

УДК 627.42

ОЦЕНКА ОТКЛОНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСИ ПОТОКА, СТЕСНЕННОГО КОМБИНИРОВАННОЙ ДАМБОЙ СО СКВОЗНОЙ ЧАСТЬЮ ПЕРЕМЕННОЙ ЗАСТРОЙКИ

М.Р. Бакиев, С.Э. Шукурова

Получены аналитические зависимости для определения относительного отклонения динамической оси потока, относительных удельных расходов в створе стеснения, а также для оценки пропускной способности сквозной части комбинированной дамбы с переменной застройкой.

Ключевые слова: регулирование русла; дамба; комбинированная дамба; застройка; сквозная дамба; переменная застройка.

ASSESSMENT OF THE DEVIATION OF THE DYNAMIC AXIS OF FLOW CONSTRAINED BY THE COMBINED DAM WITH THROUGH PART OF THE VARIABLE OF BUILDING

M.R. Bakiev, S.E. Shukurova

It is received analytical dependences for the determination of the relative deviation of the dynamic flow axis relative unit costs in the alignment constraint, as well as to assess the capacity of the dam through a combination of variable construction development.

Key words: regulation of the channel; dam; combined dam; construction; the through dam; construction variable

Основными причинами аварийных ситуаций и разрушений защитно-регуляционных сооружений являются как несовершенство их конструкций, так и методов проектирования, связанных с неточным прогнозом русловых переформирований после устройства их в русле реки или пойме.

Работа сквозных сооружений свайного типа с постоянной застройкой рассмотрена в работах [1–4], а с переменной застройкой – в работе [5].

Работа комбинированных дамб, сквозная часть которых выполнена с постоянной застройкой, рассмотрена в работах [7–9].

Анализ результатов последних работ в этом направлении [9–11] указывает на необходимость развития методов теоретических и экспериментальных исследований применительно к наиболее капитальным сооружениям, комбинированным дамбам, в которых сквозная часть выполнена с переменной застройкой.

Для комбинированной дамбы со сквозной частью переменной застройки общий коэффициент застройки равен отношению площади, занятой элементами дамбы, к площади русла, перекрываемой дамбой:

$$P_{0з} = \frac{W_з}{W} = \frac{l_2 + dN}{l_2 + dN + S_1 + S_2 + \dots + S_N}. \quad (1)$$

При этом коэффициент застройки сквозной части равен:

$$P_з = \frac{dN}{(dN + S_1 + S_2 + \dots + S_N)}. \quad (2)$$

А для сквозной шпору с постоянной застройкой

$$P_0 = \frac{d}{(d + S)}, \quad (3)$$

где N – количество элементов сквозной части; $S_{1,2,3,\dots,N}$ – расстояние между элементами; d – диаметр (толщина) элемента.

Чтобы определить расстояние между элементами дамбы предварительно задаются размером застройки у оголовка в пределах 0,272–0,3, а в месте примыкания к глухой части, равной единице, с помощью формулы (3) находят S_1 и S_N . Расстояние между элементами по длине сквозной части, начиная от S_2 к корню, определяется как:

$$S_i = S_{i-1} - \Delta S, \quad (4)$$

где $\Delta S = \frac{(S_1 - S_N)}{(N - 2)}$; i – порядковый номер элемента $i > 2$.

Коэффициент застройки сквозной части не должен превышать 0,65, т. е. предела, после которого сквозная шпора начинает работать как глухая. Задавая значения $P_з \leq 0,65$ по формуле (2) опре-

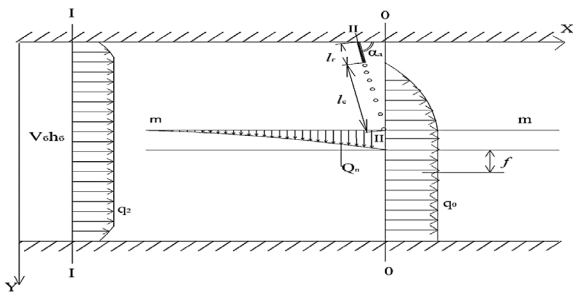


Рисунок 1 – Схема потока, стесненного комбинированной дамбой со сквозной частью переменной застройки

деляют количество элементов N , необходимых для строительства.

Схема потока стесненного комбинированной дамбой с переменной застройкой показана на рисунке 1.

Ось X совпадает с направлением потока, ось Y расположена нормально к ней, они обе лежат в горизонтальной плоскости. Створ I-I, где сохраняется бытовое состояние потока, 0-0 – створ стеснения.

Задачи исследований: установление отклонения динамической оси потока под действием комбинированной дамбы со сквозной частью переменной застройки; определение пропускной способности комбинированной дамбы со сквозной частью переменной застройки.

При проектировании трассы регулирования русел необходимо знать величину отклонения динамической оси потока каждой дамбой, такая же задача возникает при регулировании русел при водозаборе. Для этого воспользуемся теоремой Вариньона [5], которая относительно оси X для створов I-I и 0-0 запишется как:

$$q_2 B \left(\frac{B}{2} + f \right) = q_0 \frac{l_c \sin \alpha_0}{2} \left(l_c \sin \alpha_0 + \frac{2}{3} l_c \sin \alpha_0 \right) + q_0 b_0 (l_o \sin \alpha_0 + 0,5 b_0), \quad (5)$$

где q_2, q_0 – удельные расходы в створах I-I и 0-0; l_c, l_o, l_r – общая длина сквозных и глухих частей комбинированной дамбы; α_0 – угол установки дамбы; B, b_0 – общая ширина потока и ширина нестесненной части русла.

Левую и правую часть уравнения (5) разделим на B и выполнив некоторые преобразования найдем относительное отклонение динамической оси потока:

$$\lambda_f = \frac{f}{B} = \frac{q_0}{q_2} \left[0,5 n_c \left(\frac{2}{3} n + \frac{1}{3} n_c \right) + 0,5 (1-n)^2 \right] - 0,5, \quad (6)$$

где $n = l_o \sin \alpha_0 / B, n_c = l_c \sin \alpha_0 / B, n_c = l_c \sin \alpha_0 / B$ – общая степень стеснения в плане глухой и сквозной частями.

В частных случаях, когда:

а) комбинированная дамба отсутствует $n=0, n_c=0, q_0=q_2, \lambda_f=0$;

б) когда $l_c=0, l_o=l_r$, т. е. имеем стеснение глухой дамбой:

$$\lambda_f = 0,5 \frac{q_0}{q_2} (1-n)^2 - 0,5; \quad (7)$$

в) когда $l_c=0, l_o=l_r, n=n_c$ – стеснение сквозной дамбой переменной застройки:

$$\lambda_f = \frac{q_0}{q_2} \left[\frac{1}{3} n_c^2 + 0,5 (1-n_c^2) \right] - 0,5; \quad (8)$$

г) когда $l_c=0, P=const, l_o=l_r$ – стеснение сквозной дамбой с постоянной застройкой. Определяем зависимость, полученную в работе [5]:

$$\lambda_f = 0,5 \left[\frac{q_w}{q_2} n_c^2 + \frac{q_0}{q_2} (1-n_c^2) - 1 \right]. \quad (9)$$

Для определения удельных расходов в нестесненной части потока воспользуемся уравнением сохранения расхода, записанного для створов I-I и 0-0:

$$q_2 B = \int_{l_c \sin \alpha_0}^{(l_c+l_o) \sin \alpha_0} U \cdot dy + q_0 b_0 \quad (10)$$

Распределение скоростей и удельных расходов примем по зависимости Шлихтинга–Абрамовича:

$$\frac{U_w}{U_0} = (1-z^{1,5})^2, \quad (11)$$

где U_w, U_0 – скорости за сквозной частью и в нестесненной части; $z = \frac{l_o \sin \alpha_0 - y}{l_c \sin \alpha_0}$ – относительная ордината точки.

Выполняя интегрирование уравнения (10), получим:

$$q_2 B = 0,55 l_c \sin \alpha_0 \cdot q_0 + q_0 b_0$$

Откуда

$$\frac{q_0}{q_2} = \frac{1}{1 - 0,45n - 0,55n_c}. \quad (12)$$

Сравнение полученных зависимостей показало, что при стеснении потока $n=0$ и $n=1$ в случае постоянной застройки $\lambda_f = 0$, т. е. отклонение динамической оси потока отсутствует, а в случае переменной застройки – $\lambda_f = 0$ только при $n=0$, а при $n=1, \lambda_f \neq 0$, т. е. поперечное течение потока сохраняется.

Для оценки пропускной способности введен коэффициент обтекания комбинированной дамбы со сквозной частью переменной застройки:

Таблица 1 – Результаты расчета комбинированной дамбы со сквозной частью переменной застройки

B (м)	l _n (м)	sin α	ld*sin α	n	l _r (м)	n _r	l _c (м)	n _c	q ₀ /q ₂	λ _f
1200	137,9	0,87	120	0,1	137,9	0,10	0,0	0,00	1,11	0,050
1200	137,9	0,87	120	0,1	103,4	0,08	34,5	0,03	1,09	0,043
1200	137,9	0,87	120	0,1	69,0	0,05	69,0	0,05	1,08	0,036
1200	137,9	0,87	120	0,1	34,5	0,03	103,4	0,08	1,06	0,029
1200	137,9	0,87	120	0,1	0,0	0,00	137,9	0,10	1,05	0,022
1200	275,9	0,87	240	0,2	275,9	0,20	0,0	0,00	1,25	0,100
1200	275,9	0,87	240	0,2	206,9	0,15	69,0	0,05	1,21	0,086
1200	275,9	0,87	240	0,2	137,9	0,10	137,9	0,10	1,17	0,071
1200	275,9	0,87	240	0,2	69,0	0,05	206,9	0,15	1,13	0,057
1200	275,9	0,87	240	0,2	0	0,00	275,9	0,20	1,10	0,042
1200	413,79	0,87	360	0,3	413,8	0,30	0	0,00	1,43	0,150
1200	413,79	0,87	360	0,3	310,3	0,23	103,4	0,08	1,35	0,128
1200	413,79	0,87	360	0,3	206,9	0,15	206,9	0,15	1,28	0,105
1200	413,79	0,87	360	0,3	103,4	0,08	310,3	0,23	1,21	0,083
1200	413,79	0,87	360	0,3	0	0,00	413,8	0,30	1,16	0,061
1200	551,72	0,87	480	0,4	551,7	0,40	0,0	0,00	1,67	0,200
1200	551,72	0,87	480	0,4	413,8	0,30	137,9	0,10	1,53	0,169
1200	551,72	0,87	480	0,4	275,9	0,20	275,9	0,20	1,41	0,138
1200	551,72	0,87	480	0,4	137,9	0,10	413,8	0,30	1,31	0,108
1200	551,72	0,87	480	0,4	0,0	0,00	551,7	0,40	1,22	0,077
1200	689,66	0,87	600	0,5	689,7	0,50	0,0	0,00	2,00	0,250
1200	689,66	0,87	600	0,5	517,2	0,38	172,4	0,13	1,76	0,210
1200	689,66	0,87	600	0,5	344,8	0,25	344,8	0,25	1,57	0,170
1200	689,66	0,87	600	0,5	172,4	0,13	517,2	0,38	1,42	0,131
1200	689,66	0,87	600	0,5	0,0	0,00	689,7	0,50	1,29	0,091

$$K_0 = \frac{Q_{ш}}{Q_2}, \quad (13)$$

где $Q_{ш}$ – расход, проходящий через сооружение; Q_2 – расход, набегающий на сооружение.

Составим уравнение сохранения расхода для сечений I-I и II-II с граничными токами m-m, проходящими через оголовки дамбы:

$$K_0 V_0 h_0 l_0 \sin \alpha_0 = h_{ш} \sin(\alpha_0 + \beta) \cdot (1 - P_3) \int_{l_c}^{l_0} U dy. \quad (14)$$

Выполняя интегрирование в уравнении (14) с учетом (11), получим:

$$K_0 = \psi \frac{q_{ш}}{q_2} \cdot \left(1 - \frac{l_c}{l_0}\right) \cdot (1 - P_3) a, \quad (15)$$

где $a = \frac{\sin(\alpha_0 + \beta_0)}{\sin \alpha_0}$; β_0 – угол растекания [2]; $\psi=0,55$ – относительный дефицит скорости в формуле Шлихтинга–Абрамовича (11). Средние удельные расходы $q_{ш}$ вычислим по рекомендации [2] со сквозной частью переменной застройки.

Подставляя в (15), получим коэффициент обтекания комбинированной дамбы:

$$K_0 = \psi \sqrt{\frac{2\zeta + 1}{\zeta + 1}} \left[1 + \frac{1}{3} Fr_0 (1 - \zeta)\right] \cdot \left(1 - \frac{l_c}{l_0}\right) (1 - P_3) a, \quad (16)$$

где $Fr_0 = \frac{V_0^2}{gh_0}$; ζ – коэффициент сопротивления комбинированной дамбы [2].

При вычислении ζ по [2, 7] необходимо принять $P = P_3$, $n_c = n_w$ или $P = P_{03}$, $n_c = n$; где $n_w = \frac{W_3}{W_0}$ – отношение площади, занятой глухими элементами, на общую площадь бытового русла.

С помощью предложенной методики выполнен пример расчета применительно к участку р. Амударья в районе бесплотинного водозабора в Каршинский магистральный канал. Результаты расчета приведены в таблице 1 и на рисунках 2, 3.

Как видно из данных таблицы 1 и графиков на рисунках 2, 3, увеличение степеней стеснения n, n_c приводит к увеличению относительных удельных расходов q_0 / q_2 и относительной ширине отклонения динамической оси потока λ_f .

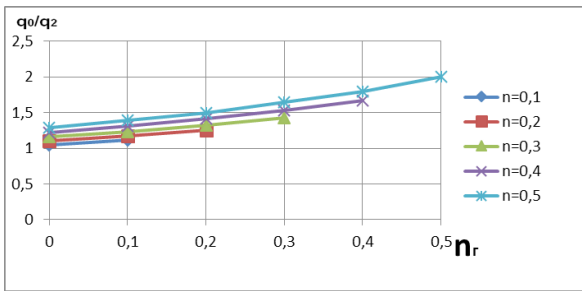


Рисунок 2 – Влияние степени стеснения глухой частью комбинированной дамбы на относительные удельные расходы в створе стеснения

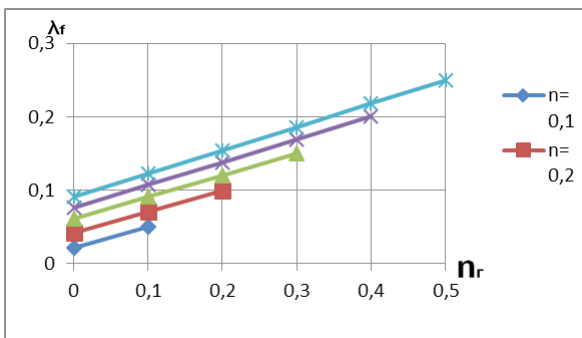


Рисунок 3 – Влияние степени стеснения глухой частью комбинированной дамбы на динамическую ось потока

На графике видно, что при $n_r=0$ (крайние левые точки) и при $n_r=n$ (крайние правые точки) относятся к случаям, когда поток стеснен сквозной шпорой с переменным коэффициентом застройки, и когда поток стеснен глухой дамбой.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

С увеличением степени стеснения общей n и глухой части n_r относительные удельные расходы q_0 / q_2 в створе стеснения возрастают.

Относительное отклонение динамической оси потока, стесненного комбинированной дамбой со сквозной частью переменной застройки, зависит от относительных расходов, степеней стеснения общей, глухой и сквозной частей. С их увеличением λ_f – возрастает.

Пропускная способность комбинированной дамбы со сквозной частью переменной застройки зависит от относительной длины глухой части l_2 / l_0 ,

коэффициента сопротивления ζ , коэффициента застройки P_3 , угла установки α_d и числа Фруда Fr_0 .

Литература

1. Кириенко И.И. Обтекание потоком сквозной полузапруды. Гидравлика и гидротехника / И.И. Кириенко, А.Е. Щодро, В.Д. Шуминский, М.Н. Бухин // Матер. респ. межвед. науч.-техн. сб. Киев: Техника, 1988. Вып. 47. С. 30–34.
2. Уркинбаев Р. Некоторые вопросы гидравлики сквозных шпор / Р. Уркинбаев // Труды САНИ-ИРИ им. В.Д. Журина. Вып. 117. Руслевые процессы. Ташкент, 1968.
3. Бакиев М.Р. Закономерности растекания потока за глухой и сквозной шпорой: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.Р. Бакиев. Ташкент, 1974.
4. Абдирасилов С.А. Исследование гидравлических характеристик руслевых потоков, стесненных сквозными сооружениями свайного типа / С.А. Абдирасилов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ташкент, 1976.
5. Бакиев М.Р. Гидравлический расчет сквозных шпор с переменной застройкой / М.Р. Бакиев, Н.П. Тогунова // Гидротехническое строительство. 1989. №12.
6. Bakiev M.R. River bed regulation by cross combined dikes / M.R. Bakiev // Study of streams and water sheds of high hydraulic irregularity. XXIV Jahr congress (Madrid) 9–13 sept., 1991.
7. Кодиров О. Совершенствование конструкций и разработка метода гидравлического расчета комбинированных дамб: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. Кодиров. Ташкент, 1993.
8. Бакиев М.Р. Некоторые вопросы гидравлики комбинированных дамб / М.Р. Бакиев, О. Кодиров, Р. Мурадов // Матер. XV Пленарн. межвуз. коорд. совета по проблеме эрозионных, руслевых и устьевых процессов. Волгоград–Москва, 2000.
9. Ламерданов З.Г. Методические основы проектирования берегозащитных сооружений с учетом морфологических условий рек / З.Г. Ламерданов, Т.Ю. Хаширова, А.Х. Дышенов // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. №1.
10. Хмелев В.А. Сооружения активного типа для защиты берегов от разрушения: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Хмелев. Новосибирск, 2005.
11. Тлявлин Р.М. Проницаемые волногасящие гидротехнические сооружения в жестком каркасе: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Р.М. Тлявлин. Сочи, 2006.