

М. И. ЛУПИНСКИЙ

## К ВОПРОСУ О ВЫСОТЕ ВСКАТЫВАНИЯ ВОЛН НА НАКЛОННЫЕ СТЕНКИ

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 10 VII 1952)

Одним из существенных моментов изучения процесса взаимодействия волн с наклонными стенками является выяснение высоты вскачивания волн на откос в зависимости от размера волн, угла наклона и шероховатости поверхности откоса.

Как уже отмечалось многими исследователями, при подходе волны к откосу с уклоном  $m_1 < 1:1$  профиль волны видоизменяется, а именно: передняя грань становится круче, а задняя положе. Увеличение крутизны передней грани волны с последующим обрушением гребня в сторону движения волны объясняется тем, что подошва волны при продвижении последней в сторону откоса испытывает все возрастающее сопротивление как от трения о поверхность откоса, так и от встречного движения скатывающихся с откоса масс воды.

В то время как скорость продвижения подошвы волны замедляется, гребень продолжает двигаться. Таким образом, наступает момент, когда гребень, опередив подошву, опрокидывается в сторону продвижения волны, т. е. в сторону откоса.

Как следует из приведенного выше механизма разрушения волн, с физической стороны имеет место расходование (гашение) энергии разрушающейся на откосе волны. Такое гашение происходит за счет преодоления, с одной стороны, сил трения, а с другой — сил сопротивления, которые возникают при столкновении накатывающейся на откос воды с потоком, скатывающимся с откоса.

Учитывая физическую сторону вопроса взаимодействия волн с пологим откосом, следует притти к заключению, что между количеством энергии волны и высотой вскачивания ее должна существовать функциональная связь.

В последнем нас убеждает резкое отличие в высоте вскачивания волн одной и той же высоты, но различной длины. Как показали наблюдения, высота вскачивания для волн большей длины значительно больше, чем для волн меньшей длины. Этот факт легко объясняется тем, что длинные волны обладают большим запасом энергии, чем короткие (при одной и той же высоте).

Данные, полученные при проведении экспериментальных исследований на волновом лотке с волнами различной длины и высотой до  $2h=0,42$  м, полностью подтвердили правильность наших предположений.

Прежде чем перейти к непосредственному анализу результатов наблюдений, необходимо отметить, что опыты по определению высоты вскачивания волн производились при трех уклонах откоса: 1)  $m_1=1:2$ ; 2)  $m_1=1:3$ ; 3)  $m_1=1:4$ , с тремя поверхностями, образованными: 1) уклад-

кой крупных рваных камней (средний вес  $Q = 6$  кг); 2) укладкой мелких камешков, средний вес которых колебался в пределах  $0,10 \div 0,70$  кг; 3) укладкой кирпича (плашмя).

При проведении каждого опыта фиксировались: высота волны  $2h$ , м; период волны  $2T$ , сек.; длина волны  $2L$ , м; высота вскатывания волн на откос  $H_{вск}$ , м, как разность ординат поверхности откоса на границе вскатывания и уровня спокойного горизонта воды.

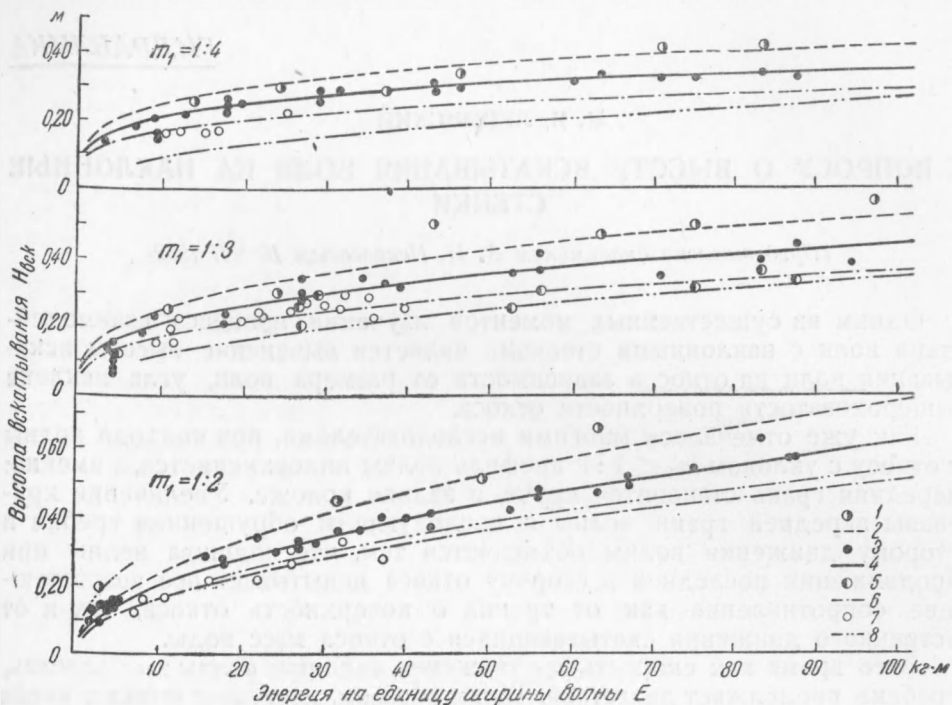


Рис. 1.  $H_{вск} = \frac{A}{n} E^{m_1}$  для  $m_1 = 1:2 \div 1:4$ ,  $A = 0,00383 - 0,00455 m_1$ . Высота вскатывания  $H_{вск}$ : 1 — наблюдаемая для поверхности откоса из кирпича,  $n = 0,020$ ; 2 — по формуле автора для  $n = 0,020$ ; 3 — наблюдаемая для поверхности откоса из мелкого камня,  $n = 0,025$ ; 4 — по формуле автора для  $n = 0,025$ ; 5 — наблюдаемая для поверхности откоса из крупного камня,  $n = 0,030$ ; 6 — по формуле автора для  $n = 0,030$ ; 7 — наблюдаемая для поверхности откоса из крупного камня,  $n = 0,030$  (по данным исследований 1949 г.); 8 — по формуле Н. Н. Джунковского для  $k = 0,77$

Учитывая высказанные выше соображения, основанные на изучении физической стороны рассматриваемого вопроса, опытные точки были нанесены на график (см. рис. 1). При этом по оси абсцисс откладывалась энергия волн, подсчитанная для каждого опыта по формуле

$$E = \gamma h^2 L (1 - e^{-2\pi H/L}) \quad (1)$$

(где  $E$  — энергия волны в кг·м на единицу ширины волны по фронту ее продвижения;  $\gamma$  — объемный вес воды в кг/м<sup>3</sup>;  $h$  — половина высоты волны в м;  $L$  — половина длины волны в м;  $H$  — глубина воды перед откосом), а по оси ординат — высота вскатывания  $H_{вск}$ .

Таким образом мы получили общую картину, отображающую зависимость высоты вскатывания волн как от энергии волн, так и от шероховатости и угла наклона поверхности откоса.

Как легко убедиться при рассмотрении рис. 1, наши предположения полностью подтвердились, а именно: между высотой вскатывания

волн после разрушения их и количеством энергии этих же волн имеет место определенная зависимость.

Помимо этого, как шероховатость, так и уклоны поверхности откоса оказывают соответствующее влияние. Так например, при увеличении угла наклона поверхности откоса высота вскатывания увеличивается. Это обуславливается тем, что чем круче откос, тем быстрее, т. е. за меньшую часть периода разрушения волны, происходит скатывание воды вниз и, следовательно, тем меньшее сопротивление испытывает накатывающийся поток после разрушения очередной волны.

Шероховатость поверхности откоса, как видно из рис. 1, также оказывает существенное влияние на высоту вскатывания, а именно: чем меньше шероховатость, тем больше высота вскатывания.

После соответствующей обработки наблюдений была получена эмпирическая формула:

$$H_{\text{вск}} = \frac{A}{n} E^{m_1, \alpha} \quad (2)$$

где  $H_{\text{вск}}$  — высота вскатывания воды при разрушении волн над уровнем спокойного горизонта воды в м;  $E$  — энергия волны, вычисляемая по формуле (1), приходящаяся на единицу ширины по фронту продвижения волны в кг·м;  $n$  — коэффициент шероховатости по шкале к формуле Н. Н. Павловского (1),  $m_1$  — уклон поверхности откоса, равный  $\text{tg } \alpha$ ;  $\alpha$  — угол наклона поверхности откоса с горизонтальной плоскостью;  $A$  — коэффициент, зависящий от уклона поверхности откоса, который для уклона в пределах от  $m_1 = 1:2$  до  $m_1 = 1:4$  может быть принят равным:

$$A = 0,00383 - (0,00455 m_1) \quad (3)$$

Правильность структуры полученной формулы (2) подтверждается хорошим совпадением наблюдаемых данных с подсчетами по этой формуле (см. рис. 1). При этом такое совпадение имеет место для всех трех уклонов и трех различных по шероховатости поверхностей.

Также следует отметить, что включение в качестве одного из компонентов расчетной формулы (2) коэффициента шероховатости по шкале к формуле Н. Н. Павловского создает удобства при пользовании этой формулой для дифференциации поверхностей по степени их шероховатости.

Украинское отделение  
Всесоюзного научно-исследовательского института  
ВОДГЕО

Поступило  
19 V 1952

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> П. Г. Киселев, Справочник по гидравлическим расчетам, 1950.