

недеформируемой пористой среде. М., 1953. 3. Бочеввер Ф. М., Алексеев В.С. Оценка сопротивления водозаборных скважин по опытным и эксплуатационным откачкам. - "Разведка и охрана недр", 1965, №3. 4. Васильев В.А., Шульгин Д.Ф. О работе фильтра буровой скважины. - "Механика и машиностроение", 1961, №1. 5. Веригин Н.Н. Кальматаж призабойной зоны скважины. - "Журн. прикладной механики и технической физики", 1964, №2. 6. Гаврилко В.М. Фильтры водозаборных, водопонижительных и гидрогеологических скважин. М., 1968. 7. Грикевич Э.А. Исследование гидравлического сопротивления фильтра. - "Изв. АН Латв. ССР", 1967, №12. 8. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М. - Л., 1957.

УДК 627.131:532.51.001.5

Н.Н. Хлапук, А.Ф. Дмитриев (канд. техн. наук)

## К ВОПРОСУ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ГЛУБИНЫ МЕСТНОГО РАЗМЫВА В НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТАХ (ПЛОСКАЯ ЗАДАЧА)

В настоящее время существует множество рекомендаций по расчету местных размывов, предложенных для различных условий и пределов применения. Нами детально проанализированы формулы, приведенные в работах [1 - 6, 8 - 11], полученные авторами для условий плоской задачи данного режима сопряжения бьефов, горизонтального прямоугольного призматического русла и несвязных грунтов.

Были приняты одинаковые для всех формул гидравлические условия: сжатое сечение донного гидравлического прыжка с глубиной  $h_1$  бралось за начало отсчета длины крепления  $l_k$ ; коэффициент затопления прыжка  $n_3 = 1,0$ , длина его  $l_n$  определялась по зависимости

$$l_n = 5(h'' - h_1), \quad (1)$$

где  $h''$  - вторая сопряженная глубина прыжка.

Неразмывающие скорости потока в условиях равномерного режима движения  $U_0$  и соответствующие им нормальные глубины  $H_0$  находились по методике В.С. Кнороза [7].

Формулы приводились к общему виду

$$H_p = k_p H_0, \quad (2)$$

где  $H_p$  - глубина воды в месте максимального размыва;  $k_p$  - корректив размывающей способности потока.

Для различных удельных расходов ( $q = 1, 2, 3 \text{ м}^2/\text{с}$ ), чисел Фруда, отнесенных к сжатому сечению прыжка ( $Fr_1 = 5, 10, 20$ ), относительных длин крепления ( $l_k/l_n = 1, 0; 1, 2; 1, 4; 1, 8; 2, 2; 2, 6; 3, 0$ ) и средних диаметров размываемого грунта ( $d = 0, 5; 1, 0; 1, 5; 2, 0 \text{ мм}$ ) устанавливались максимальные глубины размывов по формулам указанных авторов.

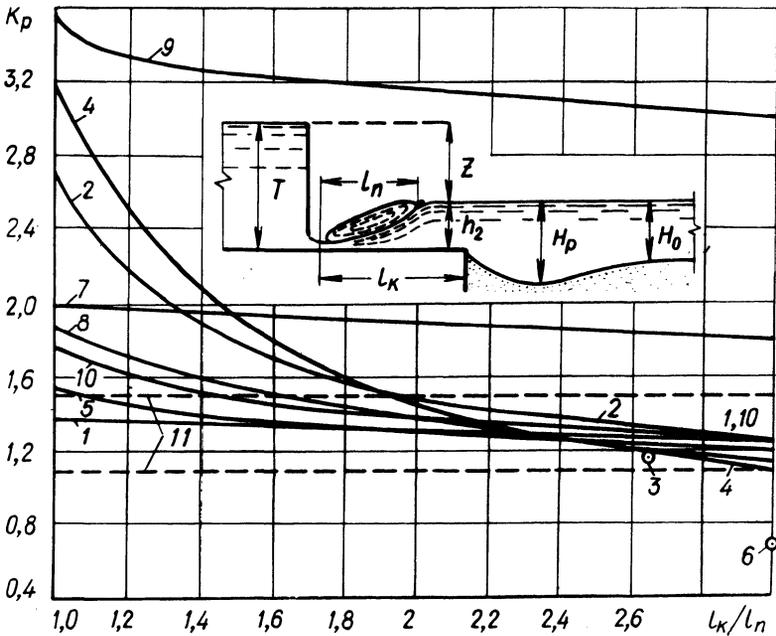


Рис. 1. Зависимости  $k_p = f(l_k/l_n)$  при  $Fr_1 = 20, q = 3 \text{ м}^2/\text{с}, d = 1 \text{ мм}$  по формулам: 1 - Вызго [9], 2 - Кумина, 3 - Беляшевского, 4 - Базилиевича, 5 - Дмитриева, 6 - Россинекти, 7 - Вызго [4], 8 - Леви, 9 - Суле2менова, 10 - Поповой, 11 - Датца.

Вычисления производились на ЭВМ "Минск-32". Результаты вычислений представлены в виде графиков зависимостей  $k_p = f(l_k/l_n)$ ,  $k_p = f(Fr_1)$  и  $k_p = f(q)$ , построенных во всем диапазоне изменения величины  $q$ ,  $l_k/l_n$  и  $Fr_1$ .

На рис. 1 представлен график  $k_p = f(l_k/l_n)$  для значений  $Fr_1 = 20$ ,  $q = 3 \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $d = 1,0 \text{ мм}$ . Как видно, зависимости М.С. Вьзго I и II дают линейное и незначительное изменение максимальной глубины размыва в зависимости от длины крепления. Поэтому по формуле (1) глубина размыва для небольших длин крепления значительно занижена, а по формуле (2) для больших длин крепления — завышена. Введение в зависимость (2) вместо  $H_0$  величины  $\sqrt{q/z_c}$  неоправданно, поскольку величина размыва в этом случае уже не зависит от грунта основания ( $z_c$  — перепад уровней в верхнем и нижнем бьефах, отнесенный к сжатому сечению).

Величина корректива размывающей способности потока, полученная по зависимости Д.И. Кумина и В.А. Базилевича [1,8], при малых длинах крепления ( $l_k \leq 2l_n$ ) значительно выше, чем величина, определенная по формулам других авторов (за исключением формулы К.А. Сулейменова). Интенсивность снижения величины  $k_p$  с увеличением  $l_k/l_n$  будет также выше, чем у других исследователей. Это объясняется тем, что Кумин Д.И. и Базилевич В.А. свои опыты проводили в условиях жесткой модели, а величина корректива размывающей способности потока определялась в створе, совпадающем с концом крепления. На размываемой модели величина  $k_p$ , определенная в том же створе, что и на жесткой модели русла, относится не к концу крепления, а к зоне максимальной глубины воронки размыва, отстоящей от крепления на расстоянии длины верхового откоса воронки размыва.

В.А. Базилевич [1] не предлагает зависимости для корректива размывающей способности потока; нами принято за величину  $k_p$  отношение актуальной расчетной донной скорости в потоке с повышенной турбулентностью к этой же скорости в равномерном потоке, для которых им получены зависимости.

По формуле К.А. Сулейменова [11] получают намного большие значения максимальной глубины размыва, чем по формулам других авторов. Это объясняется тем, что введение в корректив размывающей способности коэффициента, учитывающего свойства грунта совместно с нормальной глубиной, привело к суммированию величин, зависящих от одного и того же фактора.

Зависимость К.И. Россинского [10] представлена на рис. 1 точкой 6, поскольку в нее не входит длина крепления. Макси-

мальная глубина размыва получается меньше нормальной глубины потока, т.е.  $k_p < 1$ . Следовательно, эта зависимость дает заниженный результат даже при очень большой длине крепления.

В формуле И.В. Дитца [12] величина корректива размывающей способности потока  $k_p$  задана в пределах от 1,1 до 1,5 вне зависимости от длины крепления (на рис. 1 зона изменения  $k_p$  ограничена пунктирными линиями). Автор не указывает конкретные пределы изменения величины  $k_p$ , что создает определенные трудности при пользовании этой зависимостью.

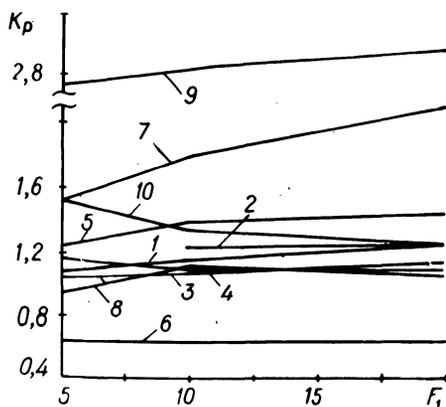


Рис.2. Зависимости  $k_p = f(Fr_1)$  при  $q = 2,0 \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $l_k = 3 l_{\text{п}}$ ,  $d = 1,5 \text{ мм}$ . Обозначения такие же, как на рис. 1.

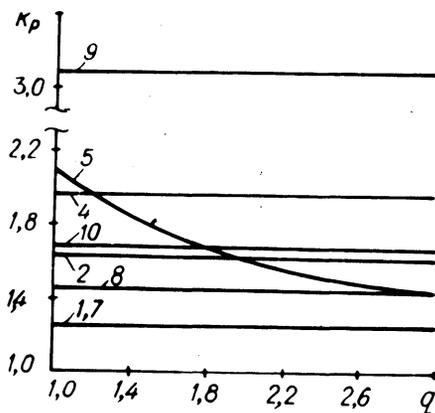


Рис.3. Зависимости  $k_p = f(q)$  при  $Fr_1 = 10$ ,  $l_k = 1,4 l_{\text{п}}$ ,  $d = 1,5 \text{ мм}$ . Обозначения такие же, как на рис. 1.

На рис. 2 представлен график  $k_p = f(Fr_1)$ , построенный для значений  $q = 2 \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $l_k / l_{\text{п}} = 3,0$  и  $d = 1,5 \text{ мм}$ . Зависимости, построенные для всех исследованных диапазонов изменяемых величин  $q$ ,  $l_k / l_{\text{п}}$ ,  $d$ , позволяют сделать следующие выводы.

Формулы М.С. Вызго и особенно К.А. Сулейменова дают завышенные значения корректива размывающей способности потока.

По зависимости К.С. Поповой с увеличением числа Фруда величина  $k_p$  уменьшается для всех исследованных значений  $q$ ,  $l_k / l_{\text{п}}$  и  $d$ .

По формуле К.И. Россинского величина корректива размывающей способности не зависит от числа Фруда (на графике горизонтальная прямая). Это объясняется тем, что формула не учитывает повышенную турбулентность в потоке, т.е. не отображает физическую сущность явления местного размыва.

Величина корректива размывающей способности, полученная по формуле И.И. Леви, при длине крепления  $l_k / l_{\Pi} \leq 2,2$  с увеличением числа Фруда возрастает, при  $l_k / l_{\Pi} > 2,2$  уменьшается.

Величина  $k_p$ , определенная по зависимости В.А. Базилевича, при увеличении числа Фруда при одних значениях  $q$ ,  $l_k / l_{\Pi}$  и  $d$  возрастает, при других уменьшается, или вначале увеличивается, а затем уменьшается.

Увеличение  $k_p$  при возрастании  $Fr_1$  получается по формуле А.Ф. Дмитриева. Только при  $q = 3 \text{ м}^2/\text{с}$  происходит повышение, а затем незначительное уменьшение величины  $k_p$  с увеличением числа Фруда.

На рис. 3 приводится график зависимости  $k_p = f(q)$ , построенный для значения  $l_k / l_{\Pi} = 1,4$ ,  $d = 1,5 \text{ мм}$ . Как видно, величина корректива размывающей способности потока, определенная по рассмотренным формулам, за исключением формулы А.Ф. Дмитриева [6], не зависит от величины удельного расхода. По формуле А.Ф. Дмитриева величина  $k_p$  с увеличением  $q$  уменьшается. Это объясняется тем, что в [6] рассматривалась схема истечения через водослив с тонкой стенкой, при которой увеличение удельного расхода при постоянном значении  $T$  сопровождается снижением числа Фруда и длины прыжка, что приводит к уменьшению корректива размывающей способности потока.

Таким образом, между результатами, полученными по приведенным формулам, наблюдается значительное расхождение, что объясняется следующим:

а) применением модельного материала с различным  $d$ , что изменяет для каждого случая соотношение сил, действующих при размыве; б) длительностью проведения опытов (у разных исследователей она колеблется от 6 до 240 ч); в) неодинаковой схемой истечения; г) диапазоном изменения влияющих на размыв параметров; д) трудностью в составлении обобщающей зависимости, учитывающей большое количество факторов.

Следует отметить, что структура исследованных зависимостей недостаточно совершенна, а вопрос о прогнозировании глубины местного размыва изучен еще недостаточно полно, о чем свидетельствуют значительные расхождения между данными, полученными по расчетным зависимостям, и опытными. До получения более точных формул по определению глубины воронки размыва, на наш взгляд, для практического применения можно рекомендовать зависимости И.И. Леви, Д.И.Кумина, К.С. Поповой, а для схемы истечения через водослив с тонкой стенкой — зависимость А.Ф. Дмитриева.

Выполненный анализ позволяет наметить программу дальнейших исследований местного размыва: 1) наиболее перспективным является применение легкоподвижных материалов в качестве грунта модели, так как моделирование песком не позволяет полностью учитывать в эксперименте доли размыва, происходящего за счет взвешивания частиц грунта; 2) исследование скоростной структуры потока без воронки местного размыва и при наличии воронки, а также в процессе ее образования; 3) изучение влияния формирования воронки местного размыва на изменение скоростной структуры потока.

#### Р е з ю м е

Сопоставляются результаты исследования местных размывов в несвязных грунтах, выполненные различными авторами.

#### Л и т е р а т у р а

1. Базілевич В.О. Розрахунок кріплення русла в нижньому б'єфі водозливних гребель за актуальними швидкостями. — В сб.: "Гідралічні дослідження і розрахунки. Київ, 1963.
2. Беляшевский Н.Н., Пивовар Н.Г., Колонтыренко И.И. Расчеты нижнего бьефа за водосбросными сооружениями на нескальных основаниях. Киев, 1973.
3. Вызго М.С. О местном размыве за горизонтальным креплением и падающей струей. — "Гидротехническое строительство", 1954, № 5.
4. Вызго М.С. Эксплуатационные мероприятия, прогнозы и способы уменьшения местных размывов за гидротехническими сооружениями. Ташкент, 1966.
5. Гунько Ф.Г., Попова К.С., Климова М.М. Местные размывы русел в нижних бьефах водосбросов. Л., 1974.
6. Дмитриев А.Ф. Определение глубины воронки размыва в нижнем бьефе лесосплавных плотин. — В сб.: Первоначальный сплав древесины. М., 1972.
7. Кнороз В.С. Неразмывающая скорость для несвязных грунтов и факторы, ее определяющие. —

"Изв. ВНИИГ", т.59. 8. Кумин Д.И. Гидравлический расчет крепления в нижнем бьефе водосбросов. М. - Л., 1956. 9. Леви И.И. Движение речных потоков в нижних бьефах гидротехнических сооружений. М. - Л., 1955. 10. Россинский К.И. Местный размыв речного дна в нижних бьефах крупных гидротехнических сооружений. - В сб.: Проблемы регулирования речного стока. Вып. 6. М., 1956. 11. Сулейменов К.А. Влияние свойств несвязного грунта на размыв за горизонтальным креплением различной шероховатости. - "Изв. АН Каз. ССР. Серия энергетическая", 1962, вып. 2 (22). 12. Dietz J. W. Modellversuche über die Kolkbildung. - "Die Bau-technik", 1973, N 5 und N 7.

УДК. 627.43

Ф.И. Емельянов (канд. техн. наук)

## ОПЫТ ЗАМЫВА КАМЕННО-НАБРОСНЫХ ПЛОТИН ПЕСКОМ

Строительство плотин во многих случаях связано с необходимостью замыва и заполнения пустот каменной наброски песчаным грунтом. Это производится с целью создания такого профиля плотины или части его, который бы по фильтрационным свойствам приближался к свойствам песка, а по устойчивости - к каменной наброске.

Показательным является замыв каменной призмы, которая служит основанием верхового клина глинистого понура (рис.1). Ввиду такого положения призмы к качеству ее замыва были предъявлены довольно строгие требования: поры каменной наброски следует тщательно заполнять во избежание просадок, а фильтрация воды через призму не должна превышать фильтрацию в песке. Объем каменной отсыпки - 450 тыс.м<sup>3</sup>. Призма отсыпана из отборной горной массы, крупностью камней более 150 мм. Количество мелкой фракции каменного материала размером 5 - 20 мм составило 0,8%, а размером 5 - 80 мм - 4,1%, что несколько ниже, чем требовалось по техническим условиям (соответственно 2 и 5%). Высота отсыпки призмы - 9 м, а на участке откоса - 19 м. При такой высоте отсыпки в нижней части вследствие естественной сегрегации отложились более крупные камни, а сверху поры между камнями оказались за-