

тельство. – 1978. – № 2. – С. 23–27.

4. **Нгуен Д. Ш.** Исследования устойчивости водосливной грунтовой плотины на размываемом основании: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ, 1981. – 147 с.

5. **Правдивец Ю. П.** Исследование работы плит крепления грунтовых откосов при переливе воды через сооружение / Повышение надежности гидротехнических сооружений при динамических воздействиях: сборник научных статей МИСИ. – М.: МИСИ, 1976 – С. 57–58.

6. **Ганем С. Х.** Совершенствование конструкций и методов расчетного обоснования грунтовых водосливных плотин: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГУП, 1991. – 130 с.

7. **Андреев А. Е.** Управление потоками за водопропускными сооружениями в составе противопаводковых защитных комплексов: дис. ... д-ра техн. наук. – СПб: ГТУ, 1998. – 398 с.

Материал поступил в редакцию 25.01.11.

Сулейман Ахмад, аспирант

Тел. 8-926-923-03-03

as79scs@hotmail.com

УДК 502/504:626.8

А. МАМЕДОВ

Научно-исследовательский и проектный институт «Суканал», Азербайджанская Республика

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПУСКА ДОННОГО ПОТОКА ЧЕРЕЗ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

С целью сохранения полезной емкости водохранилища и увеличения срока службы предложена новая конструкция для промывки отложений. Разработаны специальные наносозахватывающие сооружения – затопленные отстойники, которые располагаются перед плотиной внутри водохранилища. Конструкция выполняется в виде прямоугольной камеры с промывными трубами. Камеры «затопленного отстойника» сверху перекрыты дырчатými плитами. Применение таких сооружений позволяет увеличить концентрацию наносов в промывном потоке в несколько раз по сравнению с поступающими донными наносами. Выведено уравнение динамики изменения мутности донных суспензионных течений по длине наносозахватывающих сооружений.

Водохранилище, заиление, занесение, удаление наносов, промывка, донные водосбросы, полезная емкость, пропуск донных суспензионных течений, затворы, промывные камеры.

For keeping the capacity of the water storage basin useful and lengthening the life time a new construction is proposed. For this purpose special structures which catch sediments are developed – drowned settlers located before the dam inside the basin. The construction is performed in the form of a rectangular chamber with scour pipes. The chambers of «the drowned settler» are covered by holed plates on top. Application of such structures allows increasing concentration of sediments in the wash flow by several times in comparison with the incoming bottom sediments. There is derived an equation of turbidity change dynamics of bottom suspension currents along the sediments catching constructions.

Water storage basin, siltation, removal of sediments, washing, bottom spillway, useful capacity, passage of bottom suspension currents, gates, wash.

С развитием сельского хозяйства, промышленности и ростом численности населения в мире интенсивно увеличивается потребность в пресной воде. Объем водных ресурсов при естественном режиме рек не дает возможности обеспечить все потребности, поэто-

му зарегулирование стоков рек в водохранилищах – актуальная задача [1–3].

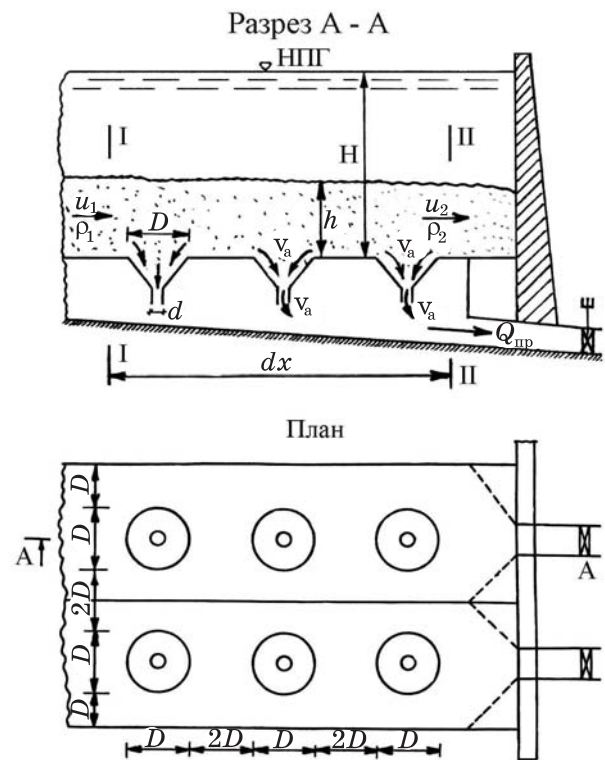
Мировой опыт эксплуатации водохранилищ показывает, что многие из них заиляются быстрыми темпами [1, 2, 4]. Интенсивность заиления часто оказыва-

ется такой высокой, что через несколько лет эксплуатации водохранилища теряют до 70...80 % своего объема. Проблема борьбы с заилием водохранилищ становится все более актуальной.

В правилах эксплуатации водохранилищ малой и средней емкости предусматривается удаление наносов из водохранилища различными методами – промывкой через донные водосбросы или с использованием средств гидромеханизации [1, 4, 5]. Однако они не всегда обеспечивают эффективную очистку, так как применение механических средств очистки ограничивается глубиной водохранилища, дальностью транспортировки удаленных наносов и высокой стоимостью работ. Одним из эффективных путей сохранения полезной емкости водохранилища, не исключая остальных, является пропуск мутных речных потоков, образующих донные суспензионные течения в водохранилищах, через специально предназначенные для этого отверстия в теле плотины. С помощью этого метода удается ежегодно удалять в ряде случаев от 5 до 60 % всех поступивших в водохранилище наносов. Однако для обоснованного применения этого метода необходимо оценить объемы сбрасываемых наносов и связанные с этим затраты, для чего определяют минимальное количество воды, необходимое для сброса наносов. С этой целью можно использовать специальные наносозахватывающие сооружения – «затопленные отстойники», которые располагаются перед плотиной, внутри водохранилища (рисунок). Такие сооружения можно построить по принципу непрерывно промываемого отстойника [6, 7].

Конструкция выполняется в виде прямоугольной камеры с промывными трубами. Концы промывных труб обеспечиваются специальными затворами, которые располагаются в нижнем бьефе плотины. Камеры «затопленного отстойника» сверху перекрываются дырчатые плиты [7].

С целью увеличения восходящих скоростей над плитой располагаются усеченные конусы, перевернутые вершиной вниз (см. рисунок) Донные течения, наступая на наносозахватывающие сооружения, продвигаются в сторону плотины. Открывая регулирующий затвор в конце промывных камер, можно уловить часть



Расчетная схема: D – диаметр входной части горловины; d – диаметр выходной части; dx – расстояние между двумя сечениями данного потока; H – глубина потока в водохранилище; v_a – скорость донного течения; ρ – мутность донного течения; h – глубина донного течения; $Q_{пр}$ – промывной расход донных течений

донных течений высокой мутности и сбросить в нижний бьеф плотины. При такой компоновке сооружения оттаивание и удаление наносов из донных течений происходит идентично с непериодическими отстойниками. Применение таких сооружений позволяет увеличить концентрацию наносов в промывном потоке в несколько раз по сравнению с поступающими донными наносами, существенно уменьшить расходы воды на промывку наносных отложений [7].

Размеры и число воронок определяют в зависимости от гидравлических показателей донных течений. Конструкция работает следующим образом. При наблюдении донных суспензионных течений открываются затворы донных отверстий. С помощью воронки улавливается часть донных течений высокой мутности и сбрасывается в нижний бьеф плотины. В зависимости от гидравлических режимов в промывном коллекторе с помощью задвижек можно регулировать значения вертикальных скоростей в придонном слое донных течений. Эти

вертикальные течения ускоряют осаждение наносов донных суспензионных течений. Вертикально составляющие скорости можно определить из формулы истечения жидкости через отверстия:

$$v = \mu\sqrt{2gH}. \quad (1)$$

При безнапорном режиме в промывной камере эта скорость достигает максимального значения.

С затоплением камеры скорость истечения уменьшается. Таким образом, вертикальная составляющая скоростей потока по направлению в сторону водохранилища уменьшается. Обозначим диаметр входной части горловины через D , а выходной части через d , тогда для изменения вертикальных составляющих скоростей формулу можно выразить в следующем виде:

$$v_a = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \mu\sqrt{2gH}. \quad (2)$$

Убывание вертикальных скоростей внутри водохранилища рассматриваем по прямолинейному закону. Составим дифференциальное уравнение осаждения наносов в новоразработанных наносоулавливающих сооружениях. Принимаем следующие обозначения: ширина потока – b , глубина – H , средняя скорость течения – v и мутность течения – ρ . Тогда изменение мутности донного потока в пределах двух сечений I–I и II–II, отстоящих друг от друга на расстоянии dx , можно описать уравнением баланса расхода наносов в пределах этих сечений:

$$q_0(\rho - d\rho) - q_0\rho = (v_a + W)\rho dx. \quad (3)$$

После подстановки значения v_a уравнение можно представить в следующем виде:

$$-\frac{d\rho}{\rho} = \frac{W}{q_0} dx + v_a \frac{dx}{q_0}. \quad (4)$$

После интегрирования уравнения (4) получим:

$$\ln \rho = -(W + v_a) \frac{x}{q_0} + C. \quad (5)$$

Постоянная интегрирования C определяется из начальных условий ($x = 0, \rho = \rho_0$): $C = \ln \rho_0$ (6)

Подставляя выражение (6) в уравнение (5), находим:

$$\ln \frac{\rho}{\rho_0} = -(W + v_a) \frac{x}{q_0}. \quad (7)$$

Это и есть уравнение динамики изменения мутности донных суспензионных течений по длине наносозахватывающих сооружений.

Средний удельный расход можно определить из следующей зависимости:

$$q_0 = v_{cp} h. \quad (8)$$

С учетом (8) уравнение (7) можно записать в следующем виде:

$$\rho_x = \rho_0 \cdot e^{-\left[W + \left(\frac{d}{D}\right)^2 \mu\sqrt{2gH}\right] \frac{x}{v_{cp} h}}, \quad (9)$$

где W – гидравлическая крупность частицы в чистой воде; μ – коэффициент расхода ($\mu = 0,7$); h – глубина донных течений; H – глубина потока в водохранилище; D – диаметр входной части горловин; d – диаметр выходной части горловин.

Для изучения гидравлических параметров разработанных конструкций автором проведены модельные исследования в зеркальном лотке длиной 15 м, шириной 1,2 м и глубиной 1,0 м.

Моделирование основных параметров донного потока проведено по методике И. И. Леви при соблюдении следующих условий для природы и эксперимента: $Fr = \text{const}, R_e > R_{e, \text{кв}}$. [8, 9].

Опыты проводились при работе сбросных отверстий и отсутствии сброса мутной воды. В составе используемой мутной воды частицы фракциями 0,1...0,05 мм составляли 78,72...83,23 % от общего состава. В опытах с расходом подачи воды в лотках 0,21 л/с и мутностью 20,9 г/л, а также при сбросе из лотка промывным устройством донного потока расходом 1,621 л/с в пределах донного слоя мутность воды в конце лотка уменьшалась до 0,17 г/л.

При изменении расходов промывной трубы от 0,36 до 0,63 л/с пропускная способность промывных отверстий диаметром 6 мм менялась от 0,033 до 0,057 л/с. В процессе опытов глубина воды в зеркальном лотке составляла 30 см, скорость потока в изучаемых промывных отверстиях достигала 1,17...2,02 м/с. Анализ результатов проведенных опытов показал, что с увеличением расхода воды промывных отверстий их радиус влияния увеличился. Радиус влияния промывного отверстия по ширине потока изучали на горизонтальной плоскости, проходящей на уровне отверстий. Радиус влияния промывных отверстий диаметром 4 мм, т.е. зоны

распространения их входных скоростей для всасывания мутной воды, увеличивался с повышением входной скорости и расходов воды. С увеличением расхода воды в отверстиях до 0,033 л/с их входная скорость повышалась до 2,64 м/с, а радиус влияния по высоте увеличивался до 8,7 см, составляя по горизонтали 5,4 м. По этим данным всасывание мутной воды промывными отверстиями по ширине чаши водохранилища – это пассивный процесс по сравнению с процессом вертикального ее захвата.

Значительный интерес представлял режим работы промывной камеры при сбросе из чаши водохранилища разжиженной части отложения наносов и мутной воды из донного слоя потока. Этот вопрос был изучен при расходе воды промывной камеры 0,69...3,0 л/с и глубине воды в зеркальном лотке 30 см. Радиус влияния промывных отверстий по глубине потока на поверхности плиты перекрытия промывной камеры увеличивался с повышением расхода.

При одинаковых расходах промывных отверстий их радиус влияния по глубине в отдельных рядах почти не менялся. При расходах сбросной воды 0,69 л/с и промывных отверстий 0,017 л/с дальность всасывания этих отверстий по глубине воды первого ряда камеры находилась в пределах 11,5...12,0 см, а по длине второго ряда радиус влияния отверстия достигал 16...17 см. Из проведенных опытов следует, что при наличии сброса из лотка по его длине скорость движения и мутность уменьшаются.

Пример расчета по сбросу донных суспензионных течений из водохранилища по предлагаемой конструкции проведен при следующих данных [7]: расход донных течений $Q = 40 \text{ м}^3/\text{с}$; глубина донных течений $h = 10 \text{ м}$; глубина водохранилища $H = 200 \text{ м}$; ширина донных течений $B = 45 \text{ м}$; скорость донных течений $v = 0,0888 \text{ м/с}$; гидравлическая крупность наносов $W = 0,2 \text{ мм/с}$; мутность донных течений $\rho = 15 \text{ кг/м}^3$.

Площадь выходных сечений наносозахватывающих горловин при $d_1 = 0,1 \text{ м}$, $D = 5 \text{ м}$:

$$\omega_{\text{вых}} = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 0,00785 \text{ м}^2.$$

Входная скорость

$$v_a = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \mu \sqrt{2gH} = \left(\frac{0,1}{5}\right)^2 \times 0,7 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 200} = 0,0175 \text{ м/с}.$$

Выходная скорость

$$v_a = \mu \sqrt{2gH} = 0,7 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 200} = 43,8 \text{ м/с}.$$

Промывной расход одной горловины

$$Q_1 = \omega v = 0,00785 \cdot 43,8 = 0,344 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Принимаем промывной расход сооружений $Q_{\text{пр}} = 0,25Q$ и определяем количество наносозахватывающих горловин:

$$n = \frac{0,25Q}{Q_1} = \frac{0,25 \cdot 40}{0,344} \approx 30 \text{ штук}.$$

Скорость донных течений в конце сооружений

$$v_2 = \frac{Q - Q_{\text{пр}}}{Bh} = \frac{40 - 10}{45 \cdot 10} = 0,0666 \text{ м/с}.$$

Принимаем: число наносозахватывающих горловин по ширине – 3 ряда. Длина сооружения

$$l = n_1 D + 2D(n_1 - 1) = 10 \cdot 5 + 2 \cdot 5 \cdot 13 \approx 180 \text{ м},$$

где $n_1 = 30:3 = 10$ штук – число горловин в одном ряду.

Ширина сооружения

$$B = nD + (n+1)2D + 2D = 35 + 225 + 25 = 45 \text{ м}.$$

Подсчитаем динамику уменьшения мутности по длине наносозахватывающего сооружения:

$$\rho_x = 15 \cdot e^{-[0,0002 + 0,0175] \frac{x}{100,0777}}.$$

После упрощения получаем (таблица):

$$\rho_x = 15 \cdot e^{-0,0228x}.$$

Значение x при заданных ρ_x

$x, \text{ м}$	0	40	80	120	160	180
$\rho_x, \text{ кг/м}^3$	15,0	6,03	2,42	0,97	0,39	0,25

Выводы

Пропуская из водохранилища одну четвертую часть донных течений, можно добиться увеличения мутности промывного потока примерно в 4 раза по сравнению с исходной мутностью. Разработанная конструкция позволяет частично осаждать и промывать мутность донных течений. С помощью этой конструкции можно пропускать в нижний бьеф более сгущенные части потока из «озера мутности». В таких случаях концентрация мутности промывного потока иногда достигает 15...20 %.

1. **Гвелесиани Л. Г., Шмальцель Н. П.** Заиление водохранилищ гидроэлектростанций. – М.: Энергия, 1988. – 86 с.
2. Водохранилища мира. – М.: Наука, 1979. – 287 с.
3. **Мамедов А. Ш.** Экологические аспекты эксплуатации горных водохранилищ // Гидротехническое строительство. – 1992. – № 12. – С. 11–12.
4. **Петров Г. Н.** Исследование процессов заиления Нурекского водохранилища на реке Вахш // Гидротехническое

строительство. – 2008. – № 10. – С. 11–15.

5. **Флексер Я. Н.** Промыв водохранилищ и верхних бьефов гидроузлов // Гидротехника и мелиорация. – 1968. – № 3. – С. 20–26.

6. **Волков И. М., Кононенко П. Ф., Федичкин И. К.** Гидротехнические сооружения. – М.: Колос, 1968. – 464 с.

7. **Mamedov A. Sh., Aidi H.** The role water basins in solving environmental problems / Energy, ecology, economy: proceedings of the sixth Baku international congress. – Baku: International Ecoenergy Academy, 2002. – P. 454–455.

8. **Леви И. И.** Теория донных течений в водохранилищах / Известия ВНИИГ. – 1959. – Т. 62. – С. 3–18.

9. **Леви И. И.** Моделирование гидротехнических явлений. – М.: Энергия, 1967. – 345 с.

Материал поступил в редакцию 07.06.10.

Мамедов Ахмед Ширин оглы, кандидат технических наук, заместитель директора

Тел. 430-19-90

E-mail: a.memmedov@sukanal.az