

УДК 627.42

ОБТЕКАНИЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ДАМБЫ
С ЗАТОПЛЕННОЙ СКВОЗНОЙ ЧАСТЬЮ ПОСТОЯННОЙ ЗАСТРОЙКИ

М.Р. Бакиев, С.Э. Шукурова

Разработана методика расчета потока в створе стеснения комбинированной дамбы с затопленной сквозной частью постоянной застройки с оценкой отклонения динамической оси потока, скоростей, удельных расходов и пропускной способности стесненного русла.

Ключевые слова: динамическая ось потока; комбинированная дамба, постоянная застройка, затопленная часть, сквозная и глухая часть, пропускная способность, степень затопления, угол растекания.

FLOW OF THE COMBINED DAM, WITH THE FLOODED THROUGH PART
OF CONTINUOUS BUILDING

M.R. Bakiev, S.E. Shukurova

It is developed the method of calculation of a stream in the alignment of constraint of the combined dam with the flooded through part of a permanent building with an assessment of the deviation of the dynamic axis of flow, velocity, unit costs and bandwidth constrained channel.

Key words: dynamic the flow axis; combined dam; permanent buildings; flooded part of the through and blind; capacity; degree of flooding; the angle of spreading.

Для обеспечения пропуска максимальных паводковых расходов сооружаются комбинированные дамбы, сквозная часть которых работает в затопленном режиме, а в остальное время, при низких горизонтах – в незатопленном режиме.

Следует подчеркнуть, что такой вариант строительства комбинированных дамб (и других регулирующих сооружений) особенно выгодно строить на реках с колебаниями уровней в больших пределах, т. е. когда $H_{max} > (3-5)h_{min}$ и более.

Другим преимуществом такого режима работы комбинированных дамб является возможность пропуска обильно плавающих тел в период паводка, с глубиной затопления $h_g = 1 \text{ и } 1,5 \text{ м}$.

Однако пропуск части расхода без гашения его энергии может уменьшить эффективность работы сооружения. Изменяется и скоростной режим как в верхнем, так и в нижнем бьефах, как в плане, так и по глубине потока.

Некоторые изменения претерпевает и уровень режим.

Рассмотрим случай (рисунок 1), когда поток односторонне стеснен комбинированной дамбой со сквозной частью постоянной застройки $P_3 = d / (d + S)$, где d – диаметр, S – расстояние между сваями.

В отличие от известных задач [1, 2] расход, приходящийся на длину сквозной части l_c состоит из расхода, проходящего поверх сквозной части q_0 , и через застроенную часть q_{ur} .

При этом решаются следующие задачи:

- установление отклонения динамической оси потока, стесненного комбинированной дамбой с затопленной частью постоянной застройки;
- определение удельных расходов в нестесненной части, водосливной части и затопленной части;
- оценка пропускной способности сквозной части с учётом степени затопления;
- разработка методов определения скоростей на водосливной части и перепады уровней.

Для определения отклонения динамической оси потока воспользуемся теоремой Вариньона, записанной для створов I-I и 0-0:

$$q_2 B \left(\frac{B}{2} + f_0 \right) = q_{ur} l_c \sin \alpha_\delta (l_c \sin \alpha_\delta + 0,5 l_c \sin \alpha_\delta) + q_0 l_c \sin \alpha_\delta (l_c \sin \alpha_\delta + 0,5 l_c \sin \alpha_\delta) + q_0 (B - l_\delta \sin \alpha_\delta) [l_\delta \sin \alpha_\delta + 0,5 (B - l_\delta \sin \alpha_\delta)], \quad (1)$$

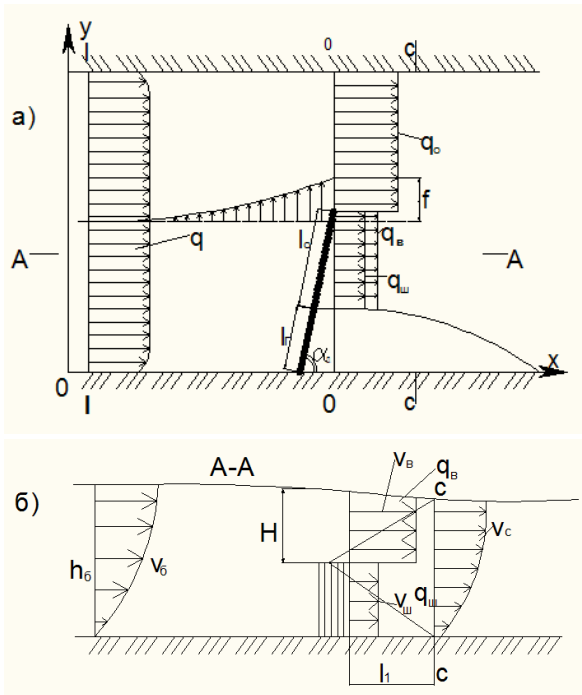


Рисунок 1 – Схема потока стесненного комбинированной дамбой с затопленной сквозной частью постоянной застройки:
а – план, б – продольный разрез А-А

откуда

$$f_0 = \frac{q_u l_c \sin \alpha_\delta}{q_2 B} (l_2 \sin \alpha_\delta + 0,5 l_c \sin \alpha_\delta) + \frac{q_6 l_c \sin \alpha_\delta}{q_2 B} (l_2 \sin \alpha_\delta + 0,5 l_c \sin \alpha_\delta) + \frac{q_0 (B - l_d \sin \alpha_\delta)}{q_2 B} [l_d \sin \alpha_\delta + 0,5 (B - l_d \sin \alpha_\delta)]. \quad (2)$$

Разделим обе части на B и найдем величину относительного отклонения динамической оси потока с учетом затопления сквозной части:

$$\lambda_{f_0} = \frac{f_0}{B} = \overline{q_u} n_c (n_2 + 0,5 n_c) + \overline{q_6} n_c (n_2 + 0,5 n_c) + \overline{q_0} (1 - n) [n + 0,5 (1 - n)] \quad (3)$$

или после некоторых преобразований

$$\lambda_{f_0} = (\overline{q_u} + \overline{q_6}) (n_c n_2 + 0,5 n_c^2) + 0,5 \overline{q_0} (1 - n^2), \quad (4)$$

где $\overline{q_u} = q_u / q_2$; $\overline{q_6} = q_6 / q_2$; $\overline{q_0} = q_0 / q_2$ – относительные удельные расходы через сквозную, водосливную части дамб, а также в нестесненной части потока.

$n_c = l_c \sin \alpha_\delta / B$; $n_2 = l_2 \sin \alpha / B$; $n = l_d \sin \alpha_\delta / B$ – степени стеснения сквозной, глухой частью дамбы и общая степень стеснения потока.

Для нахождения связи между удельными расходами в нестесненной части потока и параметрами комбинированной дамбы воспользуемся уравнением сохранения расхода, записанного для створов I-I и 0-0

$$q_2 B = q_0 (B - l_2 \sin \alpha_\delta) + q_u l_c \sin \alpha_\delta + q_6 l_c \sin \alpha_\delta, \quad (5)$$

откуда

$$\overline{q_0} = \frac{1 - n_c (\overline{q_u} + \overline{q_6})}{1 - n_2}. \quad (6)$$

Для определения пропускной способности комбинированной дамбы с затопленной сквозной частью воспользуемся понятием “коэффициент обтекания”, как отношение суммы расходов водослива (по верху) по телу сквозных частей, к общему расходу, набегающему на дамбу Q_n

$$K_0 = \frac{Q_6 + Q_u}{Q_n}. \quad (7)$$

Здесь Q_6, Q_u, Q_n – расходы, проходящие через водосливную, сквозную части и набегающие на дамбу.

Ввиду малой величины, пренебрегая значением z , уравнение сохранения расхода для сечений I-I и II-II и граничными токами запишется как:

$$K_0 V_6 h_0 l_d \sin \alpha_\delta = V_6 \sin (\alpha_\delta + \beta'_0) (h_0 - h_c) (l_d - l_2) + V_u \sin (\alpha_\delta + \beta_0) (1 - P_3) h_c (l_d - l_2), \quad (8)$$

откуда

$$K_0 = \overline{V}_6 a_1 \overline{h}_0 (1 - \overline{l}_2) + \overline{V}_u a_2 (1 - P_3) \overline{h}_c (1 - \overline{l}_2) \quad (9)$$

или выражая через удельные расходы

$$K_0 = \overline{q}_6 a_1 (1 - \overline{l}_2) + \overline{q}_u a_2 (1 - P_3) \overline{h}_c (1 - \overline{l}_2), \quad (10)$$

где $\overline{l}_2 = \frac{l_2}{l_d}$ – относительная длина глухой части дамбы; $a_1 = \frac{\sin (\alpha_\delta + \beta_0)}{\sin \beta_\delta}$; $a_2 = \frac{\sin (\alpha_\delta + \beta'_0)}{\sin \beta_\delta}$;

$$\overline{V}_6 = \frac{V_6}{V_0}, \quad \overline{V}_u = \frac{V_u}{V_0}.$$

Если предположить, что равенство углов растекания водосливной части β_0 и через сквозную часть β'_0 одинаковы (при $\alpha_\delta = 75 - 90^\circ$, то это равенство соблюдается в отдельных случаях лишь приближенно), то зависимость (10) упрощается при $a_1 = a_2 = a$ до вида:

$$K_0 = [\overline{q}_6 + \overline{q}_u (1 - P_3)] (1 - \overline{l}_2) a.$$

Для определения перепада уровней составим уравнение количества движения для потока,

ограниченного сечениями I-I и II-II линией m-m в виде:

$$pQ_n V_6 + \sum P = cQ_6 V_6 \cos \beta_0' + cQ_{uu} V_{uu} \cos \beta_0 + cQ_n V_6. \quad (11)$$

Учитывая, что $Q_n = Q_6 + Q_{uu} + Q_n$, получим:

$$V_6 (Q_6 + Q_{uu} + Q_n) + gz (h_6 - h_c) l_d \sin \alpha_\delta K_\delta = \\ = Q_6 V_6 \cos \beta_0' + Q_{uu} V_{uu} \cos \beta_0 + Q_n V_6.$$

После преобразований:

$$gz (h_6 - h_c) l_d \sin \alpha_\delta K_\delta = \\ = V_6 \sin (\alpha_\delta + \beta_0') h_b (l_6 - l_2) V_6 \cos \beta_0' - \\ - V_6 \sin (\alpha_\delta + \beta_0') h_c (l_d - l_2) V_6 + \\ + V_{uu}^2 \sin (\alpha_\delta + \beta_0) h_c (l_d - l_2) \cos \beta_0 - \\ - V_{uu} V_6 \sin (\alpha_\delta + \beta_0) h_c (l_d - l_2).$$

Разделим на $V_6 h_6 l_d \sin \alpha_\delta$ и умножим на 2:

$$\frac{2gz}{V_6^2} (1 - \bar{h}_c) K_\delta = 2 \bar{V}_6^2 \frac{\sin (\alpha_\delta + \beta_0)}{\sin \alpha_\delta} \bar{h}_6 (1 - \bar{l}_2) \cos \beta_0' - \\ - 2 \bar{V}_6 \frac{\sin (\alpha_\delta + \beta_0')}{\sin \alpha_\delta} \bar{h}_c (1 - \bar{l}_2) + \\ + 2 \bar{V}_{uu}^2 \frac{\sin (\alpha_\delta + \beta_0)}{\sin \alpha_\delta} \bar{h}_c (1 - \bar{l}_2) \cos \beta_0 - \\ - 2 \bar{V}_{uu} \frac{\sin (\alpha_\delta + \beta_0)}{\sin \alpha_\delta} \bar{h}_c (1 - \bar{l}_2), \quad (13)$$

откуда величина z будет равна

$$z = \frac{V_6^2}{2g(1 - \bar{h}_c) K_\delta} [2 \bar{V}_6^2 a_1 (1 - \bar{l}_2) \bar{h}_6 \cos \beta_0' - \\ - 2 \bar{V}_6 a_1 \bar{h}_c (1 - \bar{l}_2) + \\ + 2 \bar{V}_{uu}^2 a_2 (1 - \bar{l}_2) \bar{h}_c \cos \beta_0 - 2 \bar{V}_{uu} a_2 \bar{h}_c (1 - \bar{l}_2)], \quad (14)$$

где K_δ – корректирующий коэффициент при гидростатическом законе распределения давлений $K_\delta = 1$; $\bar{h}_6 = h_6 / h_6'$; $\bar{h}_c = h_c / h_6'$ – относительные глубины потока на водосливной и в сквозной части; \bar{V}_6, \bar{V}_{uu} – скорости на водосливной части и нижнем потоке через тело сквозной части; β_0', β_0 – углы растекания соответственно водосливного и нижнего потока.

В частных случаях из (14) имеем:

а) при $l_2 = 0$ приходим к затопленной части по всей длине сквозной дамбы, где

$$z = \frac{V_6^2}{2g(1 - \bar{h}_c) K_\delta} \left[2 \bar{V}_6^2 a_1 \bar{h}_6 \cos \beta_0' - 2 \bar{V}_6 a_1 \bar{h}_c + \right. \\ \left. + 2 \bar{V}_{uu}^2 a_2 \bar{h}_c \cos \beta_0 - 2 \bar{V}_{uu} a_2 \bar{h}_c \right]; \quad (15)$$

б) при $\bar{l}_2 = 1, V_{uu} = 0$, т. е. для затопленной глухой преграды, приходим к зависимости, полученной в работе [3].

Теперь запишем уравнение энергии для водосливного потока, взяв плоскость сравнения на уровне воды над условным порогом [3]:

$$z + \frac{V_6^2}{2g} = \frac{V_6^2}{2g} (1 + \zeta) \quad (16)$$

или

$$z = \frac{(1 + \zeta) V_6^2 - V_6^2}{2g}, \quad (17)$$

где ζ – коэффициент, учитывающий потери воды на подходе при набегании потока на условный порог $\zeta = 0,12$ ч $0,15$.

Подставляя (17) в (14), имеем:

$$\left(\frac{V_6}{V_6'} \right)^2 + \frac{V_6}{V_6'} \frac{2a_1 \bar{h}_6}{\left[(1 + \zeta) (1 - \bar{h}_c) K_\delta - 2a_1 \bar{h}_6 \cos \beta_0' \right]} - \\ - \frac{\left[2 \bar{V}_{uu}^2 a_2 \bar{h}_c \cos \beta_0 - 2 \bar{V}_{uu} a_2 \bar{h}_c + (1 - \bar{h}_c) K_\delta \right]}{(1 + \zeta) (1 - \bar{h}_c) K_\delta - 2a_1 \bar{h}_6 \cos \beta_0} = 0. \quad (18)$$

Откуда приходим к квадратному уравнению для определения относительных скоростей на водосливной части комбинированной дамбы:

$$\left(\frac{V_6}{V_6'} \right)^2 + 2 \frac{a_1 \bar{h}_6}{b} \zeta \frac{V_6}{V_6'} - \frac{c}{b} = 0, \quad (19)$$

где $b = (1 + \zeta) (1 - \bar{h}_c) K_\delta - 2a_1 \bar{h}_6 \cos \beta_0'$;

$$c = 2 \bar{V}_{uu} a_2 \bar{h}_c \cos \beta_0 + (1 - \bar{h}_c) K_\delta.$$

При $\bar{l}_2 = 1, V_{uu} = 0$ приходим к обтеканию затопленной глухой преграды [3].

Входящие в полученные зависимости углы растекания β_0, β_0' для водосливного потока определяются по рекомендациям работы [3], а для потока, проходящего через сквозную часть, по рекомендациям работы [4].

Задача по разработанной выше методике решается в следующей последовательности:

а) по рекомендациям [4] вычисляются скорости за сквозной частью дамбы V_{uu} ;

б) скорости воды на водосливной части V_6 определяются по зависимости (19), а подпор z – по (14);

в) коэффициент обтекания комбинированной дамбы, сквозная часть которой затоплена, определяется по зависимости (9);

г) вычисляются удельные расходы $q_6 = V_6 h_6, q_{uu} = V_{uu} h_{uu}$ и q_0 по зависимости (6);

д) устанавливается относительное отклонение динамической оси потока по зависимости (4).

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Относительные скорости на водосливной части зависят от скорости воды, проходящей через сквозную часть тела дамбы, от относительных глубин и углов растекания потока на водосливной и сквозной частях дамбы.

2. Перепад уровней зависит от бытовых скоростей, скорости на водосливной и за сквозной частях, относительной длины глухой части и от относительных глубин затопления, углов растекания потока и установки дамбы.

3. Коэффициент обтекания комбинированной дамбы, характеризующий её пропускную способность является функцией относительных скоростей на водосливной и сквозной частях, коэффициента застройки, относительной длины глухой части, а также углов растекания и установки дамбы.

4. Величина удельного расхода в нестесненной части потока, зависит от удельных расходов водосливной и сквозной частей, степени стеснения глухой и сквозной частей дамбы.

5. Относительное отклонение динамической оси потока, стесненного комбинированной дамбой со сквозной частью постоянной застройки, зависит от соотношения удельных расходов на водослив-

ной, сквозной и в нестесненной части, от степени стеснения глухими и сквозными частями, а также от общей степени стеснения потока.

Литература

1. *Бакиев М.Р.* Двустороннее симметричное стеснение потока комбинированными дамбами с переменной застройкой по длине / М.Р. Бакиев, С.Э. Шукурова // Матер. научн.-практич. конф. "Оценка риска и проблемы безопасности в строительном комплексе". Баку, 2013.
2. *Бакиев М.Р.* Определение отклонения динамической оси потока, двусторонне стесненного комбинированной дамбой (сквозная часть выполнена с переменной застройкой) / М.Р. Бакиев, С.Э. Шукурова // Матер. межд. научн.-практич. конф. "Проблемы комплексного обустройства техноприродных систем". Часть III. Гидротехническое строительство. М., 2013. С. 313–318.
3. *Образовский А.С.* Гидравлика затопленных водоприемных оголовков / А.С. Образовский. М.: Гос. изд. по строит., архит. и строит. материалам, 1963.
4. *Уркинбаев Р.К.* Некоторые вопросы гидравлики сквозных шпор / Р.К. Уркинбаев // Тр. САНИРИИ им. В.Д. Журина. Вып. 117. Руслловые процессы. Ташкент, 1968.