

УДК 502/504 : 627.8

**А. СУЛЕЙМАН**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

**К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА СКОРОСТИ НА НИЗОВЫХ ОТКОСАХ ВОДОСБРОСНЫХ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН**

*Рассмотрены результаты модельных экспериментальных исследований гидравлических условий работы низовых откосов водосливных грунтовых плотин, крепление которых выполнено бетонными плитами с двухступенчатой в плане прорезью.*

*Грунтовая плотина, ступенчатое крепление низового откоса, коэффициент скорости.*

*In the article considers results of the model of experimental studies of hydraulic conditions of lower slope drains spillways dams, fixing which holds the concrete slabs of various designs*

*Spillway dam, stepped-block, speed factor.*

Анализ результатов исследований характера изменения значений коэффициента скорости потока, движущегося по низовому откосу, крепленому плитами различных конструкций, позволил установить, что на коэффициент скорости влияют следующие параметры [1–3]:

уклон поверхности низового откоса  $i$ ;  
относительная длина ступеней (уступа)  $l/\Delta$ ;

относительная протяженность откоса  $l_0/h_{кр}$ .

Ю. П. Правдивец и Нгуен Данг Шон на основании результатов своих лабораторных гидравлических исследований (крепление низового сливного откоса грунтовой плотины ступенчато уложенными плитами с прямым уступом) предложили формулу для определения величины на различных участках по длине откоса [1, 2]:

$$\frac{l_0}{h_{кр}} = 0,014 + 0,021 \frac{l}{l} + 0,13i^{0,64} + 0,4i^{0,4i} \quad (1)$$

где  $\Delta$  и  $l$  – высота и длина каждой ступени;  $i$  – уклон поверхности низового откоса;  $l_0$  – расстояние по откосу от входного ребра сливной поверхности (от низового ребра гребня) до рассматриваемого створа, в котором определяется величина  $\varphi$ .

Пределы применения этой формулы следующие:  $l/\Delta = 2...8$ ;  $i = 0,18...0,4$ ;  $Re = (10...65)10^3$ .

С. Х. Ганем продолжил аналогичные исследования для плит конструкции П. И. Гордиенко – Ю. П. Правдивца и плиты новой конструкции – с прорезным уступом и разной схемой расположения (укладки) ее в плане [3].

Предложены следующие зависимости:

при укладке плит с прорезным уступом в «полушахматном» порядке –

$$0,9224 + 0,302i^{1,9} + 0,017 + 0,0000597i^{1,93} \frac{l_0}{h_{кр}} + 0,0001459 + 0,0002259i^{0,92} \frac{l_0^2}{h_{кр}} \quad ; \quad (2)$$

при укладке плит с прорезным уступом в «шахматном» порядке –

$$1,20 \quad 0,4411i^{0,23}$$

$$0,0177 \quad 0,94i^{20,03} \frac{l_0}{h_{кр}}$$

$$0,000333 \quad 0,0004865i^{1,2} \frac{l_0^2}{h_{кр}} \quad (3)$$

Пределы применения этих зависимостей следующие:  $i = 0,18 \dots 0,6$ ;  $l/\Delta = 7,5$ ;  $l_0/h_{кр} \leq 30$ ;  $3 < Fr < 40$ ;  $Re > 10^5$ .

После тщательного изучения результатов многих исследований автором статьи было предложено усовершенствовать конструкцию плит для крепления низового откоса переливных грунтовых плотин. Общий вид двух вариантов конструкции предложенных плит представлен на рис. 1.

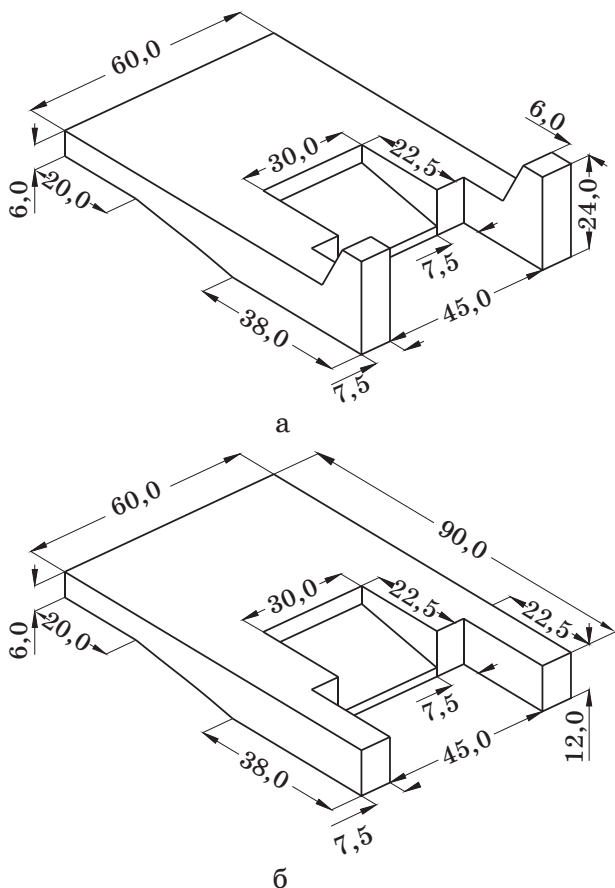


Рис. 1. Предложенный вариант конструкций плит ступенчатого крепления сливного низового откоса водосбросных секций переливных грунтовых плотин: а – с двухступенчатой в плане прорезью и гасителями; б – с двухступенчатой в плане прорезью

Экспериментальное изучение гидравлических условий работы плит предложенной конструкции осуществлялось в лаборатории водопропускных сооружений кафедры гидротехнических сооружений Московского государственного университета природообустройства. Методика проведения этих исследований рассмотрена в работе [4].

Значения коэффициента скорости в потоках, движущихся по плитам крепления предложенных конструкций, определяли в следующей последовательности:

первый этап – определение коэффициента скорости, исходя из следующих заданных параметров: уклон низового откоса плотины  $i = 0,18 \dots 0,6$ ; относительная протяженность откоса  $l_0/h_{кр} = 20 \dots 70$ ; относительная длина ступеней  $l/\Delta = 7,5 = \text{const}$ ;

второй этап – определение коэффициента скорости, исходя из следующих заданных параметров: уклон низового откоса плотины  $i = 0,18 = \text{const}$ ; относительная протяженность откоса  $l_0/h_{кр} = 20 \dots 70$ ; относительная длина ступеней  $l/\Delta = 4 \dots 7,5$ ;

третий этап – определение коэффициента скорости, исходя из следующих заданных параметров: уклон низового откоса плотины  $i = 0,18 = \text{const}$ ; относительная протяженность откоса  $l_0/h_{кр} = 20 \dots 70$ ; относительная длина ступеней  $l/\Delta = 7,5 = \text{const}$ ; высота гасителей  $a_r = \Delta = 1,2 \text{ см} = \text{const}$ .

Результаты исследований, выполненных в рамках опытов первого этапа, представлены на рис. 2. Эти эксперименты были проведены при трех уклонах крепленых сливных откосов ( $i = 0,18; 0,4; 0,6$ ) и при  $l/\Delta = 7,5 = \text{const}$ .

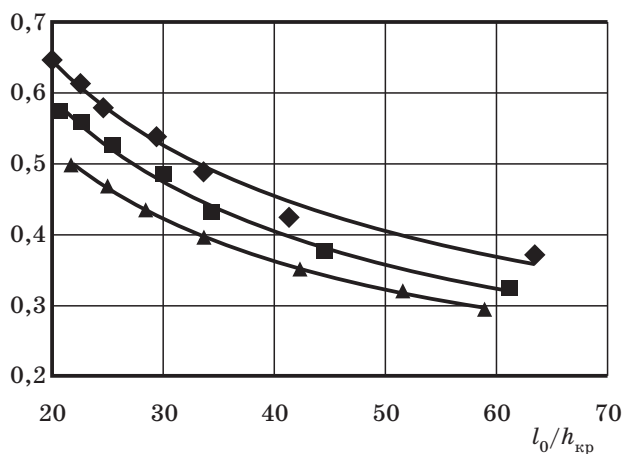


Рис. 2. Зависимости  $\alpha = f(l_0/h_{кр}; i; l/\Delta = 7,5 = \text{const})$  для случая крепления сливного откоса плитами с прорезью, уложенными в шахматном порядке: ◆  $i = 0,18$ ; ▲  $i = 0,4$ ; ■  $i = 0,6$

Аппроксимация полученных кривых позволила получить группу зависимостей  $\varphi = f(l_0/h_{кр}, i, l/\Delta = 7,5 = \text{const})$  для варианта укладки плит на откосе в шахматном порядке. Эти зависимости следующие:

для  $i = 0,18$

$$1 \quad 0,04 \quad 0,26i \quad l_0/h_{кр}^{0,52 \quad 0,16i}; \quad (4)$$

для  $i = 0,4$

$$1 \quad 0,026 \quad 0,22i \quad l_0/h_{кр}^{0,49 \quad 0,11i}; \quad (5)$$

для  $i = 0,6$

$$1 \quad 0,054 \quad 0,24i \quad l_0/h_{кр}^{0,42 \quad 0,18i}. \quad (6)$$

Дальнейшая математическая обработка, направленная на поиск аналитического вида обобщенной зависимости, дала бы возможность получить формулу для определения коэффициента скорости потока при любом уклоне. Такая формула имеет следующий вид:

$$1 \quad 0,085 \quad 0,59i^{3,24} \quad l_0/h_{кр}^{0,5 \quad 0,96i^{3,21}}. \quad (7)$$

Для определения значений коэффициента скорости в опытах второго этапа было проведено исследование на экспериментальной установке при трех относительных длинах ступеней:  $l/\Delta = 4; 6; 7,5$  и при уклоне сливного откоса  $i = 0,18 = \text{const}$ . Результаты этих исследований приведены на рис. 3.

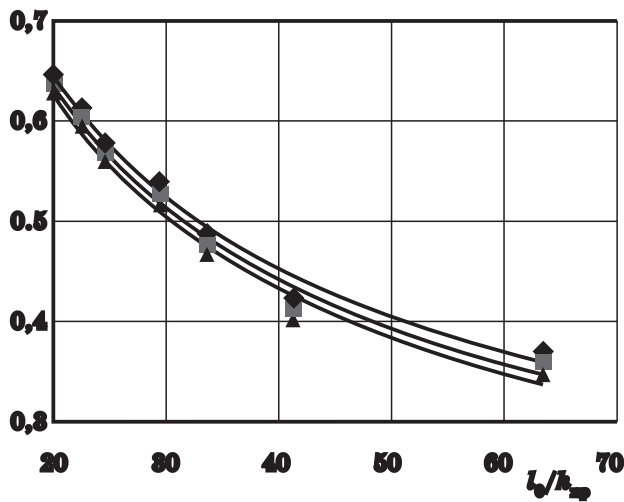


Рис. 3. Зависимости  $\varphi = f(l_0/h_{кр}; i = 0,18 = \text{const}; l/\Delta)$  для случая крепления сливного откоса плитами с прорезью, уложенными в шахматном порядке:  $\blacklozenge l/\Delta = 7,5; \blacksquare l/\Delta = 6; \blacktriangle l/\Delta = 4$

Аппроксимация полученных кривых позволила получить группу зависимостей  $\varphi = f(l_0/h_{кр}; i = 0,18 = \text{const}; l/\Delta)$  для варианта укладки плит предлагаемой

конструкции на откосе в шахматном порядке. Эти зависимости следующие:

для  $l/\Delta = 4 (l = 4, \Delta = 1)$

$$1 \quad 0,056 \quad 0,26i \quad l_0/h_{кр}^{0,52 \quad 0,16i}; \quad (8)$$

для  $l/\Delta = 6, (l = 6, \Delta = 1)$

$$1 \quad 0,046 \quad 0,26i \quad l_0/h_{кр}^{0,52 \quad 0,16i}; \quad (9)$$

для  $l/\Delta = 7,5, (l = 9, \Delta = 1,2)$

$$1 \quad 0,04 \quad 0,26i \quad l_0/h_{кр}^{0,52 \quad 0,16i}. \quad (10)$$

Математическая обработка представленных трех зависимостей дает возможность получить одну обобщенную зависимость:

$$1 \quad 0,036 \quad 0,028 \frac{l}{l} \quad 0,26i \quad l_0/h_{кр}^{0,52 \quad 0,16i}. \quad (11)$$

Для изучения характера влияния  $l/\Delta$  на определение коэффициента скорости с учетом уравнения (11) можно переписать уравнение (7) в следующем виде:

$$1 \quad 0,082 \quad 0,028 \frac{l}{l} \quad 0,59i^{3,24} \quad l_0/h_{кр}^{0,5 \quad 0,96i^{3,21}}. \quad (12)$$

Получение зависимости (12) может быть использовано проектировщиками для определения значений коэффициента скорости на откосах, укрепленных плитами с двухступенчатой в плане прорезью, на этапах более детального проектирования рассматриваемых плотин.

С целью определения значений коэффициента скорости в рамках опытов, относящихся к третьему этапу, автором было проведено исследование на экспериментальной установке при  $l/\Delta = 7,5 = \text{const}$ , уклоне сливного откоса  $i = 0,18 = \text{const}$  и высоте гасителя  $a_r = \Delta = 1,2 \text{ см} = \text{const}$ . Результаты этих исследований приведены на рис. 4.

Аппроксимация полученных кривых позволила получить группу зависимостей  $\varphi = f(l_0/h_{кр}; i = 0,18 = \text{const}; l/\Delta = 7,5 \text{ см} = \text{const})$  для варианта укладки плит на откосе в шахматном порядке. Эти зависимости следующие:

для  $l/\Delta = 7,5 (l = 9; \Delta = 1,2 \text{ см}); i = 0,18; a_r = 0$

$$1 \quad 0,036 \quad 0,028 \frac{l}{l} \quad 0,26i \quad l_0/h_{кр}^{0,52 \quad 0,16i}. \quad (13)$$

для  $l/\Delta = 7,5$  ( $l = 9$ ;  $\Delta = 1,2$  см);  $i = 0,18$ ;  $a_r = 0$

$$1 \quad 0,051 \quad 0,028 \frac{1}{l} \quad 0,26i \quad (14)$$

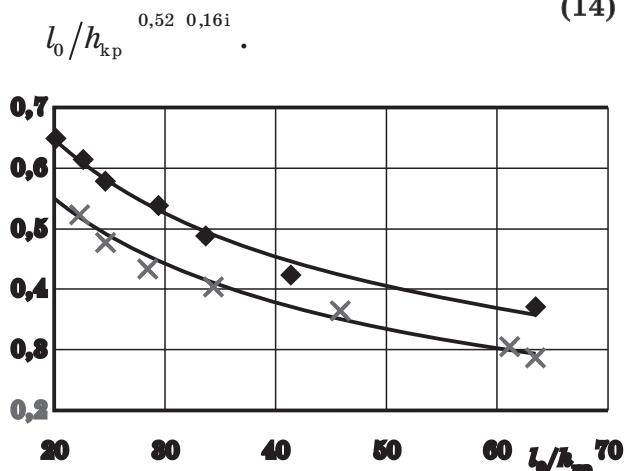


Рис. 4. Зависимости  $\alpha_r = f(l_0/h_{кр}; i = \text{const}; l/\Delta = \text{const}; a_r = \text{const})$  для случая крепления сливного откоса плитами с прорезью и гасителями, уложенными в шахматном порядке:

◆  $\alpha_r = f(l_0/h_{кр}; i; l/\Delta)$ ; ×  $\alpha_r = f(l_0/h_{кр}; i; l/\Delta; a_r)$

Для большего удобства пользования приведенными зависимостями была продолжена математическая обработка рассматриваемых данных в плане поиска аналитического вида обобщенной зависимости, которая дает возможность определить значения коэффициента скорости потока на креплении из плит с двухступенчатой прорезью и с гасителями в любом случае. Оказалось, что такая зависимость может быть найдена. Эта зависимость имеет следующий вид:

$$1 \quad 0,097 \quad 0,028 \frac{1}{l} \quad 0,59i^{2,24} \quad (15)$$

$$l_0/h_{кр} \quad 0,5 \quad 0,001^{2,24}$$

Для проверки точности уравнения (15) было проведено дополнительное исследование на экспериментальной установке при трех уклонах сливных откосов:  $i = 0,18; 0,4; 0,6$  ( $l/\Delta = 7,5 = \text{const}$ ;  $a_r = \Delta = 1,2$  см = const). Результаты этих исследований приведены на рис. 5.

Анализ графика, приведенного на рис. 5, позволяет сделать следующее заключение: величины, рассчитанные по зависимости (15), хорошо соответствуют опытным данным.

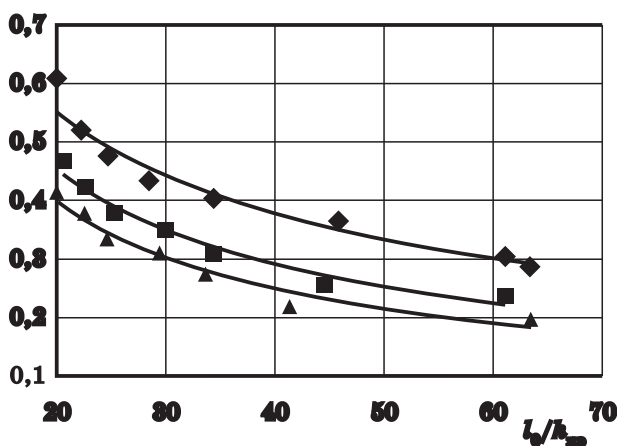


Рис. 5. Зависимости  $\alpha_r = f(l_0/h_{кр}; i; l/\Delta = \text{const}; a_r = \text{const})$  для случая крепления сливного откоса плитами с прорезью и гасителями, уложенными в шахматном порядке: ◆  $i = 0,18$ ; ■  $i = 0,4$ ; ▲  $i = 0,6$

**Выводы**

Установлено, что в исследованных диапазонах  $l/\Delta = 4...7,5$ ;  $i = 0,18...0,6$  и  $l_0/h_{кр} = 20...70$  гидравлические сопротивления растут по мере снижения значений  $l/\Delta$  и с увеличением уклона.

Чтобы определить значения коэффициента скорости на откосах, укрепленных плитами с двухступенчатой в плане прорезью, для условий  $l/\Delta = 4...7,5$ ;  $i = 0,18...0,6$  и  $l/\Delta = 20...70$ , на стадии предварительного проектирования можно использовать зависимость (12).

Чтобы определить значения коэффициента скорости на откосах, укрепленных плитами с двухступенчатой в плане прорезью и с гасителями, для условий  $l/\Delta = 4...7,5$ ;  $i = 0,18...0,6$ ;  $l_0/h_{кр} = 20...70$ , и  $a_r = \Delta = 1,2$  см = const, целесообразно применять зависимость (15), которая также может быть использована на стадиях предварительного проектирования.

Зависимости (12) и (15) хорошо согласуются с зависимостью (1) Ю. П. Правдивца и Нгуен Данг Шона.

Перечисленными зависимостями рекомендуется пользоваться при значениях чисел Рейнольдса в диапазоне  $Re = (5...30)10^3$  и чисел Фруда  $Fr = 1...4$ .

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

2. Правдивец Ю. П. Исследование работы плит крепления грунтовых откосов при переливе воды через сооружение/ Повышение надежности гидротехнических

сооружений при динамических воздействиях: сб. науч. трудов. – М.: МИСИ, 1976. – С. 57–58.

3. Ганем С. Х. Совершенствование конструкций и методов расчетного обоснования грунтовых водосливных плотин: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МГУП, 1991. – С. 70–75.

4. Сулейман А. Совершенствование моделирования и эксплуатации конструкций водосбросных грунтовых плотин // Природообустройство. – 2011. – № 2. – С. 49–52.

Материал поступил в редакцию 16.05. 11.

*Сулейман Ахмад, аспирант*  
E-mail: as79scs@hotmail.com

УДК 502/504 : 69.035.4

**Д. Т. БАУТДИНОВ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОГО СКАЛЬНОГО ГРУНТА ВБЛИЗИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ТУННЕЛЯ КОРЫТООБРАЗНОЙ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ**

*В статье проведен параметрический анализ напряженного состояния трансверсально-изотропного скального грунта вблизи гидротехнического туннеля корытообразной формы сечения от нагрузки в виде собственного веса грунта. Определены тангенциальные напряжения по контуру выработки гидротехнического туннеля при различных отношениях модулей деформаций и коэффициентов Пуассона, позволяющие оценивать прочность грунтового массива при различных глубинах заложения туннеля.*

*Трансверсально-изотропная среда, теория упругости, плоская деформация, модуль деформаций, коэффициент Пуассона.*

*In the paper there is carried out a parametric analysis of the stress state of transversally isotropic rock ground close to a trough-shaped hydro-technical tunnel as a result of the loading in a way of its own weight. Tangential stresses acting along hydro-technical tunnel cutout are defined taking into account different modulus of deformation ratios and Poisson coefficients which allows evaluate rock soil massif strength at different depths of tunnel location.*

*Transversally isotropic medium, theory of elasticity, plane deformation, modulus of deformation, Poisson coefficient.*

Подземные гидротехнические сооружения широко распространены в области гидротехнического строительства и одновременно являются одними из самых сложных, трудоемких и дорогих типов сооружений, входящих в состав гидроузлов, мелиоративных систем и систем водоснабжения.

При проходке в слаботрециноватых скальных неразмываемых грунтах гидро-

технические туннели глубокого заложения могут возводиться с обделкой и без нее. Применение гидротехнических туннелей без обделки позволяет снизить их стоимость на 20...30 % и сократить сроки строительства на 10...15 %.

При проектировании гидротехнических туннелей глубокого заложения, проходящих в анизотропных грунтах с отношением модулей деформаций в