

величины l, h, Ψ, S, v [8], а также гидравлические элементы для случаев потери устойчивости льдин (8 серий), беззаторного режима (11 случаев) и заторособразования (4 случая). Обработка результатов обычными методами математической статистики показала, что зависимости (1)---(9) в основном правильно отражают действительный механизм явления. Совпадение расчётных данных с опытными хорошее, а с натурными удовлетворительное. Это позволяет рекомендовать формулы (1)---(9) для предварительных расчетов и использовать их как основу для более детальных вычислений и прогноза режима ледохода.

Л и т е р а т у р а

1. Деев Ю. А. Образование, расчеты и предупреждение заторов льда. -- В сб.: Материалы III Всесоюзной научно-технической конференции. Гидравлика дорожных водопропускных сооружений. Гомель, 1973. 2. Деев Ю. А. Физические основы образования заторов льда. -- "Наф. бюл. АН УССР. Метеорология и гидрология", 1964, № 7. 3. Быдин Ф. И. О принципах борьбы с ледоходом. -- "Труды транспортно-энергетического института, Сиб. отд. АН СССР", 1961, вып. 11. 4. Бердеников В. П. Методы расчета давления заторных и сажорных масс льда на сооружения. -- "Труды ГГИ", 1967, вып. 148. 5. Гоглиб Я. И. и др. Пропуск льда при строительстве и эксплуатации гидроузлов. М., 1973. 6. Коржовкин К. Н. Опыт и условия беззаторного пропуска льда в отверстиях мостов. -- В сб.: Материалы III Всесоюзной научно-технической конференции. Гидравлика дорожных водопропускных сооружений. Гомель, 1973. 7. Деев Ю. А. К теории ледохода (о возникновении заторов льда). -- В сб.: Материалы XXII научной сессии Черновицкого государственного университета. Сер. геогр. Черновцы, 1966. 8. Рымша В. А. Ледовые исследования на реках и водохранилищах. Л., 1959.

Д. А. Козлов, И. Г. Лазаревич, А. В. Молочко

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ УСТЬЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ

В устье мелиоративных каналов с целью регулирования водного режима осушаемых земель устанавливаются водопропускные сооружения: шлюзы-регуляторы, трубы-регуляторы. В данной статье рассматриваются особенности определения пропускной способности устьевых сооружений.

Вопросам, связанным со слиянием потоков, посвящен ряд исследований [1--5]. Так, в работе [3] предложено использовать закон количества движения для учета изменения глубины, вызванного присоединением расхода к основному потоку. Для русел прямоугольного сечения составлено уравнение, решаемое подбором. Проведенные экспериментальные исследования [5] показали достаточную точность такого подхода к этому вопросу. Аналогичные уравнения составлены Ю.А.Ибад-Заде [4]. В статье [6] разработан графический способ решения уравнений для каналов прямоугольного сечения.

Расчету глубины, устанавливающейся в месте слияния потоков в узких осушительных каналах трапецидального сечения, посвящены исследования Л.А.Холодка [5]. Принято, что в зоне слияния в основном и боковом руслах устанавливается одинаковая глубина h_1 . Для ее определения на основании теоремы количества движения получено уравнение, точность которого подтверждена опытными данными. Указывается, что в принимающем и впадающем каналах до слияния образуются кривые подпора, распространяющиеся на значительные расстояния, после же слияния—кривая спада. Бытовая глубина h_1 , соответствующая равномерному движению в принимающем канале, устанавливается на сравнительно небольшом расстоянии от места слияния. Зная h_1 , можно по известным методам построить кривые подпора, вызванного слиянием потоков, и рассчитать уровни в каналах до слияния. Однако конкретные рекомендации по вычислению глубины в зоне слияния потоков h_1 отсутствуют.

Особое значение имеет правильное определение глубины в зоне слияния h_1 при расчете мелиоративных каналов, когда в устье впадающего канала имеется водопропускное сооружение. Обычно пропускная способность его определяется по глубине в верхнем бьефе H и по величине перепада на шлюзе $z = H - h$. Однако, как показали опыты, при данных H и z расход впадающего канала может меняться значительно при изменении параметров потока в принимающем канале.

Исследовался канал шириной по дну $b = 8$ м (заложение откосов $m = 2,5$, строительная глубина $3,7$ м), в который под прямым углом впадал канал младшего порядка (ширина по дну $b^1 = 6,0$ м, заложение откосов $m^1 = 2,0$). В устье впадающего канала расположен шлюз-регулятор с пролетом $b^1 = 5,5$ м. Модель, выполненная в масштабе 1:20, была установлена в двух гидравлических лотках. Измерение расходов

производилось треугольными измерительными водосливами, расположенными в оголовках лотков, уровней воды — мерными иглами. Опыты проводились при глубине H перед шлюзом 3 и 4 м и перепаде z на шлюзе 0,3 и 0,5 м.

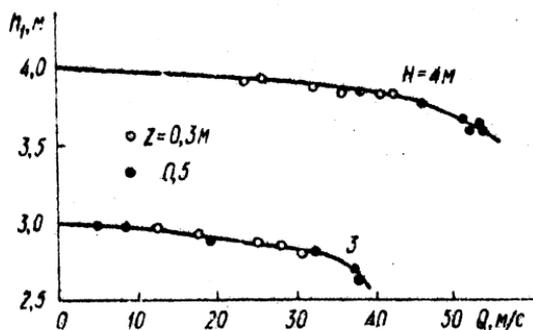


Рис. 1. График пропускной способности шлюза-регулятора $Q_2 = f(H, h_1)$.

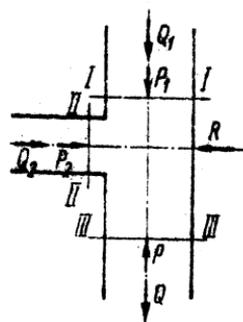


Рис. 2. Схема течения.

Расход принимающего канала Q_1 изменялся, вследствие чего изменялся и расход выдающего канала Q_2 . Это объясняется тем, что шлюз-регулятор работает в условиях подтопленного истечения и его пропускная способность определяется глубиной перед шлюзом H и глубиной в нижнем бьефе, т.е. в зоне слияния потоков h_1 , которая зависит от соотношения расходов. По данным опытов построены графики (рис.1), подтверждающие, что расход Q_2 полностью определяется величинами H и h_1 , а не перепадом на шлюзе z или бытовой глубиной в принимающем канале после слияния потоков h .

Таким образом, пропускная способность устьевоего сооружения может быть найдена обычными способами по глубине перед ним и по глубине в устье выдающего канала h_1 . Если определять пропускную способность, как это принято, без учета повышения глубины в зоне слияния, то расход устьевоего сооружения оказывается завышенным и погрешность может достигать 100%.

Величину h_1 предлагается выразить через параметры потока в принимающем канале ниже места слияния

$$h_1 = h + \Psi \frac{v^2}{2g}, \quad (1)$$

где $v = \frac{Q}{\omega}$, $Q = Q_1 + Q_2$ -- расход принимающего канала после слияния.

Для определения коэффициента Ψ применим также, как в работах [3--6], закон количества движения, который для отсека жидкости между сечениями I--I, II--II и III--III (рис.2) имеет вид

$$\alpha_{01} \rho Q_1 \bar{v}_1 - \alpha_0 \rho Q \bar{v} + \alpha_{02} \rho Q_2 \bar{v}_2 = \bar{P} - \bar{P}_1 - \bar{P}_2 + \bar{R}, \quad (2)$$

где $\alpha_0, \alpha_{01}, \alpha_{02}$ -- коррективы количества движения; P, P_1, P_2 -- силы гидродинамического давления; R -- реакция стенки.

Проектируем (2) на направление движения жидкости в принимающем канале:

$$\alpha_0 \rho Q v - \alpha_{01} \rho Q_1 v_1 = P_1 - P$$

или

$$\frac{\alpha_{01} Q_1^2}{g \omega_1} + h_{c1} \omega_1 = \frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega} + h_c \omega, \quad (3)$$

где h_c, h_{c1} -- глубина центра тяжести сечений I--I и III--III; ω_1, ω -- площадь сечений.

Уравнение (3) в случае трапецеидального сечения канала сводится к уравнению шестой степени, не имеющему решения в радикалах [5]. Рассмотрим частный случай, когда расход в принимающем канале до слияния равен нулю ($Q_1 = 0, Q_2 = Q$). Как показывают опыты, это наиболее интересный случай, так как здесь имеет место максимальная величина коэффициента Ψ , по мере же увеличения отношения $\frac{Q_1}{Q}$ он убывает до нуля. При этом уравнение (3) упрощается, что дает возможность выразить h_1 и Ψ в явном виде:

$$h_{c1} \omega_1 = \frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega} + h_c \omega. \quad (4)$$

Рассмотрим прямоугольное сечение канала, тогда $h_c = \frac{h}{2}$,

$\omega = bh$ и уравнение (4) принимает вид

$$\left(\frac{h_1}{h}\right)^2 - 2 Fr + 1 = 0, \quad (5)$$

где $Fr = \frac{\alpha_0 v^2}{gh} = \frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega^2 h}$.

Решением неполного квадратного уравнения (5) являются два корня

$$\frac{h_1}{h} = \pm \sqrt{1 + 2 Fr}. \quad (6)$$

Физический смысл имеет первый положительный корень. Для нахождения коэффициента Ψ разделим выражение (1) на h :

$$\frac{h_1}{h} = 1 + \Psi \frac{v^2}{2gh}$$

или $\frac{\Psi}{\alpha_0} = \frac{2}{Fr} \left(\frac{h_1}{h} - 1\right). \quad (7)$

Подставляя решение уравнения (4) в (7), получаем формулу для вычисления коэффициента Ψ :

$$\frac{\Psi}{\alpha_0} = \frac{2}{Fr} (\sqrt{1 + 2 Fr} - 1). \quad (8)$$

Таблица 1

Fr		0,001	0,005	0,01	0,05
		Форма сечения			
Трапецидаль- ная	Прямоугольная	2,0	2,0	2,0	1,980
	$\delta = 3,0$	2,0	2,0	2,0	1,960
	$\delta = 2,0$	2,0	2,0	2,0	1,940
	$\delta = 1,0$	2,0	2,0	2,0	1,923
	$\delta = 0,5$	2,0	2,0	2,0	1,921
Треугольная		2,0	2,0	2,0	1,920

Рассмотрим канал треугольного сечения. Тогда $h_c = \frac{h}{3}$, $\omega = mh^2$ (m -- заложение откоса) и уравнение (4) принимает вид

$$\left(\frac{h_1}{h}\right)^3 - 3 Fr - 1 = 0. \quad (9)$$

Кубическое уравнение (9) имеет один действительный корень

$$\frac{h_1}{h} = \sqrt[3]{1 + 3 Fr}. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (7), получаем формулу для коэффициента Ψ в случае треугольного сечения канала

$$\frac{\Psi}{\alpha_0} = \frac{2}{Fr} (\sqrt[3]{1 + 3 Fr} - 1). \quad (11)$$

В табл. 1 приведено значение $\frac{\Psi}{\alpha_0}$, подсчитанное по полученным формулам.

Как видно из табл. 1, при $Fr < 0,01$ форма сечения канала практически не влияет на величину коэффициента Ψ .

Обычно каналы имеют трапецидальное сечение. В этом случае

$$\omega = (b+mh)h, \quad h_c = \frac{h}{3} = \frac{3b + 2mh}{b + mh} = \frac{h}{3} + \frac{bh^2}{6\omega}$$

Fr	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0
	1,900	1,830	1,765	1,710	1,655	1,464
1,895	1,810	1,722	1,665	1,605	1,394	
1,880	1,782	1,700	1,640	1,565	1,340	
1,870	1,760	1,672	1,605	1,530	1,287	
1,830	1,735	1,635	1,560	1,495	1,246	
1,820	1,700	1,594	1,505	1,429	1,174	

Как видно, при $m = 0$ трапеция превращается в прямоугольник, а при $b = 0$ в треугольник, поэтому значение коэффициента Ψ для канала трапецеидального сечения будет находиться между значениями, указанными в табл. 1 для прямоугольника и треугольника при одном числе Fr . Уравнение (4) для трапецеидальной формы сечения запишется следующим образом:

$$h_1^3 \frac{m}{3} + h_1^2 \frac{b}{2} = \left(\frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega^2} + \frac{h}{3} \right) (b + mh) h + \frac{bh^2}{6}. \quad (12)$$

После некоторых преобразований (12) может быть сведено к виду

$$\left(\frac{h_1}{h} \right)^3 + \frac{3}{2} \delta \left(\frac{h_1}{h} \right)^2 - (3Fr_2 + 1)(\delta + 1) - \frac{\delta}{2} = 0, \quad (13)$$

где $Fr = \frac{\alpha_0 Q^2}{g \omega^2 h}$, $\delta = \frac{b}{mh}$ — величина, характеризующая сечение; $\delta = 0$ соответствует треугольному сечению; $\delta = \infty$ — прямоугольному.

Количество корней кубического уравнения (13) зависит от знака дискриминанта. Если он положителен, то уравнение имеет одно решение

$$\frac{h_1}{h} = \delta \left(\operatorname{ch} \frac{\varphi}{3} - \frac{1}{2} \right), \quad (14)$$

где $\varphi = \operatorname{arch} \left[4(3Fr + 1) \frac{\delta + 1}{\delta^3} + \frac{2}{\delta^2} - 1 \right]$.

Подставляя (14) в (7), получаем формулу для вычисления коэффициента Ψ в случае трапецеидальной формы сечения канала:

$$\frac{\Psi}{\alpha_0} = \frac{2}{Fr} \left[\delta \left(\operatorname{ch} \frac{\varphi}{3} - \frac{1}{2} \right) - 1 \right]. \quad (15)$$

Результаты вычислений по этой формуле приведены в табл. 1, которая позволяет определить величину Ψ , а затем глубину h_1 для случая слияния потоков под углом $\frac{\pi}{2}$ при

$$\frac{Q_1}{Q} = 0.$$

Опытные данные, полученные при исследовании, хорошо согласуются с вычисленными теоретически по формуле (1). Некоторые результаты сравнения приведены в табл.2. Величина корректива количества движения в сечении III--III принималась $\alpha_0 = 1,0$.

Таким образом, на основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать вывод, что при слиянии потоков под углом $\frac{\pi}{2}$ наибольшее влияние на величину коэффициента Ψ оказывает соотношение расходов до и после слияния $\frac{Q_1}{Q}$. При $\frac{Q_1}{Q} = 0$ коэффициент Ψ имеет максимальное значение, которое вычислено теоретически для каналов прямоугольного, треугольного и трапециевидного сечений в виде формул (8), (11), (15) или табл. 1. При увеличении соотношения расходов $\frac{Q_1}{Q}$ до 1 коэффициент Ψ убывает до нуля. Форма сечения канала на величину Ψ влияет мало, особенно при небольших числах Fr . При увеличении числа Fr в принимающем канале коэффициент Ψ несколько убывает, при малых Fr можно считать Ψ независимым от Fr . Параметры втекающего потока незначительно влияют на величину коэффициента Ψ . В случае сопряжения каналов с разными отметками дна, при различной ширине и заложении откосов впадающего канала, а также наличии в устье его шлю-

Таблица 2

№ п/п.	H, м	z, м	Q ₂ , м ³ /с	δ	Fr	h ₁ , м	
						опытное	теоретическое
1	4,0	0,50	53,5	0,914	0,0245	3,59	3,582
2	4,0	0,30	42,0	0,865	0,0122	3,75	3,745
3	3,0	0,50	38,4	1,281	0,048	2,62	2,620
4	3,0	0,30	30,5	1,186	0,022	2,77	2,759
5	4,23	0,90	69,50	0,962	0,050	3,52	3,492
6	4,50	0,71	70,10	0,844	0,030	3,92	3,903
7	4,74	0,57	70,10	0,767	0,020	4,27	4,253
8	1,73	0,63	18,25	2,910	0,228	1,32	1,316
9	2,59	0,39	30,60	1,390	0,042	2,39	2,394

за-регулятора или гасителей энергии глубина в месте слияния h_1 получается практически одинаковой, если зафиксированы параметры в принимающем канале $\frac{Q_1}{Q}$, Fr, δ . Глубина h_1 с достаточной точностью определяется на основании закона количества движения.

Л и т е р а т у р а

1. Милович А. Я. Теория деления и соединения потоков жидкости. М., 1947. 2. Аверьянов С. Ф. О вертикальном сопряжении осушительных каналов. — Докл. ВАСХНИЛ, 1948, вып. 2. 3. Петров Г. А. Движение жидкости с изменением расхода вдоль пути. М., 1951. 4. Ибад-Заде Ю. А. Деление и соединение потоков жидкости. Баку, 1960. 5. Холодок Л. А. Расчет глубин в зоне слияния потоков при проектировании осушительных систем. — В сб.: Гидротехника, мелиорация и использование осушительных земель. Минск, 1968. 6. Дупляк В. Д., Смыслов В. В. Определение подпора в зоне слияния открытых потоков под углом $\frac{\pi}{2}$ с помощью закона количества движения. — "Гидравлика и гидротехника", 1974, вып. 19.

И. В. Минаев

ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ НЕКОТОРЫХ ФУНКЦИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕЛИОРАЦИИ

При обработке опытных данных по впитыванию воды почвой применяется известная формула А. Н. Костякова, которая является функцией гиперболического типа. Вычисление коэффициента в числителе этой формулы и показателя степени в знаменателе обычно ведется с построением графика на логарифмической сетке. Эти коэффициенты можно, однако, вычислить по достаточно простым формулам.

Обработка опытных данных при определении коэффициентов фильтрации (например, в зависимости от температуры воды), коэффициентов водостдачи, коэффициентов расхода при истечении через отверстия сооружений требуют длительной и кропотливой работы. Нами предлагаются формулы для вычисления коэффициентов, входящих в наиболее применимые элементарные функции, используемые в мелиорации и гидротехнике.