УДК 621.22

Курбанова З.А.

ВЛИЯНИЕ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДОСЛИВНЫХ ПЛОТИН НА НЕСКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ НА ВЕЛИЧИНУ РАЗМЫВОВ РУСЛА В НИЖНЕМ БЬЕФЕ

Kurbanova Z.A.

THE INFLUENCE OF SPECIFIC EXPENSES OF SPILLWAY DAM ON NOT ROCK THE BASIS OF THE MAGNITUDE OF THE EROSION OF THE RIVERBED DOWNSTREAM

При выборе удельного расхода плотины, соответствующего минимальной стоимости водосливного фронта плотины, необходимо учитывать возможные изменения уровенного режима вследствие общего размыва русла реки за креплением в нижнем бьефе. Учитывая это обстоятельство, была разработана методика и программа расчета на ЭВМ общего размыва дна русла нижнего бьефа гидроузла в зависимости от удельных расходов плотины. В ходе исследований получены графические и аналитические зависимости влияния удельных экономичных расходов на значения глубины общего размыва за креплением в нижнем бьефе водосливных плотин.

Ключевые слова*: методика, удельный расход, плотина, нижний бьеф, водосливной фронт, зависимости, размывы.*

When you select a specific consumption of the dam, the corresponding minimum Noah value crest front of the dam, it is necessary to take into account possible changes of the water level regime due to a General erosion of the river channel for attaching in the downstream. Considering this circumstance, has developed a methodology and computer program for calculation of total washout of the bottom of the riverbed downstream waterworks depending on the specific consumption of the dam. In the course of the research were graphic and analytical depending on the impact of specific economical expenditure on the depth of the total washout for fastening downstream of the spillway dam.

Key words: *methodology, specific consumption, dam, downstream, front spillway, depending erosion.*

В результате проводимых в последние годы исследований по изучению зависимости удельных экономичных расходов $q_{эк}$ низконапорных водосливных плотин от различных факторов (гидравлические, геометрические, стоимостные) были разработаны методика, алгоритм и программный комплекс *Fixed_weir*для расчета на ЭВМ удельных экономичных расходов низконапорных водосливных плотин на нескальном основании с различными вариантами (по конструкции и материалам) сооружений водосливного фронта [1,2].

По результатам проведенных численных экспериментов на ЭВМ с использованием данного программного комплекса были разработаны рекомендации по определению $q_{эк}$в зависимости от различных исходных параметров, необходимых для проектирования водосливных плотин [3].

Однако, назначая удельные расходы в соответствии с данными рекомендациями, необходимо учитывать, что при этих расходах водный поток может вызывать размывы дна русла в нижнем бьефе плотины. Интенсивные размывы дна за сооружением и перемещение наносов по течению часто приводят к значительному понижению отметок дна реки в начале зоны общего размыва и понижению уровня воды в нижнем бьефе

гидроузла. Такое понижение может привести к снижению надежности, как сооружений нижнего бьефа, так и всего гидроузла, что потребует проектирования более массивного крепления нижнего бьефа и, как следствие, приведет к увеличению стоимости гидроузла.

Учитывая это обстоятельство, была разработана методика и программа расчета на ЭВМ общего размыва дна русла нижнего бьефа гидроузла в зависимости от удельных расходов плотины. Эта программа вошла отдельным блоком в общую программу расчета удельных экономичных расходов водосливных плотин.

Расчет общего размыва русел сложенных однородными несвязными грунтами выполняется конечно-разностным методом [4].

Расчету предшествует схематизация русла и разбивка его на участки протяженностью Δx, равной не менее двух – трех значений ширины русла (рис.1).

Глубина потока и ширина русла в пределах расчетного участка могут быть приняты изменяющимися по линейному закону. Для створов, разграничивающих бьеф на участки, должны быть построены кривые связи $Q = f(z)$, где z– отметки уровней воды, м.

Расчет деформации русла на каждом участке ведется по уравнению баланса наносов:

$$\frac{\rho_г}{\rho_{отл}} \frac{\Delta Q_T}{\Delta x} = h_{бр} \frac{\Delta B}{\Delta t} - B \frac{\Delta z_д}{\Delta t}, \qquad (1)$$

где Q_T – объемный расход наносов, м^3/с; $\rho_г$– плотность материала частиц грунта, кг/м^3; $\rho_{отл}$ –плотность русловых отложений кг/м^3;$h_{бр}$– глубина русла от дна до уровня бровок; $\nabla z_д$–толщина слоя деформации дна, м; ΔB – ширина размыва береговой линии, м, определяемая из соотношения:

$$h_{бр} \frac{\Delta B}{\Delta t} = k_B \frac{Q_T}{B}, \qquad (2)$$

где k_B–коэффициент, определяемый в зависимости от вида грунтов [4].

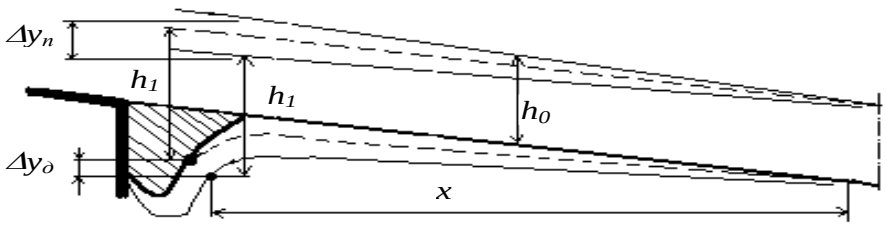

Рисунок 1 - Расчетная схема распространения общего размыва русла

В руслах, образованных разнозернистым несвязным материалом с коэффициентом однородности $k_0 = d_{ср} / d_{95} \geq 0{,}6$, деформации дна и размывы его, сопровождаемые выносом всех фракций, происходят до тех пор, пока скорость vне достигнет значения $v_{н.доп}$, при которой в поверхностном слое русла прекращается движение крупных частиц и они начинают отмащивать размываемую поверхность. Расчет деформации русел, сложенных разнозернистым грунтом, разбивают на два этапа:

- 1-й этап – расчет предельного размыва русла до образования естественной отмостки его крупными фракциями грунта с использованием формул допускаемой неразмывающей скорости $v_{н.доп}$ и среднего диаметра отмостки $D_{отм}$; в качестве расчетного расхода потока Q принимается руслоформирующий расход $Q_{рф}$ или расход, соответствующий пропускной способности гидроузла.

Допускаемую неразмывающую скорость для неоднородных грунтов можно определить по формуле Магомедовой А.В. [4].

$$\upsilon_{н.доп} = \lg\left(\frac{8{,}8h}{d_{95}}\right)\sqrt{\frac{2gm_1}{0{,}44\rho_0 n_1}(\rho_г - \rho_0)D_{отм}}\,, \qquad (3)$$

где d_{95} – диаметр крупных частиц, определяющий шероховатость русла; m_1 – коэффициент условий работы, n_1 – коэффициент перегрузки; ρ_0 и $\rho_г$ – плотность воды и материала частиц грунта.

Средний диаметр отмостки можно определить по формуле Магомедовой А.В. [4]:

$$D_{отм} = d_{ср} + \frac{h_{доп}(1-k_0)(1-P_{d.ср})}{1+(0{,}95-P_{d.ср})h_{доп}/d_{95}}\,, \qquad (4)$$

$d_{ср}$ – средневзвешенный диаметр частиц, слагающего русло до начала размыва; $P_{d.ср}$ –ордината интегральной гранулометрической кривой исходного грунта (в долях единицы).

По результатам вычислений предельной глубины размыва $h_{пр}$ для каждого из расчетных створов строится продольный профиль русла, являющийся границей возможного распространения размывов при выполнении расчетов 2-го этапа.

• 2-й этап – последовательный расчет хода трансформации русла по уравнению баланса наносов (1) от его исходного состояния до достижения предельной глубины размыва $h_{пр}$, найденной на 1-м этапе расчета.

На предварительных стадиях проектирования, а также при ограниченной исходной информации о морфометрии русла, составе наносов и твердом стоке расчет общего размыва может быть осуществлен по приближенному методу И.И. Леви [5]. В основе расчета лежит уравнение баланса наносов (1) без учета размыва берегов:

$$\frac{\rho_{отл}}{\rho_г}\Delta W = Q_{T0}\Delta t\,, \qquad (5)$$

где ΔW – объем грунта, размытого за время Δt; Q_{T0} – транспортирующая способность потока за пределами зоны общего размыва, где движение предполагается равномерным, а насыщение потока наносами – соответствующим транспортирующей способности.

Исходное русло нижнего бьефа схематизируется в виде призматического канала шириной B, назначаемой по имеющемуся картографическому материалу. Уклон дна i_0 назначается из соображений равенства нормальной глубины потока $h_н$ ниже участка размыва средней бытовой глубине при руслоформирующем расходе $Q_{рф}$.

Объем размыва, распространяющегося к моменту времени Δt, исчисленному с момента пуска гидроузла в эксплуатацию, до створа, удаленного от гидроузла на расстояние x, определяется выражением

$$\Delta W = \frac{B}{2}\left[(h_0 - h_н)(x - x_1) + \Delta y_n x\right], \qquad (6)$$

где $h_0 = Q_{рф}/(B\upsilon_н)$ – глубина, соответствующая предельной неразмывающей скорости потока $V_{н.доп}$; x_1 – длина участка местного размыва, принимаемая при отсутствии точных данных равной 200-500 м; Δy_n – понижение уровня воды в створе гидроузла.

Задаваясь протяженностью участка общего размыва x, определяют ΔW по формуле (6); время Δt, необходимое для размыва, определяется подстановкой ΔW в уравнение баланса наносов (5).

В основе расчетов трансформации русла в нижнем бьефе по формуле (1) лежит определение расхода наносов Q_T. В зависимости от вида движения наносов в потоке они могут подразделяться на, придонные и взвешенные. Расход придонных наносов и общий расход руслоформирующих наносов могут быть вычислены по методике, разработанной на кафедре гидротехнических сооружений ДГТУ [6] или по формулам других авторов [4].

Алгоритм расчета общего размыва русла и понижения уровня воды в нижнем бьефе реализован в подпрограмме *NB_SCOUR.*

Пользуясь разработанным программным комплексом, были проведены численные эксперименты на ЭВМ по изучению зависимости общего размыва дна русла и понижения уровня воды в нижнем бьефе от удельных сбросных расходов водосливной плотины.

Численные эксперименты были проведены для следующих расчетных случаев:

1. Расчетный сбросной расход водосливной плотины принимался равным, Q_p = 1000 м^3/с.

2. Глубина воды в нижнем бьефе $h_н$ принималась равной 1, 3 и 5 м.

3. Напор на сооружении Z менялся от 1 м до 10 м.

4. Коэффициенты заложения верхового и низового откосов земляной плотины, примыкающей к водосливной, принимались соответственно m_1 = 3 и m_2 = 2,5.

5. Коэффициент ширины основания водосливной плотины $\kappa_{пл}$ = 1,7.

Расчеты производились для среднезернистых по гранулометрическому составу грунтов.

Для расчетного случая $h_н$ = 1м и вышеуказанных остальных параметрах рекомендуемые значения $q_{эк}$ лежат в пределах от 1,9 до 6,6 м^2/с [3].

В результате проведенных численных экспериментов на ЭВМ было установлено, что с изменением $q_{эк}$ в вышеуказанных пределах величина общего размыва меняется от 0,96 до 4,94 м. В целом значения общего размыва h_p изменяются в зависимости от $q_{эк}$ по степенной зависимости:

$$h_p = 0{,}46 q_{эк}^{1{,}27}. \qquad (7)$$

Для расчетного случая $h_н$ = 3м и вышеуказанных остальных параметрах значения $q_{эк}$ лежат в пределах от 5.1 до 9,4 м^2/с. В результате проведенных численных экспериментов на ЭВМ было установлено, что значения h_p с увеличением $q_{эк}$ также возрастают по степенной зависимости

$$h_p = 0{,}04 q_{эк}^{2{,}12}. \qquad (8)$$

Таблица 1 - Значения глубины общего размыва от удельных экономичных расходов

$h_н$=1 м		$h_н$=3 м		$h_н$=5 м	
qэк	*hp*	*qэк*	*hp*	*qэк*	*hp*
1,9	0,96	6,0	1,92	15,2	7,68
2,7	1,69	4,7	0,96	11,8	5,0
3,1	2,03	5,1	1,28	10,3	3,88
3,6	2,41	5,9	1,92	9,6	3,37
4,2	2,92	6,5	2,33	8,9	2,73
5,3	3,88	7,4	3,0	8,3	2,28
5,2	3,78	8,2	3,49	8,1	2,14
6,1	4,49	8,8	4,03	7,4	1,6
6,8	5,06	8,7	3,98	8,4	2,43
6,6	4,94	9,4	4,46	8,6	2,58

Для случая, когда глубина воды в нижнем бьефе равна $h_н$ = 5 м. При пропуске через водослив удельных расходов $q_{эк}$= 7,4 – 8,1м^2/с глубина общего размыва за плотиной достигает значений от 1,6 до 7,68 м (табл. 1) и меняются по степенной зависимости

$$h_p = 0{,}02 q_{эк}^{2,32} \quad (9)$$

На рис. 2 приведены графики зависимости $h_p = f(q_{эк})$ для расчетного расхода Q_p = 1000 м^3/с и глубин воды в нижнем бьефе $h_н$ = 1, 2 и 5 м, которые дают наглядную картину влияния удельных экономичных расходов на значения глубины общего размыва за креплением в нижнем бьефе водосливных плотин.

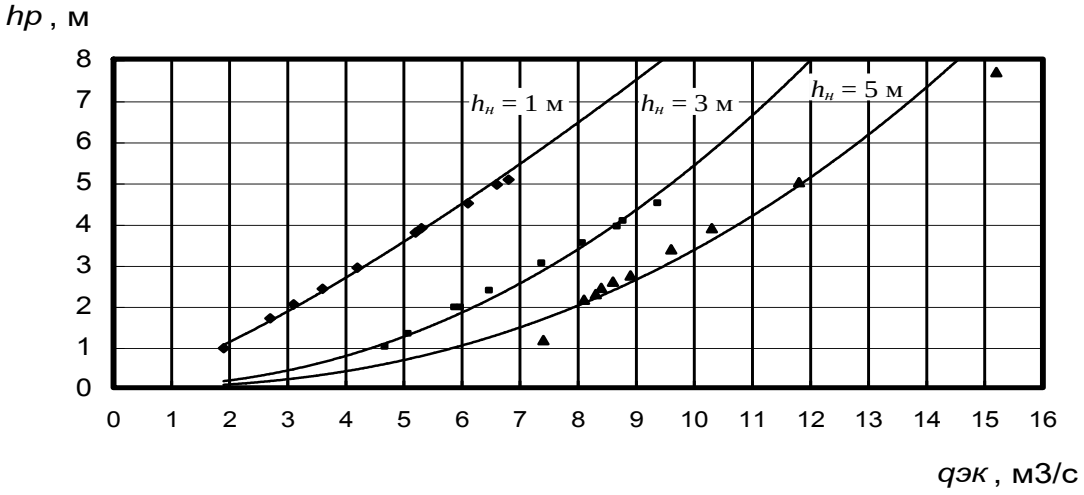

Рисунок 2 -Графики зависимости глубины общего размыва от удельных экономичных расходов для среднезернистых грунтов

Получены также графические зависимости отношения фактической скорости и ;устимой неразмывающей скорости $\upsilon_ф / \upsilon_н$ от величины удельного экономичного :ода $q_{эк}$ также для среднезернистых по гранулометрическому составу грунтов (рис. 3).

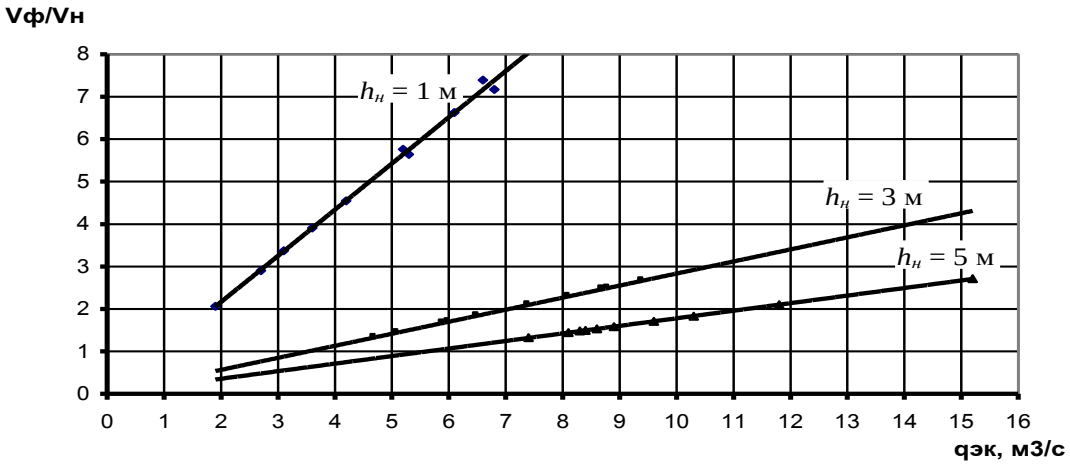

Рисунок 3 - Графики зависимости отношения фактической скорости и допустимой неразмывающей скорости $\upsilon_ф / \upsilon_н$ от величины удельного экономичного расхода $q_{эк}$ для среднезернистых грунтов

Для расчетного случая $h_н$ = 1м и вышеуказанных остальных параметрах зависимость $\upsilon_ф / \upsilon_н = f(q_{эк})$ описывается формулой:

$$\upsilon_ф / \upsilon_н = 1{,}1 q_{эк}^{1{,}003}. \quad (10)$$

Для расчетного случая $h_н$ = 3м

$$h_р = 0{,}28 q_{эк}^{1{,}002}. \quad (11)$$

Для расчетного случая $h_н$ = 5м

$$h_р = 0{,}18 q_{эк}^{1{,}0016}. \quad (12)$$

Необходимо отметить, что полученные результаты исследований имеют практическое значение при проектировании водозаборных гидроузлов, в состав которых входит водосливная плотина. Назначая на предпроектной стадии проектирования удельные экономичные расходы $q_{эк}$ водосливных плотин, можно, пользуясь полученными графическими зависимостями и формулам, а также разработанным программным комплексом для ЭВМ, прогнозировать величины местных и общих размывов в нижнем бьефе плотины.

Библиографический список:

1. Курбанова З.А. Методика и программный комплекс для расчетов оптимальных параметров сооружений водосливного фронта низконапорных водосливных плотин /З.А. Курбанова, И.А-Г. Сулейманов, А.В. Магомедова // Вестник ДГТУ – 2010. – №17. – С. 52-60.
2. Курбанова З.А. Зависимость удельных расходов бетонных низконапорных водосливных плотин от различных факторов. // Вестник ДГТУ - 2012. – №25. – С. 79-85.
3. Курбанова З.А. Математическое и компьютерное моделирование экономичного профиля водосливного фронта плотин на нескальном основании: монография. - Махачкала: ИПЭ РД «Эко-пресс», 2012. – 132 с.
4. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений. //Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 624 с.
5. Рекомендации по расчету местных размывов русел, сложенных из нескальных грунтов, за креплениями средненапорных водосливных плотин. II-90-80.– Л.: ВНИИГ, 1981. – 39 с.
6. Магомедова А.В., Сулейманов И.А-Г., Курбанова З.А., Гусейнова М.Р. Гидравлический расчет на ЭВМ гидротехнических сооружений. //Учебное пособие. ДГТУ. – Махачкала, 2005. – 174 с.