

уклонах. Поэтому монтажникам нужно применять соответствующие страховочные меры для исключения самопроизвольного перемещения платформы с оборудованием.

Библиографический список:

1. Проспект монтажного оборудования швейцарской фирмы «LKS AG» Luftkissensysteme AG. URL: <http://www.lks.ch> (дата обращения 21.08.2013).
2. Патент US 3108698 A (США); опубл. 29.10.1963.
3. Патент GB N 1021040 A (Великобритания); опубл. 23.02.1966.
4. Патент RU 2271290 C2, МПК В60V 1/100; В60V 3/04. Опора с несущей поверхностью для перемещения платформы на воздушной подушке / Федоров В.Т.; приоритет 20.04.2004.
5. European patent N 1747157 C2, МПК В60V 1/100; Auflager mit Tragflaeche zum Bewegen einer Plattform auf einem Luftkissen / Fedorov V.T.; Airglide Technologies AG (CH); 03.09.2008.

References:

1. The prospect of mounting equipment of the Swiss company "LKS AG Luftkissensysteme AG. URL: <http://www.lks.ch> (accessed 21.08.2013).
2. Patent, US3108698(USA); publ. 29.10.1963.
3. The patent GB N 1021040 A (UK); publ. 23.02.1966.
4. Patent RU 2271290 C2, IPC B60V 1/100; B60V 3/04. Bearing with carrier in the surface to move the air cushion platform, Fedorov V. T.; priority 20.04.2004.
5. European patent N 1747157 C2, IPC B60V 1/100; Tragflaeche mit Auflager zum Bewegen einer Plattform auf einem Luftkissen, Fedorov V. T.; Airglide Technologies AG (CH); 03.09.2008.

УДК 621.22

Курбанова З.А.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ВОДОСЛИВНОГО ФРОНТА ПЛОТИНЫ НА НЕСКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

Kurbanova Z.A.

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR THE CALCULATION OF THE OPTIMUM PROFILE OF THE WATER DRAIN FRONT OF THE DAM ON OF NON-ROCK FOUNDATION

Аннотация. Одной из основных задач, решаемых при проектировании низконапорных водосливных плотин на не скальных основаниях, является проектирование оптимального профиля водосливного фронта, имеющего мини-

мальную стоимость. Трудоемкость ручного расчета водосливного профиля плотины, требует создания инструментальных средств расчета. Это позволит сократить время проектирования, и облегчить труд проектировщика. Разработанный программный комплекс имеет практическую ценность и может широко использоваться в практике проектирования водосливных плотин на скальном основании.

Ключевые слова: плотина, водосливной фронт, удельный расход, алгоритм, программный комплекс.

Abstract. One of the main tasks solved when designing low-pressure spillway dams on non-rock foundations, is the design of an optimal profile of the front spillway with the lowest price. The complexity of manual calculation of a spillway profile of the dam. Require's work the establishment of calculation tools. It will reduce design time and facilitate are designer's. The developed program complex has practical value and can be widely used in the design practice of weirs on non-rock foundation.

Key words: the dam, spillway front, specific expenses algorithm, software complex.

Введение. Одной из основных задач, решаемых при проектировании низконапорных водосливных плотин на скальных основаниях, является обеспечение наиболее экономичного водосливного фронта плотины, включающего саму плотину и сооружения нижнего бьефа.

Постановка задачи. Решение этой задачи основывается на учете зависимости между удельными расходами воды q и стоимостью сооружений водосливного фронта CT . Удельные расходы, соответствующие минимуму функции

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

называют удельными экономичными расходами $q_{эк}$.

Использование их при проектировании водосливных плотин позволяет проектировать водосливной фронт плотины, имеющий минимальную стоимость.

При ручном счете строится график зависимости между удельными расходами и стоимостью сооружения, по которому определяют такое значение q , которому соответствует минимальная стоимость (минимум кривой на рис. 1).

При выборе экономически целесообразного значения q рассматривают несколько вариантов плотины, проектируемой на различные удельные расходы.

При проектировании различных вариантов плотины задаются минимальным значением удельного расхода q_{min} .

В качестве такого минимального удельного расхода обычно принимают удельный расход на стрежне реки ($q_{естmax}$) в естественном ее состоянии при расходе Q_{max} [1,2]:

$$q_{min} = q_{естmax}, \quad (2)$$

$$q_{естmax} = \beta v h_{max}, \quad (3)$$

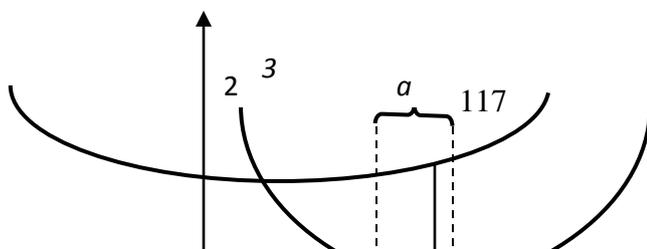


Рисунок 1 - Зависимость стоимости СТ устройств нижнего бьефа (1), водосбросного сооружения (2) и их общей стоимости (3) от удельного расхода: *a* – зона оптимальных удельных расходов

где h_{\max} – глубина воды на стрежне реки в естественном состоянии;
 v – средняя скорость для всего живого сечения:

$$v = Q_{\max} / \omega, \tag{4}$$

где ω – площадь живого сечения реки в естественном ее состоянии (при Q_{\max}); β – коэффициент перехода от скорости v к средней скорости по вертикали, где измеряется глубина h_{\max} ($\beta \approx 1,2 \dots 1,5$) [1].

Установив q_{\min} , задаются рядом значений:

$$q' = q_{\min}, \quad q'' = 2q_{\min}, \quad q''' = 3q_{\min} \text{ и т. д.}$$

При этом выполняют гидравлический расчет гасителей энергии и рисбермы, устанавливают геометрические размеры этих сооружений, определяют объемы бетонных работ по плотине, водобою, рисберме, а затем по этим параметрам вычерчивают поперечные сечения бетонной плотины вместе с креплением нижнего бьефа, отвечающие различным ее вариантам [1].

Поперечный профиль тела бетонной плотины вместе с креплением нижнего бьефа для каждого варианта, рассчитанного на определенное значение q , можно представить эскизным чертежом (рис.2). Если $q' < q'' < q''' \dots$, то имеем обратное соотношение: $B' > B'' > B''' \dots$

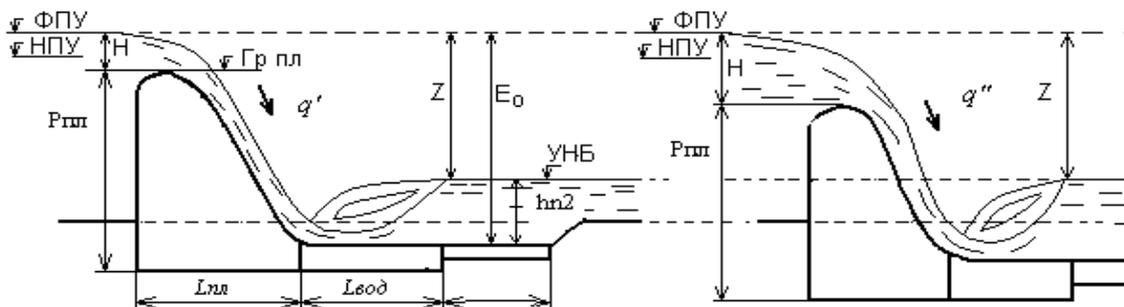


Рисунок 2 - Схемы вариантов плотины для различных значений q ($q'' > q'$)

Для каждого намеченного варианта по чертежу можно подсчитать объем бетона $W_{бет}$ и объем выемки грунта $W_{гр}$, приходящиеся на 1 м длины водосливной части плотины. Процесс расчета $q_{эк}$ достаточно трудоемкий, включает в себя большое количество итерационных расчетов и при «ручном» счете не обеспечивается достаточная точность полученных результатов. Трудоемкость ручного расчета оптимального профиля водосливного фронта при проектировании плотин, требует создания инструментальных средств расчета, что позволит сократить время проектирования, и облегчит труд проектировщика.

Методы исследования. В связи с этим нами разработан алгоритм расчета оптимального профиля водосливной плотины и программный комплекс, реализующий данный алгоритм на ЭВМ [2,4]. В основу алгоритма положены современные методы гидравлического расчета водосливов, сопряжения бьефов, гасителей энергии; методы расчета объемов работ и стоимости сооружений водосливного фронта; математические методы итерационных расчетов и поиска минимума функции.

Алгоритм расчета водосливного фронта плотины включает [1,2]:

1. 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).

Расчетная модель водосливной плотины принята практического профиля с параметрами, наиболее часто встречающимися в практике проектирования и строительства.

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.

$$q = \mathcal{G}h_n, \quad (3)$$

где h_n - глубина воды в нижнем бьефе плотины.

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).

2. Гидравлический расчет гасителей энергии. В программе отдельными блоками дается расчет водобойной плиты, водобойного колодца, водобойной стенки и комбинированного водобойного колодца. Выбор типа гасителя энергии производится в зависимости от типа сопряжения струи потока, по конструктивным и строительным соображениям, а также из условия экономической целесообразности применения того или иного типа гасителя. Ширина водобойного колодца равна ширине водосливной плотины. Толщина плотины водобоя определяется на основе гидравлического расчета, с учетом устойчивости ее на всплывание.

3. Расчет сопряжения бьефов за водосливной плотиной, который заключается в определении сопряженных глубин в нижнем бьефе и типа сопряжения бьефов. Как правило, низконапорные плотины возводятся на не скальных грунтах и поэтому при донном режиме сопряжения бьефов обычно имеют в нижнем бьефе водосбросов бетонный водобой с гасителями энергии и рисберму, а также переходное крепление. Конструкции и типы устройств нижнего бьефа и их компоновка определяются рядом факторов: гидрологических, топографических, геологических, технико-экономических и т. д. В гидротехнической практике применяются разнообразные конструкции и типы устройств, которые рассматриваются на предварительной стадии проектирования гидроузлов. Условия работы и конструкции крепления нижнего бьефа зависят в значительной мере от режима сопряжения с нижнего бьефа сбрасываемого потока. Если глубина нижнего бьефа недостаточна для затопления прыжка, ее увеличивают устройством водобойного колодца, водобойной стенки, устанавливая на водобое гасители энергии или используют комбинацию указанных средств.

4. Расчет рисбермы. Рисберма рассчитывается двух типов: сборная рисберма, выполненная из бетонных плит и рисберма, выполненная из каменной наброски. 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.

5. Расчет концевого крепления. Для защиты рисбермы от размыва за рисбермой предусматривается концевое крепление в виде ковша, отсыпанного камнем, и вертикального бетонного зуба. Расчет заключается в определении глубины ямы размыва, диаметра камня ковша и высоты стенки зуба.

6. Расчет стен-устоев различных конструкций: полумассивных бетонных Г-образного типа, железобетонных и ячеистых. Поперечный профиль стен-устоев принят таких размеров, при котором стены устойчивы при любом сочетании действующих на них нагрузок.

Расчет включает в себя определение геометрических размеров устоев заданной конструкции, их объемов и стоимости.

7. Определение объемов работ по плотине и сооружениям водосливного фронта.

8. Расчет стоимости плотины и сооружений водосливного фронта.

9. Расчет общего размыва русла и понижения отметки уровня воды в нижнем бьефе водосливной плотины. Нижний бьеф надлежит рассчитывать как систему, включающую вышеперечисленные устройства и учитывающий местный и общий размывы ее русла. 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.

После стабилизации местного размыва за сооружениями начинается общий размыв русла нижнего бьефа. Вследствие интенсивного размыва за соору-

жением и перемещением наносов по течению происходит значительное понижение отметок дна русла в начале зоны общего размыва.

Наиболее интенсивно эрозионные процессы протекают в начальный период эксплуатации гидроузла, что приводит к значительному понижению уровня воды в нижнем бьефе гидроузла. Это может привести не только к увеличению стоимости, но и снижению надежности, как сооружений нижнего бьефа, так и всего гидроузла. Учитывая это обстоятельство, в программу гидравлического расчета оптимальных параметров сооружений водосливного фронта плотины включена методика и подпрограмма расчета общего размыва дна русла нижнего бьефа гидроузла.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Существующие методики прогноза размыва нижнего бьефа подпорных сооружений базируются на одномерных моделях общего размыва.

Разработанная методика расчета общего размыва учитывает сложную конфигурацию поперечных сечений естественных русел, их геологическое строение и, связанную с этим неравномерность распределения гидравлических характеристик течения, а так же гранулометрический состав и физико-механические свойства грунтов по ширине русла.

Программный комплекс разработан на алгоритмическом языке Фортран PowerStation 4.0 (стандарт языка Фортран 90), снабженном средой Microsoft Developerstudio (мастерская разработчика), которая работает под управлением Windows и имеет удобный пользовательский интерфейс для создания, компиляции, связывания, отладки, выполнения программ и просмотра результатов расчета [3].

Алгоритмический язык Фортран – первый и наиболее распространенный язык, ориентированный на программирование расчетных задач. Массовость применения стандартизированной версии языка Фортран объяснялась наличием в нем средств, позволяющих более полно использовать аппаратные возможности ЭВМ, независимой компиляцией процедур и поддерживалась колоссальным объемом созданного на Фортране математического обеспечения [3].

Фортран содержит не только систему программирования (язык с «фирменными» расширениями; транслятор; загрузчик; отладчик; библиотеки подпрограмм; справочные средства), но и объединенный в Microsoft DeveloperStudio набор инструментов поддержки больших программных проектов.

Характерными особенностями FPS являются: свободный формат записи операторов; динамическое выделение памяти; новый тип программной компоненты - *модуль*, применяемый для глобального описания данных и библиотек *процедур* (подпрограмм и функций); управляющая конструкция *SELECTCASE* и новые формы оператора цикла; улучшенные средства для численных расчетов, в том числе ряд числовых справочных функций; множество новых встроенных процедур.

FPS снабжен математической библиотекой процедур IMSL, что позволяет наряду с консольными приложениями, создавать диалоговые окна, меню, обрабатывать события, выполнять средствами QuickWin многооконный графиче-

ский вывод, писать разноязычные, например на Фортране и СИ, приложения и т.д.

Программа в FPS рассматривается как *проект*, который кроме *головной* программы может содержать подпрограммы, функции, модули, библиотеки. Файлы программы, подпрограмм, модулей имеют расширение *.f90*. Программа имеет заголовок *PROGRAM имя_программы* и завершается оператором *END-PROGRAM имя_программы*. Программа строится по схеме: объявление типов используемых переменных, затем операторы, выполняющие над объявленными переменными некоторые действия.

Разработанный 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. При машинной реализации вычислительного алгоритма к разрабатываемому программному комплексу, были предъявлены следующие требования: высокая скорость работы; возможность ввода данных в программу; удобство в управлении программой.

Программный комплекс разработан в двух вариантах – для научных исследований и реального проектирования и состоит из головной программы с тем же названием и 30 процедур (подпрограмм, модулей и функций) с расширением FPS. *f90*. Блок-схема алгоритма расчета показана на рисунке 3.

Основные подпрограммы комплекса:

- головная программа: программа расчета удельных экономичных расходов водосливных плотин (*Fixed_weir*);
- подпрограмма расчета характеристик грунта основания плотины (*Ground*);
- подпрограмма расчета нормальной глубины воды в нижнем бьефе (*Depth*);
- подпрограмма расчета многопролетного водослива практического профиля (*Weir*);
- подпрограмма расчета многопролетного водослива практического профиля при заданном удельном расходе воды (*Wei_1*);
- подпрограмма расчета сопряжения бьефов за водосливной плотинной (*Reach_Connection*);
- подпрограмма расчета глубины потока за плотиной в сжатом сечении (*Depth_c*);
- подпрограмма расчета водобойной плиты без специальных гасителей (*Vdp_1*);
- подпрограмма расчета водобойной плиты с реактивными гасителями (*Vdp_2*);
- подпрограмма-функция расчета толщины плиты при наличии на водобое гасите лей энергии (*Fvd*);
- подпрограмма-функция определения коэффициента размывающей способности потока (*Fkr*);
- подпрограмма расчета водобойных стенок (*Wall*);

- подпрограмма расчета водобойного колодца (*Well*);
- подпрограмма гидравлического расчета комбинированного водобойного колодца (*Combine_well*);
- подпрограмма расчета бетонной рисбермы (*Downstream_apron*);
- подпрограмма расчета рисбермы, выполненной из камня (*Apron_from_stone*);
- подпрограмма расчета глубины ямы размыва за рисбермой (*Scour_pit*);
- подпрограммы расчета допускаемой неразмывающей скорости потока для несвязных и связных грунтов (*Velocity_1* и *Velocity_2*);
- подпрограмма расчета концевого крепления (*End_strength*);
- подпрограмма-функция расчета диаметра камня наброски (*Fds*);
- подпрограммы расчета стен-устоев различных конструкций (*Abutment_1*, *Abutment_2*, *Abutment_3*);
- подпрограмма расчета объемов работ по сооружениям водосливного фронта (*Volume_of_work*);
- подпрограмма расчета стоимости плотины и сооружений водосливного фронта (*Cost*);
- подпрограмма расчета параметров сооружений водосливного фронта и удельных экономичных расходов при заданном массиве удельных расходов плотины (*Dam*);
- подпрограмма расчета общего размыва русла и понижения уровня воды в нижнем бьефе гидроузла (*NB_Scour*);
- подпрограмма расчета транспорта руслоформирующих наносов (*Sediment*).

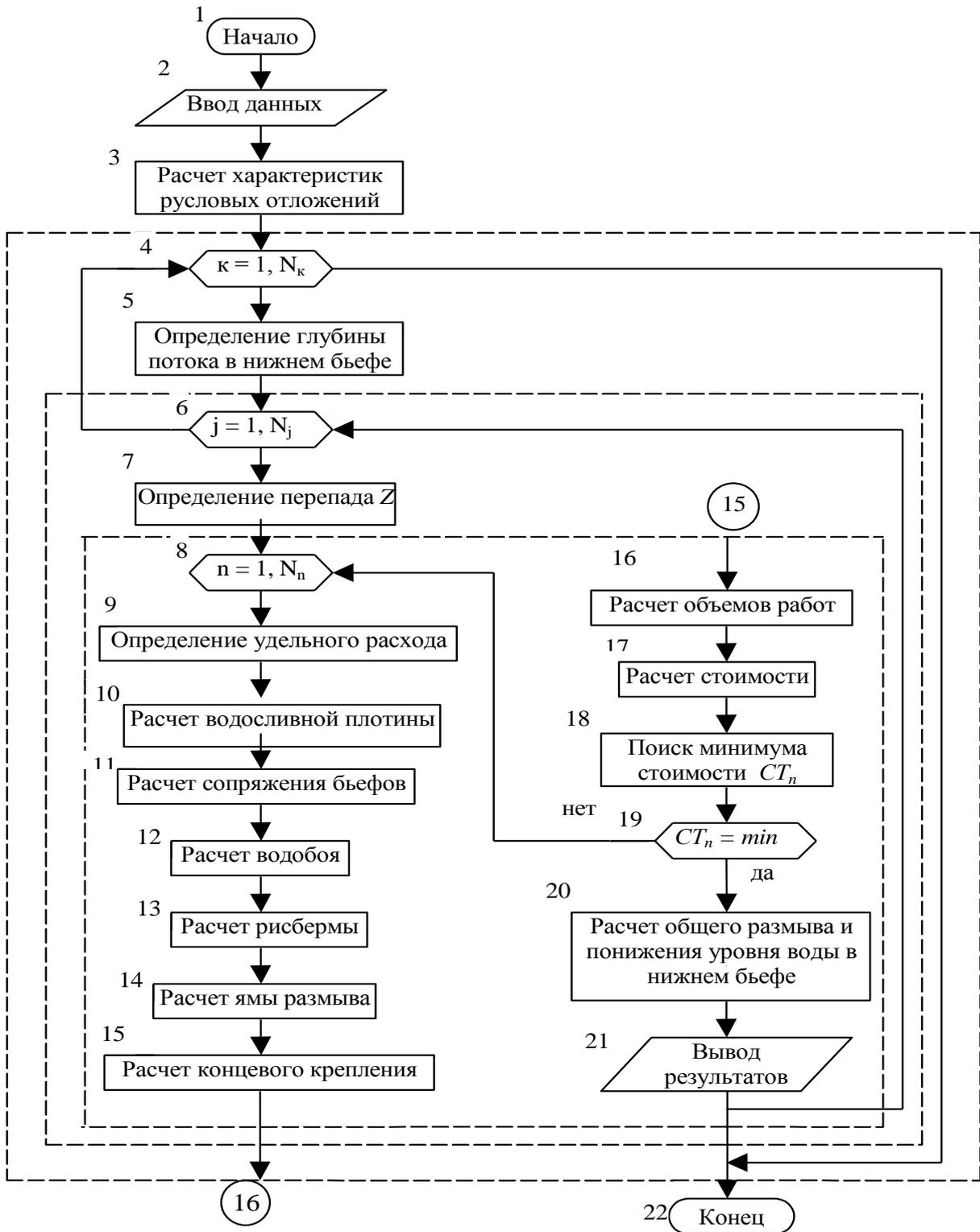


Рисунок 3 - Укрупненная блок-схема алгоритма расчета параметров сооружений водосливного фронта плотины на нескальном основании

Ввод данных и вывод результатов осуществляется подпрограммами *Fixed_weir_inp* – подпрограмма ввода исходных данных и *Fixed_weir_out* – подпрограмма вывода в текстовые файлы результатов расчетов.

Вспомогательными подпрограммами являются:

- *Fall_velocity* – модуль данных о гидравлической крупности наносов;

- *Lint* – подпрограмма линейной интерполяции;
- *Direct_func_iter* – подпрограмма использования метода итерации для нахождения аргумента прямой функции по заданному ее значению;
- *Revers_func_iter* – подпрограмма использования метода итераций для нахождения аргумента обратной функции по заданному ее значению;
- *Cost_min* – подпрограмма поиска минимума функции - зависимости стоимости сооружений водосливного фронта от удельного расхода;
- *Weir_data_arrays* – модуль объявления данных и динамически размещаемых массивов.

Подпрограммы *Dam* и *NB_Scour* имеют автономное положение в программном комплексе и включаются при задании соответствующих значений признаков счета *Lcount* и *Lscour*: 0 – выключено, 1 – включено.

Программа *Dam* предназначена для научных исследований: расчета ординат графика зависимости $CT = f(q)$ и изучения влияния на удельный экономичный расход $q_{эк}$ различных сооружений водосливного фронта, параметров плотины и гидравлических параметров верхнего и нижнего бьефа.

Для этого в ней формируется и используется массив удельных расходов воды $q_u(n)$ и обеспечивается синхронный вывод в текстовые файлы для каждого удельного расхода основных расчетных параметров всех сооружений водосливного фронта: геометрических, гидравлических и экономических, что позволяет строить и исследовать различные графики зависимости между указанными параметрами.

Исходными параметрами для расчета $q_{эк}$ являются: расчетный сбросной расход Q_p ; отметка форсированного подпорного уровня $\PhiПУ$; отметка уровня воды в нижнем бьефе $УНБ$; отметка дна реки $ДНА$; коэффициент основания плотины K , зависящий от вида грунта основания сооружения; коэффициенты заложения верхового – m_1 и низового – m_2 откосов земляной плотины, примыкающей к водосливной; физико-механические характеристики русловых отложений; стоимости $1м^3$ бетонных, железобетонных и грунтовых работ по сооружениям.

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.

Результаты расчета выводятся в режиме реального времени в виде графиков на экран монитора и в несколько файлов в виде таблиц для удобства их обработки и анализа. Выходными данными являются гидравлично-экономические и геометрические характеристики сооружений водосливного фронта.

Программный комплекс тестировался на реально построенных объектах, в частности, водосливных плотинах Волгоградского и Цимлянского гидроузлов. Обе эти плотины находятся на нескальном основании, имеют безвакуумный

практический профиль и имеют близкие по значению гидравлические параметры.

Вывод. В результате численного эксперимента были получены расчетные параметры плотин и сопутствующих сооружений, которые оказались близки к реальным параметрам данных плотин [2,4,5]. Разработанный программный комплекс имеет научно-практическую ценность и может широко использоваться в проектировании водосливных плотин на нескальном основании.

Библиографический список:

1. Чугаев Р.Р. Гидротехнические сооружения. В 2-х частях. Ч.2. Водосливные плотины. - М.: Агропромиздат, 1985. - 302 с.
2. Курбанова З.А. Разработка методики и программного комплекса для расчетов оптимальных параметров сооружений водосливного фронта низконапорных плотин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Махачкала: ДГТУ, 2005. - 24 с.
3. Бартенев О.В. VisualFortran: новые возможности. - М.: Диалог-МИФИ, 1999. - 400 с.
4. 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.
5. Курбанова З.А. Исследование влияния на удельные экономичные расходы низконапорных водосливных плотин различных факторов//Международный научно-исследовательский журнал. – 2013. - №4(11). - Ч1. – С. 101-105.

References:

- 1.Chugaev R. R. Waterworks. In 2 parts. Part 2. The overflow dam. - M.: Agropromizdat, 1985. - 302 p.
2. Kurbanova Z. A. Development of methods and software complex for calculation of optimal parameters of the structures front low-pressure spillway dams: author. dis. ... candidate. tekhn. Sciences. – Makhachkala: DGTU, 2005. - 24 p
3. Bartenyev ov VisualFortran: new opportunities. - Moscow: Dialog-MIFI, 1999. - 400 p.
4. Kurbanova Z. A. Methods and software complex for calculation of optimal parameters of the spillway structures of the front low-pressure spillway dams /Z. A. Kurbanov, I. And G. Suleymanov, V. A. Magomedov , Herald DGTU. – 2010. – No. 17. – pp. 52-60.
5. Kurbanova Z. A. study of the effect on the specific economical costs of low-head spillway dams of different factors, international research journal. – 2013. - №4(11). - P1. – pp.101-105.

УДК 550.34

Магомедов Р.А., Мамаев С.А.