 20 ցածր պատնեշներ: Վերջին տասնամյակներում սպասարկման բացակայությունը հանգեցրել է այդ կառուցվածքների վերին բիեֆների խցանմանը և փականային սարքավորումների շարքից դուրս գալուն: Արդյունքում՝ գործնականում բոլոր պատնեշները կորցրել են իրենց նշանակությունը: Հետազոտություններում գնահատված է պատնեշների տեխնիկական վիճակը, որոշված է վերին բիեֆներում նստվածքների ծավալը, և նշված են գետային համակարգի վերականգնման միջոցառումները: Միաժամանակ, հետազոտություններում կատարվել է բնական տվյալների համեմատում հաշվարկների արդյունքների հետ, որոնք ստացվել են պատնեշների վերին բիեֆում բերվածքների կուտակման գործնառաջ նկարագրող չափանիշի կիրառմամբ: Որոշ դեպքերում ստացվել է լավ համընկնում, որոշ դեպքերում՝ զգալի շեղում, ինչը բացատրվում է չափանիշի ստացման ժամանակ օգտագործված՝ մասնիկների շարժման նվազագույն արագության հաշվարկի բանաձևի սահմանափակ կիրառությամբ:

Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ ամբարտակի ոչ մեծ բարձրության դեպքում բերվածքների կուտակումների մակերևույթերի թեքությունը վերին բիեֆում (փոխակերպված գետի նոր հատակի) հիմնականում բացասական է: Դա բացատրվում է նրանով, որ փոքր խորությունների և մեծ արագությունների պայմաններում տեղումների հոսքերը մաքրել են կուտակված գրունտը: Հետազոտություններում գնահատվել է բերվածքների նստեցվածքի հատիկային կազմը: Ուսումնասիրվել են ամբարտակների տեխնիկական վիճակը և շահագործման պայմանները: Հետազոտություններն ապացուցում են, որ ամբարտակի ամրությունը և կայունությունը ապահովված են անհրաժեշտ պաշարով:

Առանցքային բաներ. գետ, պատնեշ, ջրաբերուկ, կուտակման ծավալ, ջրաբերուկի արագություն:

INVESTIGATING THE TECHNICAL CONDITION OF SMALL DAMS OF THE RIVER HRAZDAN

H.I. Karapetyan, G.R. Babayan, A.V. Balayan, G.G. Madatyan

The results of field studies of the cascade dams of the Hrazdan River are introduced. In the early 60s of the last century, 20 low dams were built on the section of the Davitashen

Bridge-Children's Railway for recreational purposes and protection of the river bottom. The lack of proper maintenance over the past decade has resulted in the clogging of the upstream of these facilities and the failure of sealing equipment. As a result, almost all dams have failed to serve their purpose. The studies assess the technical condition of the structures, determine the volume of sediments in the upper pools, and indicate measures to restore the river system. Along with this, the studies compare the field data with the results of calculations obtained according to a criterion that describes the process of sediment deposition in the upstream of the structures. In some cases, a good correspondence is obtained, in others - significant discrepancy, which is explained by the local applicability of the formulas used in the derivation of the criterion for calculating the minimum particle velocity.

Studies show that when the dam height is low, the slope of the sediment deposit surface in the upstream (transformed, new river bottom) is mainly negative. This is explained by the fact that in the initial part of the deposits, under conditions of shallow depth and high speed, flood flows eroded the accumulated soil. The studies assessed the particle size distribution of sediment deposits. The technical condition and operating conditions of the dams were studied. Research indicates that the strength and stability of dams are provided with the necessary reserves.

Keywords: river, dam, sediment, volume of sediments, sediment velocity.