

"Изв. ВНИИГ", т.59. 8. Кумин Д.И. Гидравлический расчет крепления в нижнем бьефе водосбросов. М. - Л., 1956. 9. Леви И.И. Движение речных потоков в нижних бьефах гидротехнических сооружений. М. - Л., 1955. 10. Россинский К.И. Местный размыв речного дна в нижних бьефах крупных гидротехнических сооружений. - В сб.: Проблемы регулирования речного стока. Вып. 6. М., 1956. 11. Сулейменов К.А. Влияние свойств несвязного грунта на размыв за горизонтальным креплением различной шероховатости. - "Изв. АН Каз. ССР. Серия энергетическая", 1962, вып. 2 (22). 12. Diétz J. W. Modellversuche über die Kolkbildung. - "Die Bau-technik", 1973, N 5 und N 7.

УДК. 627.43

Ф.И. Емельянов (канд. техн. наук)

ОПЫТ ЗАМЫВА КАМЕННО-НАБРОСНЫХ ПЛОТИН ПЕСКОМ

Строительство плотин во многих случаях связано с необходимостью замыва и заполнения пустот каменной наброски песчаным грунтом. Это производится с целью создания такого профиля плотины или части его, который бы по фильтрационным свойствам приближался к свойствам песка, а по устойчивости - к каменной наброске.

Показательным является замыв каменной призмы, которая служит основанием верхового клина глинистого понура (рис.1). Ввиду такого положения призмы к качеству ее замыва были предъявлены довольно строгие требования: поры каменной наброски следует тщательно заполнять во избежание просадок, а фильтрация воды через призму не должна превышать фильтрацию в песке. Объем каменной отсыпки - 450 тыс.м³. Призма отсыпана из отборной горной массы, крупностью камней более 150 мм. Количество мелкой фракции каменного материала размером 5 - 20 мм составило 0,8%, а размером 5 - 80 мм - 4,1%, что несколько ниже, чем требовалось по техническим условиям (соответственно 2 и 5%). Высота отсыпки призмы - 9 м, а на участке откоса - 19 м. При такой высоте отсыпки в нижней части вследствие естественной сегрегации отложились более крупные камни, а сверху поры между камнями оказались за-

полненными мелкими фракциями, утрамбованными автотранспортом при подвозке материала. Вскрытие поверхностного уплотненного слоя было произведено перед началом замыва путем выборки шурфов размером около 1х1 м и глубиной 1,4 м в шахматном порядке с шагом 10 м.

Для производства замыва призмы в правобережной ее части до отсыпки камня был построен бетонный колодец с отверстиями в стенах для сбора осветленной воды и откачки ее за пределы плотины.

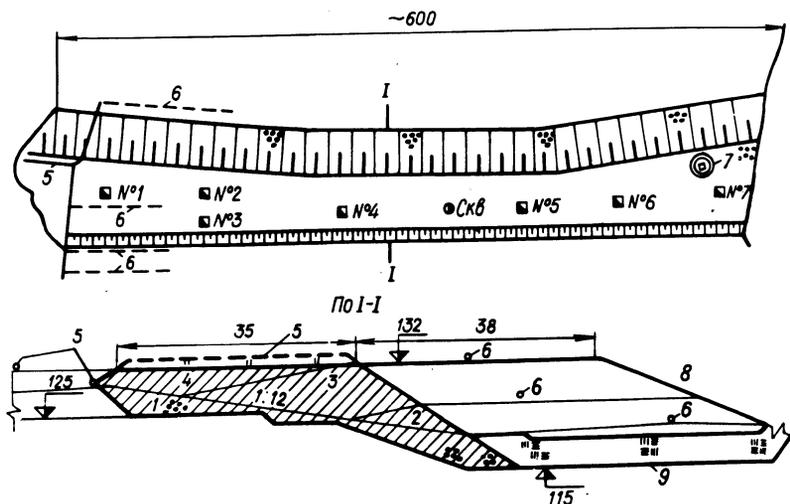


Рис. 1. Схема замыва каменной призмы: 1, 2, 3, 4 – очередность (слои) замыва; 5 – магистральный пульповод; 6 – положения рабочих пульповодов поэтапного замыва; 7 – узел откачки осветленной воды; 8 – резерв песка; 9 – участок понура.

Колодец был оборудован насосной установкой типа 20 Р - 11 и насосами 8 НДВ, смонтированных на двух понтонах. Замыв призмы производился в четыре этапа (рис. 1). Первый — слой намыва производился до выхода песка на низовом откосе призмы на высоту 6 - 7 м. Вышедший за пределы призмы песчаный клин был затем удален, и на границе с первым слоем замыва была уложена часть глинистого понура плотины. Второй и третий слой замыва камня были намыты одновременно с созданием вдоль призмы резерва песка, используемого затем для возведения других частей плотины. Призма резерва песка одновременно служила площадкой для образования уклонов и направления пульпы в каменную наброску. Если бы резерв песка не требовался, то необходимо было бы намыть песчаную приз-

му шириной по гребню не менее 10 м с тем, чтобы направить пульпу в каменную наброску. Четвертый слой намывался сверху через шурфы. Намыв всех слоев производился от левого берега к колодцу, участками длиной по 50–60 м по мере готовности фронта работ. Отверстия в стенках колодца перекрывались по мере выхода сквозь них песка.

Замыв осуществлялся земустановкой типа 2ОР-11 производительностью $3600 \text{ м}^3/\text{ч}$ пульпы при напоре 54 м, являвшейся одновременно четвертой ступенью системы перекачивающих станций, подающих песок из карьера, расположенного за 8 км от строительства.

Основной объем замыва (слои 1, 2, 3) производился с выпуском пульпы через боковые, менее засоренные поверхности, что обеспечивало хорошее поступление песка при значительных уклонах.

Расход пульпы на выходе из пульповода составлял $1 \text{ м}^3/\text{с}$ при концентрации пульпы 15%. Откос замыва по точкам выпуска пульпы и выхода песка в поперечном сечении призмы для слоя 1 формировался заложением 1:12. Для замыва использовался донный песок следующей характеристики: средний диаметр $d_{50} = 0,26 \text{ мм}$, коэффициент фильтрации при объемном весе $1,6 \text{ т}/\text{м}^3$ $K_{\phi} = 17 \text{ м}/\text{сут}$.

Объем песка замыва определялся по объему разработанного грунта в карьере на основании геодезических замеров с учетом поправки на унос до 3% мелкозема с осветленной водой и некоторого (до 3%) разуплотнения песка в намыве против карьерной плотности и составил 158 тыс. м³.

Принимаем коэффициент разрыхления скалы при добыче камня в карьере равным 1,4. Тогда объем пор в каменной призме составит: $450 \times 0,4 = 180 \text{ тыс. м}^3$. Таким образом, теоретически примерно около 12% пустот каменной наброски остались не заполненными. Среднее содержание песка в каменной призме составило 35,2%.

После замыва призмы были произведены исследования по качеству замыва, особенно верхнего слоя, поры которого были заполнены мелкими частицами (каменного материала). С этой целью на поверхности призмы были выработаны семь шурфов глубиной 1,6 – 2,7 м и пройдена одна скважина на глубину 8,45 м (рис. 1). Визуальный осмотр стенок шурфов показал чередование материала. Сверху выделялся слой толщиной 0,5 – 0,8 м уплотненной горной массы с большим количеством мел-

ких фракций, практически непроницаемый для донного песка, ниже — слой толщиной 0,8 — 1,2, состоявший из горной массы, частично замыйтой песком и мелкоземом, часть пор оказалась незаполненной. Ниже этого слоя прослеживается сегрегированный камень, где чистые не забитые мелочью поры полностью были замты песком. Но и в этом слое имелись отдельные пустоты, не замты и не заполненные другим материалом.

Такие пустоты образовались в результате создания сводов из мелких и пылеватых частиц над более крупными камнями еще при отсыпке горной массы. При достаточной энергии потока при замыве большинство таких сводов разрушается и качество замыва улучшается, но полностью этого достигнуть, по-видимому, невозможно. Не замты сферы и отдельные пустоты наблюдались во всех шурфах на различных глубинах.

Влияние энергии потока на качество замыва было установлено на экспериментальной установке путем замыва песком камня в лотке размером 1х1х2 м (рис. 2).

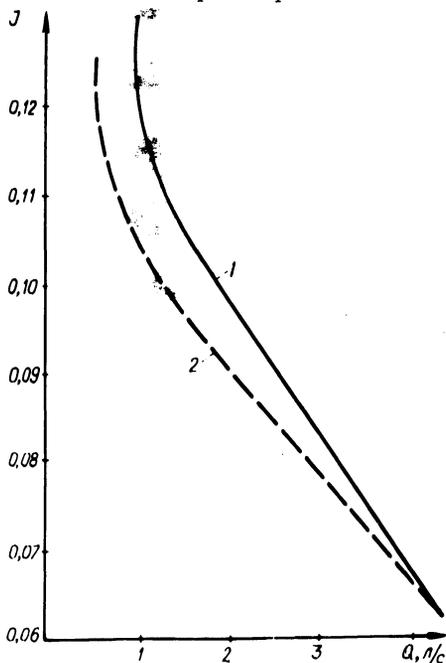


Рис.2. Зависимость влияния расхода пульпы на уклон песка при гидродинамическом способе замыва: 1 — концентрация пульпы 10%; 2 — концентрация пульпы 5%.

Опыты подтверждают, что с увеличением расхода пульпы уклоны отложения песка уменьшаются, транспортирующая способность потока возрастает, а заполнение пор происходит более интенсивно и с наибольшей сплошностью. Одновременно бы-

ло установлено, что концентрация пульпы при значительных уклонах на качество замыва особого влияния не оказывает.

Энергию потока в любом сечении замываемого массива камня можно характеризовать величиной удельной энергии

$$\Theta_y = \gamma q v, \quad (1)$$

где Θ_y - удельная энергия потока; γ - объемный вес пульпы (в среднем равен $1,15 \text{ т/м}^3$); q - единичный расход пульпы; v - скорость потока. При этом

$$q = \frac{Q}{b}, \quad (2)$$

где Q - общий расход потока пульпы; b - ширина замываемой призмы.

Скорость равномерной турбулентной фильтрации, согласно (4), выражается формулой

$$v = c_\phi m \sqrt{DI}, \quad (3)$$

где m - пористость наброски; D - диаметр камня; I - уклон; c_ϕ - скоростной множитель.

По данным экспериментальных исследований [1], для округлых фракций камня (см)

$$c_\phi = 20 - \frac{14}{D}.$$

Для неоднородного каменного материала $c_\phi \approx 17,4$.

Используя приведенные зависимости для наших условий и параметров производства работ, получаем

$$q = \frac{1}{35} = 0,029 \text{ м}^2/\text{с},$$

$$v = 17,4 \cdot 0,4 \sqrt{0,3 I} = 7 \sqrt{0,3 I}.$$

Объективным показателем качества замыва призмы будем считать коэффициент фильтрации, определенный по всем шурфам методом налива воды через установленные трубы диаметром 500 - 800 мм с изоляцией пространства между трубой и стенками шурфов пластичной глиной. При этом участки призмы, где коэффициент фильтрации $k_\phi \leq 20 \text{ м/сут}$ (значение коэффициента фильтрации донного песка), замыты качественно, а при $k_\phi >$

> 20 будет замыв низкого качества. Среднее значение уклона для формулы (3) определится как отношение разности отметок выпуска пульпы и уровня приема осветленной воды в колодце к расстоянию между этими уровнями, т.е.

$$I = \frac{H}{L}, \quad (5)$$

где H – разность отметок выпуска пульпы и приема осветленной воды в колодце; L – расстояние от места выпуска пульпы до колодца.

В качестве расчетных значений расстояний L принимаем расстояния от узла приема и откачки осветленной воды до шурфов, где определялись коэффициенты фильтрации, чтобы установить в этих сечениях энергию потока, при которой производился замыв каменной наброски.

Результаты расчетов и значения коэффициентов фильтрации, определенные в шурфах замьтой каменной наброски, приведены в табл. 1.

Приведенные в табл. 1 значения коэффициентов фильтрации характеризуют водопроницаемость 3 и 4-го слоев, замыв которых производился в условиях движения потока пульпы полностью в наброске, причем уклон потока, а следовательно, и его энергия зависели от расстояния места выпуска пульпы до выхода воды в колодец. По мере удаления места выпуска пульпы от колодца за счет подпора кривой стока воды, создаваемого сопротивлением обтекания камня, энергия потока снижалась (при постоянном расходе), уменьшалось и воздействие на продвижение песка в мелкие поры и разрушение сводов мелкозема над камнями, уклон отложения песка в порах увеличивался.

Из табл. 1 также видно, что наиболее благоприятные (оптимальные) условия замыва оказались при удельной энергии по-

Таблица 1

Номер шурфа	L , м	H , м	I	v , м/с	q , $\frac{T}{м \cdot с}$	\mathcal{E}_y , $\frac{T}{с^2}$	k_f , м/сут
1	520	14	0,026	0,61	0,033	0,020	500
2	435	14	0,032	0,68	"	0,022	167
3	430	14	0,032	0,68	"	0,022	500
4	300	14	0,046	0,77	"	0,025	6,6
Скв	230	14	0,061	0,98	"	0,032	2
5	180	14	0,077	1,12	"	0,037	20,6
6	80	6,5	0,081	1,19	"	0,039	6,4
7	20	3,5	0,17	1,48	"	0,048	250

тока в пределах порядка $0,02 - 0,035 \frac{T}{c}$. Энергии потока

меньше этих пределов оказывается недостаточно для преодоления преград и замыва пор. При удельной энергии потока выше указанных пределов происходит размыв песка и вынос его водой.

Таким образом, в данном случае можно предполагать, что отсутствие регулирования расхода пульпы для изменения энергии потока в зависимости от удаления мест замыва от колодца определяло качество замыва каменной наброски. С поверхности некачественно замытых участков пришлось убирать камень толщиной слоя 2,5 - 3 м и проводить повторный замыв сверху.

Распределение энергии потока пульпы при замыве каменной призмы (№ 2) было улучшено установкой водобросного колодца, расположенного не с краю призмы, а на ее середине. Замыв производился от обоих берегов к середине плотины, где был оставлен не засыпанный камнем зумпф для сбора осветленной воды.

Резюме

Концентрация пульпы при больших уклонах на качество замыва особого влияния не оказывает. Качественный замыв происходит при подаче пульпы через боковую поверхность. Отсыпку каменных плотин, подлежащих замыву, следует производить на всю высоту с последующей уборкой верхнего уплотненного слоя.

Л и т е р а т у р а

1. Избаш С.В., Слиссский П.М., Смоляк А.И. Гидравлические основы замыва каменной наброски песком. - " Гидротехническое строительство", 1961, № 4.

УДК 627.417.4

Е.М. Левкевич (канд. техн. наук), Г.П. Сапожников

ИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ КРЕПЛЕНИЙ ВЕРХОВЫХ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН И БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ БССР

На территории Белорусской ССР имеется большое число искусственных водоемов [1, 2], в том числе более 60 водохранилищ различного назначения [2], прудов рыболовных хозяйств.