

7. Eichhorn K., Binder K.J. Monte Carlo investigation of the three-dimensional random-field three-state Potts model // *Phys.: Condens. Matter*. 1996. V. 8. P. 5209.
8. Murtazaev A.K., Babaev A.B. Critical properties of the three-dimensional Ising model with quenched disorder // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2009. V. 321. P. 2630.
9. Murtazaev A.K., Babaev A.B. Phase transitions and critical phenomena in a three-dimensional site-diluted Potts model // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2012. V. 324. P. 3870.
10. Муртазаев А.К., Бабаев А.Б. Трикритическая точка трехмерной модели Поттса ($q=4$) с замороженным немагнитным беспорядком // *Письма ЖЭТФ*. 2014. Т. 99. С. 618.
11. Loison D., Schotte K.D. First and second order transition in frustrated XY systems // *The European Physical Journal B*. 1998. V. 5. P. 735.
12. Peczac P., Ferrenberg A.M., Landau D.P. High-accuracy Monte Carlo study of the three-dimensional classical Heisenberg ferromagnet // *Phys.Rev. B*. 1991. V. 43. P. 6087.
13. Муртазаев А.К., Бабаев А.Б., Магомедов М.А., Касан-Оглу Ф.А., Прошкин А.И. Фрустрации и фазовые переходы в трехвершинной модели Поттса на треугольной решетке с взаимодействиями вторых ближайших соседей // *Письма ЖЭТФ*. 2014. Т. 100. С. 267.
14. Murtazaev A.K., Babaev A. B., Kassar-Ogly F.A. The investigation of phase transitions in two-dimensional 3-state antiferromagnetic Potts model on a triangular lattice with interaction of next nearest neighbors // *Solid State Phenomena*. 2014. V. 215. P. 52.

УДК 621.22

Курбанова З.А.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЧИСЛЕННЫЙ
ЭКСПЕРИМЕНТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА
СООРУЖЕНИЙ ВОДОСЛИВНОГО ФРОНТА ПЛОТИНЫ НА
ЗНАЧЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ РАСХОДОВ**

Kurbanova Z.A.

**COMPUTER MODELING AND NUMERICAL EXPERIMENT TO STUDY
THE INFLUENCE OF COMPOSITION STRUCTURES
SPILLWAY FRONT OF A DAM ON THE VALUE OF THE SPECIFIC
EXPENSES**

Из-за отсутствия в нормативных документах методик и рекомендаций для определения удельных экономических расходов водосливных плотин, с уче-

том всех сопутствующих сооружений флютбета, в проектной практике используется упрощенный и приближенный метод вариантного проектирования. В результате исследований получены графические зависимости стоимости от удельных экономических расходов низконапорных водосливных плотин на не скальном основании при различном составе сооружений.

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

Because of absence in normative documents of techniques and recommendations for definition of specific economic expenses of overflow dams, taking into account all accompanying constructions of a flutbett, in design practice the simplified and approximate method of alternative design is used. As a result of researches graphic dependences of cost on specific economic expenses of low pressure overflow dams on not rocky basis at various structure of constructions are received.

Key words: method, specific expenses, dam, low reach, drain front, dependences.

Известно, что существует зависимость между удельными расходами водосливной плотины и стоимостью сооружений водосливного фронта. При проектировании водосливных плотин удельные расходы подбирают таким образом, чтобы стоимость сооружений водосливного фронта была наименьшей (CT_{\min}). Удельные расходы, соответствующие CT_{\min} , называют экономическими $q_{\text{эк}}$.

Задача определения удельных расходов является гидравлично-экономической задачей, так как от правильности и точности назначения $q_{\text{эк}}$, а, следовательно, и размеров сооружений водосливного фронта, зависит стоимость всего гидроузла.

Вопрос определения удельных расходов водосливных плотин в настоящее время слабо изучен, что отражается на практическом отсутствии соответствующих точных методик и рекомендаций по определению $q_{\text{эк}}$. Имеются лишь упрощенные методы выбора значения $q_{\text{эк}}$, которые дают весьма приближенные значения удельных расходов. Наиболее распространенной методикой по определению $q_{\text{эк}}$, получившей признание во многих НИИ страны является методика, предложенная Р.Р. Чугаевым [1].

Она основана на зависимости суммарной стоимости единовременных затрат тела плотины и устройств нижнего бьефа (CT) от удельных расходов водосливных плотин (q).

$$CT = f(q) \quad (1)$$

Однако, сам автор указывает на то, что минимум кривой $CT = f(q)$ часто выражен слабо и значение CT в районе данного минимума с изменением q ,

«изменяется весьма мало» [1]. Кроме того, сам процесс расчета $q_{эж}$ достаточно трудоемкий, включает в себя большое количество итерационных расчетов и чаще всего при «ручном» счете не обеспечивается достаточная точность полученных результатов.

Учитывая данные обстоятельства, расчетные значения удельных расходов водосливных плотин назначают на основании данных практики и рекомендаций. Так в литературных источниках рекомендуется назначать $q_{эж} = 15 \div 25 \text{ м}^3/(\text{с.м})$ для низконапорных плотин и $25 \div 75 \text{ м}^3/(\text{с.м})$ - для средненапорных плотин [1]. Давая данные рекомендации, при этом не конкретизируется для каких рек по величине расчетного расхода (Q_p), каких напоров (Z), каких конкретно грунтов основания плотины (K) и т.д. справедливы данные рекомендации. Кроме того, на значения $q_{эж}$ влияют такие факторы, как характеристика грунта основания плотины, коэффициенты заложения верхового m_1 и низового m_2 откосов земляной плотины, примыкающей к водосливной.

Для выявления степени влияния различных факторов на величину удельного экономического расхода были разработаны: методика, алгоритм и программа расчета на ЭВМ удельных экономических расходов низконапорных водосливных плотин на нескальном основании с различными вариантами (по конструкции и материалам) сооружений водосливного фронта [2,3].

В основу данной методики положена классическая теория сопряжения бьефов с затопленным гидравлическим прыжком на водобое [2,3]. В качестве исходной модели взята водосливная плотина с водобойным колодцем и рисбермой. Перед плотиной предусмотрен бетонный понур. По обе стороны водосливной фронт ограничен стенами – устоями. За рисбермой учитывается яма размыва с концевым креплением и общее понижение дна нижнего бьефа за креплением русла.

Программа расчета состоит из следующих модулей – подпрограмм: гидравлический расчет водосливной плотины с водобойным колодцем; расчет рисбермы; расчет ямы размыва и концевого крепления; установление размеров водосливной плотины, водобоя, сборной рисбермы; отметок по высоте и т. д.; определение объемов работ по флютбету и стенам-устоям; определение объемов земляных работ в котлованах под флютбетом, под стенами-устоями и земляных работ по приращиваемой части земляной плотины, примыкающей к водосливной; определение объемов по обратному фильтру, креплению ямы размыва и концевому креплению; определение конкретной стоимости (в рублях) бетонных, земляных и каменных работ отдельно по каждому сооружению водосливного фронта и суммарной стоимости.

Расчетная модель водосливной плотины принята практического профиля с параметрами, наиболее часто встречающимися в практике проектирования и строительства. Ширина основания плотины принята равной $\kappa H_{нл}$, где κ – коэффициент, учитывающий вид грунта основания, принят как среднее значение между $\kappa=1,25-2,5$ и $H_{нл}$ – высота бетонной водосливной плотины от основания до гребня водослива.

Минимальное значение удельных расходов на водосливе регулируемой части плотины принимается равной удельному расходу воды в реке в естественном состоянии, при прохождении паводка, соответствующего особому случаю, т.е.

$$q = VH_n \quad (2)$$

Боковые стены – устои в продольном направлении повторяют профиль земляной плотины до сопряжения со стеной водобойного колодца, верх которой на 1,5 м выше уровня нижнего бьефа (принято без расчета возможной высоты волн).

В данных исследованиях дается расчет стен-устоев трех типов: полумассивные F-образного вида, железобетонные, такого же вида, и ячеистые. Поперечный профиль стен-устоев принят таких размеров, при котором стены устойчивы при любом сочетании действующих на них нагрузок.

В программе отдельными блоками дается расчет водобойной плиты, водобойного колодца и водобойной стенки. Выбор типа гасителя энергии производится в зависимости от типа сопряжения струи потока. Ширина водобойного колодца равна ширине водосливной плотины. Толщина плотины водобоя определяется на основе ее гидравлического расчета, с учетом устойчивости ее на всплывание.

Рисберма рассчитывается двух типов: сборная рисберма, выполненная из бетонных плит и рисберма, выполненная из каменной наброски. Расчет сборной рисбермы с подбором толщины плит в ее начале и в конце, производится по формулам и зависимостям С.А. Кадомского, Д.И. Кумина и Н.А. Преображенского. Расчет рисбермы, выполненной из каменной наброски, заключается в определении диаметра камня наброски из условия устойчивости его на размыв. Ширина рисбермы в ее начале принимается равной ширине водобоя, в конце она расширяется в обе стороны на угол $\beta = 12^\circ$. Под рисбермой по всей длине предусмотрен обратный фильтр.

Нижний бьеф надлежит рассчитывать как систему, включающую вышеперечисленные устройства и учитывающую местный и общий размывы ее русла [4]. В данных исследованиях расчет глубины местного размыва производится с учетом гранулометрического состава грунтов, слагающих русло. В программе отдельным блоком дается подпрограмма расчета гранулометрического состава грунтов.

Данная методика гидравлического расчета удельных экономичных расходов и соответственно оптимальных параметров водосливной плотины включает следующие пункты расчета:

- гидравлический расчет однопролетной и многопролетной водосливной плотины, который заключается в определении количества и ширины водосливных отверстий, геометрических размеров плотины (высота плотины и ширина водосливного фронта плотины);

- расчет сопряжения бьефов за водосливной плотиной, который заключается в определении сопряженных глубин в нижнем бьефе и типа сопряжения бьефов;

- гидравлический расчет гасителей энергии (водобойной плиты, водобойной плиты с реактивными гасителями, водобойного колодца, водобойной стенки и комбинированного водобойного колодца). Выбор того или иного гасителя энергии производится из условия сопряжения бьефов из технико-экономических соображений;

- расчет рисбермы, который заключается в определении размеров плит крепления и общей длины рисбермы. При расчете рисбермы из каменной наброски определяется диаметр камня наброски, из условий устойчивости его на размыв.

Выбор типа крепления рисбермы (бетонные плиты, каменная наброска) выполняются из условия допустимых скоростей потока на рисберме;

- расчет концевого крепления, который заключается в определении глубины ямы размыва, диаметра камня ковша и высоты стенки зуба;

- расчет стен-устоев различных конструкций: полумассивных бетонных Г-образного типа, железобетонных и ячеистых. Расчет включает в себя определение геометрических размеров устоев заданной конструкции, их объемов и стоимости;

- определение объемов работ по плотине и сооружениям водосливного фронта;

- расчет стоимости плотины и сооружений водосливного фронта.

Программный комплекс *Fixed_weir* состоит из следующих модулей – подпрограмм: гидравлический расчет водосливной плотины с водобойным колодцем; расчет рисбермы; расчет ямы размыва и концевого крепления; установление размеров водосливной плотины, водобоя, сборной рисбермы; отметок по высоте и т. д.; определение объемов работ по флютбету и стенам-устоям; определение объемов земляных работ в котлованах под флютбетом, под стенами-устоями и земляных работ по приращиваемой части земляной плотины, примыкающей к водосливной; определение объемов по обратному фильтру, креплению ямы размыва и концевому креплению; определение конкретной стоимости в рублях бетонных, земляных и каменных работ отдельно по каждому сооружению водосливного фронта и суммарной стоимости.

Программный комплекс имеет модульную структуру, позволяющую включать и исключать из расчетов отдельные сооружения, входящие в водосливной фронт, а также выбирать различные типы и конструкции сооружений. Комплекс состоит из 31 основных и 6 вспомогательных процедур: подпрограмм, модулей и функций.

Входными данными комплекса являются: признаки счета; расчетный расход и ширина реки; размеры массивов уровней верхнего и нижнего бьефов, и удельных расходов; стоимости строительных материалов; гранулометрический состав русловых отложений, а также дополнительные данные для характеристики сооружений и русла реки.

Выходными данными являются: гидравлические параметры водослива и нижнего бьефа; геометрические размеры сооружений водосливного фронта; геометрические параметры стен-устоев; объемы бетонных и земляных работ; стоимость сооружений водосливного фронта; характеристики потока и русла в нижнем бьефе до и после размыва.

Как указывалось выше, разработанный программный комплекс имеет модульную структуру, что позволяет исключать из состава водосливного фронта и соответственно расчетов то или иное сооружение, менять его тип, конструкцию и производить расчеты $q_{эк}$ для различных вариантов исходных данных.

По плану проведения численных экспериментов были предусмотрены варианты расчетов, включающие следующий состав сооружений:

- однопролетная водосливная плотина, водобой, бетонная рисберма и приращиваемая часть земляной плотины;
- однопролетная плотина, водобой, бетонная рисберма, бетонные стены-устои и приращиваемая часть земляной плотины;
- многопролетная водосливная плотина, водобой, бетонная рисберма, бетонные стены-устои и приращиваемая часть земляной плотины;
- многопролетная водосливная плотина, водобой, рисберма, выполненная из каменной наброски, концевое крепление, бетонные стены-устои и приращиваемая часть земляной плотины.

Расчеты производились для следующих сочетаний исходных данных: расчетный сбросной расход Q_p принимался равным 100 и 1000 м³/с; геометрический перепад Z – 5 и 10 м; глубина воды в нижнем бьефе h_n принималась равной 3 и 5 м; коэффициент ширины основания $\kappa_{н.л.} = 1,5$; коэффициенты откосов земляной плотины $m_1 = 3$ и $m_2 = 2,5$.

Результаты анализа численных экспериментов оформлены в виде графиков (рис. 1) и в табличной форме (табл.1). На рисунке 1 показаны графики зависимости $CT = f(q)$ при различном составе сооружений водосливного фронта для следующих исходных данных: $Q_p = 100$ и 1000 м³/с, $Z = 5$ м, $h_n = 3$ м.

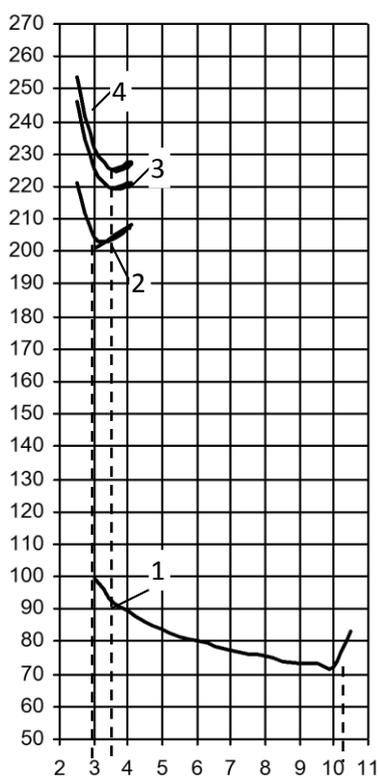
Анализ результатов численных экспериментов показал, что введение в расчеты различного состава сооружений и их конструкций, безусловно, приводит к изменению суммарной стоимости объекта, однако на значение удельных экономических расходов их влияние не однозначно. Влияние стен-устоев на величину $q_{эк}$ сказывается в большей мере при $Q_p \rightarrow 0$. Например, для расчетного варианта расхода $Q_p = 1000$ м³/с, $Z = 5$ м и $h_n = 3$ м при введении в расчеты стен-устоев, величина $q_{эк}$ уменьшается всего на 20 %. При этом стоимость объекта увеличивается на 22 %. Для расчетного варианта $Q_p = 100$ м³/с и аналогичных остальных значениях $q_{эк}$ уменьшается в 3 раза, стоимость объекта соответственно возрастает более чем в 3 раза (табл.1).

Таблица 1 - Расчетные значения $q_{эк}$ при различном составе сооружений водосливного фронта

Вариант расчета	$Q_p = 100 \text{ м}^3/\text{с}, h_n = 3 \text{ м}$				$Q_p = 1000 \text{ м}^3/\text{с}, h_n = 3 \text{ м}$			
	Z = 5 м	%	Z = 10 м	%	Z = 5 м	%	Z = 10 м	%
Плотина, водобой, бетонная рисберма	10,3	70	10,4	70	10,3	20	10,4	0
С учетом стен - устоев	3,1		3,0		8,3		10,4	
С учетом многопролетной плотины	3,5	12	3,0	0	9,6	4	10,2	0
С учетом концевого крепления	3,5	0	3,0	0	9,6	0	10,2	0
С учетом многопролетной плотины	3,5	0	3,0	0	9,6	0	10,2	0
С учетом концевого крепления	3,5	0	3,0	0	9,6	0	10,2	0

а)

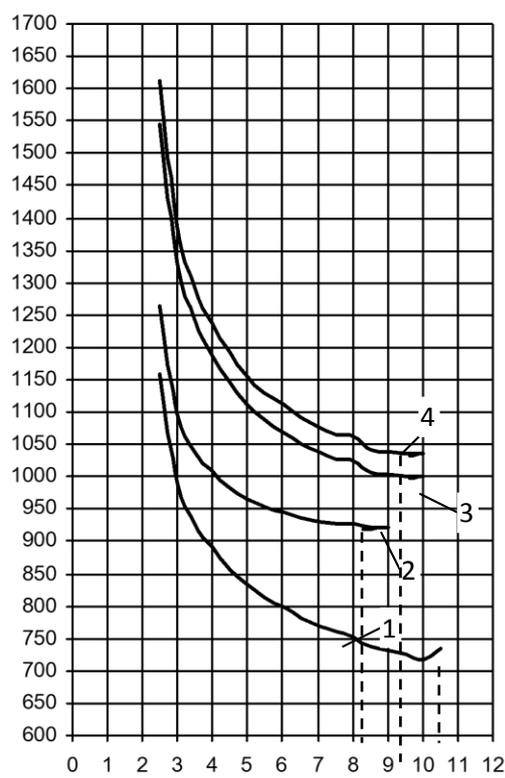
СТ, т.руб



q, м²/с

б)

СТ, т.руб



q, м²/с

Рисунок 1 - Графики зависимости $СТ = f(q)$ при различном составе сооружений: а – для расчетного варианта $Q_p = 100 \text{ м}^3/\text{с}, Z = 5 \text{ м}$ и $h_n = 3 \text{ м}$; б – для расчетного варианта $Q_p = 1000 \text{ м}^3/\text{с}, Z = 5 \text{ м}$ и $h_n = 3 \text{ м}$

1 – однопролетная водосливная плотина, водобой, рисберма; 2 – однопролетная водосливная плотина, водобой, бетонная рисберма, бетонные стены-устои; 3 – многопролетная водосливная плотина, водобой, бетонные стены-устои, бетонная рисберма; 4 – многопролетная водосливная плотина, водобой, бетонные стены-устои, каменная рисберма и концевое крепление.

Замена в расчетной схеме однопролетной плотины на многопролетную, приводит к незначительному увеличению удельных экономических расходов, а введение в расчеты концевого крепления практически не влияет на значение $q_{эк}$. Это наглядно видно на рисунке 1.

Вывод. На основании результатов проведенного анализа можно сделать вывод, что на значение удельных экономических расходов наиболее существенное влияние оказывают только стены-устои.

Библиографический список:

1. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. В 2 ч. Водосливные плотины. – М., 1985.
2. 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.
3. Курбанова З.А. Зависимость удельных расходов бетонных низконапорных водосливных плотин от различных факторов. // Вестник ДГТУ - 2012. – №25. – С. 79-85.
4. Курбанова З.А. Влияние удельных расходов водосливных плотин на не скальном основании на величину размывов русла в нижнем бьефе. // Вестник ДГТУ - 2013. – №29. – С. 65-70.

УДК 556.536:631.4

Магомедова М.Р.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АВТОРСКОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТА МИНЕРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ

Magomedova M.R.

PRACTICAL APPLICATION OF AUTHOR'S MODEL TRANSPORT OF MINERAL PARTICLES

В данной статье даны результаты сопоставления математической модели движения наносов в руслах рек и каналов. Выполненный сопоставительный анализ существующих методов определения расхода наносов на