

дение фильтрационной схематизации являются важными этапами исследований при решении задач оценки надежности инженерных решений на мелиоративных и водохозяйственных объектах.

Картирование и проведение опытно-фильтрационных работ с использованием структурного и фашиально-генетического анализа позволяет дифференцировать геологический разрез с выделением и количественной оценкой составляющих водопроницаемости горных пород. Произвольное допущение фильтрационной однородности анизотропных горных пород приводит к ошибкам при гидрогеологических прогнозах подпора и дренирования на мелиоративных системах.

При планировании опытно-фильтрационных испытаний геологической среды на мелиоративных и водохозяйственных объектах следует принимать модель анизотропной среды, что позволяет снизить экологические риски от подтопления территории при недостаточно эффективной работе дренажа, при переосушении торфяников, при нарушении устойчивости элементов сооружений и т. д.

1. **Жабин В. Ф., Манукьян Д. А., Фельдман А. Л.** Физические и математи-

ческие предпосылки решения обратных гидрогеологических задач: Рациональное использование водных ресурсов: сборник науч. тр. – М.: Наука, 1986. – Вып. 6. – С. 70.

2. **Жабин В. Ф., Карпенко Н. П., Ломакин И. М.** Особенности определения гидрогеологических характеристик анизотропных сред для расчета дренажа // Природообустройство. – 2010. – № 3. – С. 80–87.

3. **Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р.** Пески и песчаники. – М.: Мир, 1976. – 535 с.

4. **Шестаков В. М.** Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. – М.: Изд-во МГУ, 1965. – 233 с.

Материал поступил в редакцию 03.05.12.

Жабин Виктор Федорович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Тел. 8 (499) 976-21-56

Карпенко Нина Петровна, доктор технических наук, профессор кафедры «Геология и гидрогеология»
Тел. 8-916-069-75-12

E-mail: nrkarpenko@yandex.ru

Ломакин Иван Михайлович, кандидат геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Геология и гидрогеология»
Тел. 8 (499) 976-22-27

УДК 502/504:532.543

Е. В. ДУВАНСКАЯ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса»

В. А. ВОЛОСУХИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Новочеркасская мелиоративная академия»

НОВОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СВОБОДНОГО РАСТЕКАНИЯ БУРНОГО ПОТОКА

Предлагаются два основных решения для функции тока при числах Фруда, меньших четырех и больших четырех, которые определяются из общего решения двумерной плановой задачи для бурного потока при свободном растекании. Новые решения лучше согласуются с экспериментом.

Двухмерная плановая задача, бурный поток, свободное растекание, горизонтальное отводящее русло.

In the work there are proposed two basic solutions for the flowing function with the Froude numbers of smaller than four and bigger than four which are determined from the general solution of the two-dimensional planned task for the rapid flow under free spreading. New solutions are better matched with the experiment.

Two-dimensional planned task, a rapid flow, free spreading, horizontal discharge channel.

Интенсивное строительство автомобильных и железных дорог в России уже в XIX веке выдвинуло целый ряд проблемных вопросов по расчету отверстий малых мостов и дорожных труб. Так, железнодорожная катастрофа с многочисленными человеческими жертвами, произошедшая в 1882 году вблизи города Тулы, была связана с разрушением из-за недостаточной водопрпускной способности трубы под полотном дороги и размывом нижнего бьефа [1]. Обширные гидравлические исследования подобных конструкций были проведены во Всероссийском НИИ водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрологии, Центральном аэродинамическом институте имени Жуковского, Московском государственном университете природообустройства и других высших учебных и научных учреждениях [2, 3]. Эти проблемы актуальны и для каналов обводнительно-оросительных систем, которые пересекаются с естественной гидрографической сетью в среднем через 7...8 км. Поэтому из подобных сооружений только на юге России более 20 тыс. находятся на балансе Минсельхоза России и агропроизводителей.

Одним из приоритетных направлений по обеспечению экологической безопасности в России является совершенствование существующих технологий в строительстве сооружений, которые подвергаются разрушению со стороны нижнего бьефа из-за недопустимого размыва крепления [4]. Причиной разрушения крепления нижнего бьефа в основном является неточный расчет параметров потока воды.

В [5] получено решение задачи свободного растекания потока по гладкому горизонтальному руслу для крайней линии тока, которое адекватно определяет зону повышенной нагрузки потока на боковое крепление, однако это решение не лишено недостатков: а) терпят разрыв такие параметры потока, как модуль вектора скорости и направление вектора скорости; б) при числах Фруда, больших четырех, ухудшается адекватность полученного в [3] решения с экспериментальными данными.

Целью проведенных авторами экспериментов было получение решения задачи свободного растекания для функции

тока с непрерывными параметрами потока на выходе из трубы, имеющего высокую адекватность с экспериментом.

В [5] было показано, что в случае растекания двухмерного стационарного потока без учета сил сопротивления в плоскости годографа скорости система уравнений движения бурного потока имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} = \frac{2h_0}{H_0} \frac{\tau}{1-\tau} \frac{\partial \psi}{\partial \tau}; \\ \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} = \frac{h_0}{2H_0} \frac{3\tau-1}{\tau(1-\tau)^2} \frac{\partial \psi}{\partial \theta}, \end{cases} \quad (1)$$

где φ, ψ – соответственно потенциальная функция и функция тока; θ – угол наклона вектора скорости жидкой частицы к продольной оси симметрии потока – OX ; $\tau = v^2 / (2gH_0)$ – квадрат скоростного коэффициента; v – модуль вектора скорости жидкой частицы потока; h_0 – глубина потока в некоторой характерной точке; v_0 – модуль скорости в этой же точке; $H_0 = v_0^2 / 2g + h_0$ – постоянная для всего потока; g – ускорение силы тяжести.

Система (1) совместно с граничными условиями позволяет ставить задачи плановой гидравлики в плоскости годографа скорости. При этом для решения конкретной задачи достаточно определить вид одной из функций $\varphi = \varphi(\tau, \theta)$ или $\psi = \psi(\tau, \theta)$, удовлетворяющей граничным условиям течения потока.

Рассмотрим задачу определения вида функции $\psi = \psi(\tau, \theta)$ в случае свободного растекания бурного потока за безнапорным отверстием в широкое горизонтальное отводящее русло. В задаче свободного растекания бурного потока необходимо выполнение условия для граничной линии тока (рис. 1):

$$\psi = \frac{v_0 b}{2} = \psi(\tau, \theta) = \text{const}. \quad (2)$$

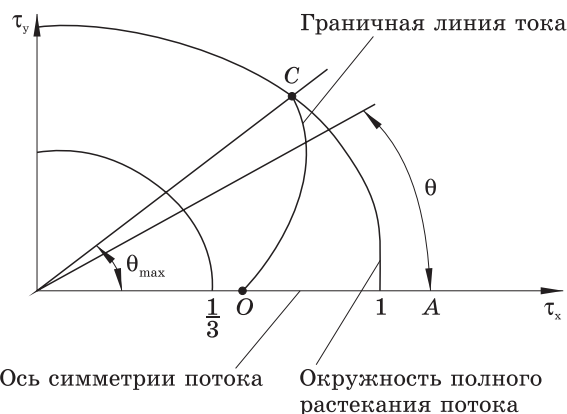


Рис. 1. Область течения потока в плоскости годографа скорости

Граничная линия тока OC должна проходить через точку O с параметрами $\tau = \tau_0$ ($\theta = 0$) и точку C с параметрами $\tau = 1$ ($\theta = \theta_{\max}$).

Таким образом, $\psi(\tau_0, 0) = \psi(1, \theta_{\max})$. (3)

Угол θ_{\max} определяется из условия совпадения граничной линии тока с одной из характеристик потока, выходящей из точки $\tau = \tau_0$ ($\theta = 0$) при $\tau \rightarrow 1$ [3]:

$$\theta_{\max} = C_1 + (\sqrt{3} - 1) \cdot \frac{\pi}{2};$$

$$C_1 = \arctg \sqrt{\frac{3\tau_0 - 1}{1 - \tau_0}} - \sqrt{3} \arctg \sqrt{\frac{3\tau_0 - 1}{3(1 - \tau_0)}}. \quad (4)$$

Следует отметить, что условий (2), (3) для однозначного определения функции $\psi(\tau, \theta)$ в задаче свободного растекания потока недостаточно, так как не определено физическое условие течения потока вдоль граничной линии тока.

Решение системы (1) для функции тока у потоков, имеющих продольную ось симметрии, согласно [7], записывается в следующем виде:

$$\psi = M \sin \theta (1 - \tau)^\gamma (\tau - \tau_0)^{-1/2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[A_k^{(1)} \psi_{1k}^{(1)} + A_k^{(2)} \psi_{1k}^{(2)} \right] \sin k\theta + \left[B_k^{(1)} \psi_{1k}^{*(1)} + B_k^{(2)} \psi_{1k}^{*(2)} \right] \sin (2k - 1)\theta \right\}, \quad (5)$$

где $\psi_{1k}^{(1)} = \tau^k Y_k^{(1)}$; $\psi_{1k}^{(2)} = \tau^k Y_k^{(2)}$;

$\psi_{1k}^{*(1)} = \tau^{k-\frac{1}{2}} Y_k^{*(1)}$; $\psi_{1k}^{*(2)} = \tau^{k-\frac{1}{2}} Y_k^{*(2)}$;

$Y_k^{(1)} = F(a_k, b_k, c_k, \tau) = 1 +$

$+ \frac{a_k b_k}{c_k} \tau + \frac{1}{2!} \frac{a_k (a_k + 1) b_k (b_k + 1)}{c_k (c_k + 1)} \tau^2 + \dots;$

$Y_k^{(2)} = \tau^{-2k} F(a_k - 2k, b_k - 2k, 1 - 2k, \tau);$

$F(a_k, b_k, c_k, \tau)$ – гипергеометрическая функция;

$Y_k^{*(1)} = F(a_k^*, b_k^*, c_k^*, \tau) = 1 + \frac{a_k^* b_k^*}{c_k^*} \tau +$

$+ \frac{1}{2!} \frac{a_k^* (a_k^* + 1) b_k^* (b_k^* + 1)}{c_k^* (c_k^* + 1)} \tau^2 + \dots;$

$Y_k^{*(2)} = \tau^{1-2k} F\left(a_k^* + 1 - 2k, b_k^* + 1 - 2k, 2 - 2k, \tau\right);$

$a_k^* = k - 1 + \sqrt{3k^2 - 3k + 1};$

$b_k^* = k - 1 - \sqrt{3k^2 - 3k + 1};$

$c_k^* = 2k.$

(При этом считаем, что c_k и c_k^* в выражениях (5) не равны нулю или целому отрицательному числу; $M, A_k^{(1)}, A_k^{(2)}, B_k^{(1)}, B_k^{(2)}$ – коэффициенты, подлежащие определению в результате решения задачи).

Первое слагаемое в выражении (5) необходимо для выполнения условия непрерывности по параметрам потока в окрестности выхода из отверстия. Величина γ определяется из условия достаточного затухания влияния первого слагаемого в выражении (5) по мере приближения τ к единице.

Рассмотрим решение вида (5), при котором для крайней линии тока (2) выполняется условие

$$\lim_{\tau \rightarrow \tau_0} (\tau - \tau_0)^{-1/2} \sin \theta = 1. \quad (6)$$

Постоянная M определяется из равенства

$$v_0 b / 2 = M (1 - \tau_0)^\gamma. \quad (7)$$

Постоянные $A_k^{(1)}, A_k^{(2)}, B_k^{(1)}, B_k^{(2)}$ определяются из следующих условий:

$$1) \psi(1, \theta_{\max}) = \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \left[A_k^{(1)} \psi_{1k}^{(1)} + A_k^{(2)} \psi_{1k}^{(2)} \right] \sin k\theta + \left[B_k^{(1)} \psi_{1k}^{*(1)} + B_k^{(2)} \psi_{1k}^{*(2)} \right] \sin (2k - 1)\theta \right\} = \frac{v_0 b}{2}; \quad (8)$$

2) функция

$$\theta = \Phi(M, A_k^{(1)}, A_k^{(2)}, B_k^{(1)}, B_k^{(2)}, \tau) \quad (9)$$

вдоль граничной линии тока, определяемая зависимостью $\psi(\theta, \tau, M, A_k^{(1)}, A_k^{(2)}, B_k^{(1)}, B_k^{(2)}) = v_0 b / 2$, должна быть монотонно возрастающей по аргументу τ и максимальной в зависимости от коэффициентов $A_k^{(1)}, A_k^{(2)}, B_k^{(1)}, B_k^{(2)}$ при каждом фиксированном τ [5]. Свойство монотонности следует из основных свойств бурного свободно растекающегося потока. Оптимальное значение угла θ следует из законов оптимальности в задачах, имеющих какую-либо свободу выбора, а также из закона совпадения результатов моделирования, эксперимента и натуральных исследований.

Решение задачи свободного растекания бурного открытого водного потока начнем с определения постоянных

$$A_k^{(1)}, A_k^{(2)}, A_k^{*(1)}, A_k^{*(2)}.$$

Рассмотрим вначале самый простой случай решения задачи при $k = 1$ (первое слагаемое в ряде (5) для простоты можно опустить):

$$\psi = A_1 \tau^{-1/2} \sin \theta. \quad (10)$$

В этом случае исследования проводятся вдоль крайней линии тока, начиная не с точки $(\tau = \tau_0; \theta = 0)$, а с разрыва параметров течения на выходе из трубы, т. е.

с точки $K(\tau = \tau_k; \theta = \theta_k)$ (рис. 2).



Рис. 2. План растекания потока с разрывом параметров на выходе из трубы

Для $\gamma = 11$ в решении (5) в пределе выполняется условие $\psi(\tau_0; 0) = v_0 b / 2$, при этом на малом расстоянии от выхода из трубы ($x/b < 0,1$) угол θ изменяется от нуля до конечного θ_k , поэтому выбор решения в виде (10) оправдан. Вид решения (10) имеет следующее обоснование: при $0 < \theta < \pi/2$ функция $f_1(\theta) = \sin \theta$ – монотонно возрастающая; функция $f_2(\tau) = \tau^{1/2}$ также монотонно возрастает при $\tau_k \leq \tau < 1$. Таким образом, отношение этих функций может быть постоянным при изменении самих аргументов τ и θ .

Постоянная A_1 определяется из следующего условия:

$$v_0 b / 2 = A_1 \sin \theta_{\max} \quad (11)$$

В случае, когда число постоянных $A_k^{(1)}, A_k^{(2)}, A_k^{*(1)}, A_k^{*(2)}$ в выражениях (5) равно двум, то возможен вариант:

$$\psi = [A_1 f_1(\tau) + A_2 f_2(\tau)] \sin \theta \quad (12)$$

В этом случае имеем:

$$\psi = A_1 \tau^{-1/2} \sin \theta + A_2 \tau^{1/2} (1 - \tau/2) \sin \theta \quad (13)$$

Вдоль крайней линии тока при $\tau \rightarrow 1$ угол $\theta \rightarrow \theta_{\max}$, поэтому из (13) следует равенство:

$$\psi = v_0 b / 2 = [A_1 + A_2 / 2] \sin \theta_{\max} \quad (14)$$

Следовательно,

$$A_1 + \frac{A_2}{2} = \frac{v_0 b}{2 \sin \theta_{\max}} \quad (15)$$

Будем полагать, что коэффициенты A_1 и A_2 являются неотрицательными величинами. Считаем функцию

$$\theta = \arcsin \left\{ \frac{v_0 b}{[2A_1 \tau^{-1/2} + A_2 \tau^{1/2} (2 - \tau)]} \right\} \quad (16)$$

монотонно возрастающей и доставляющей максимум при любых τ из области изменения $[\tau_0; 1]$.

На базе математического пакета

Mathcad (версия 11.0) была разработана программа, определяющая оптимальные значения коэффициентов A_1, A_2 . Параметр A_2 определялся из зависимости (15), значение параметра A_1 равно

$$A_1^k = \frac{v_0 b}{2 \sin \theta_{\max}} \cdot \frac{k}{3}, \quad k = 0, 1, 2, 3. \quad (17)$$

На рис. 3 показано сравнение функций угла растекания потока (17) при значениях $\tau_0 = 0,5$.

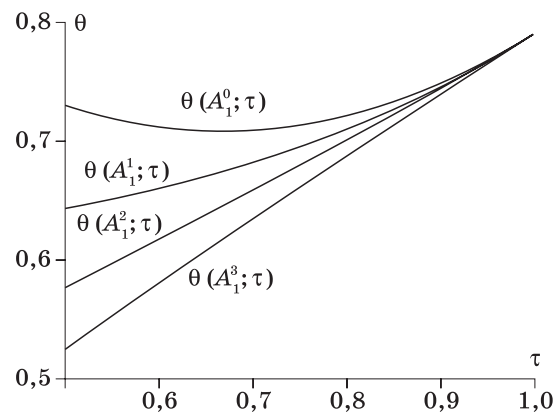


Рис. 3. Графики угла растекания потока при $\tau_0 = 0,5$ и различных значениях A_1

Из рисунка 3 видно, что условию наибольшего растекания потока и его монотонности по τ соответствует функция $\theta(A_1^3; \tau)$, т. е. функция

$$\theta = \arcsin \left\{ \tau^{1/2} \cdot \sin \theta_{\max} \right\} \quad (18)$$

Результаты моделирования сравнивались с результатами экспериментов. Это сравнение позволило сформулировать следующее утверждение: найденные постоянные

$$A_1 = \frac{v_0 b}{2 \sin \theta_{\max}} \quad \text{и} \quad A_2 = 0 \quad (19)$$

в выражении (5) доставляют максимум функции

$$\theta = f(\tau; A_k^{(1)}, A_k^{(2)}, A_k^{*(1)}, A_k^{*(2)}) \quad (20)$$

для соответствующих значений τ , $\tau \in [\tau_0; 1]$. При этом функция (20) является монотонно возрастающей по τ и удовлетворяет следующему условию:

$$\theta_{\max} = f(1; M; A_k^{(1)}, A_k^{(2)}, A_k^{*(1)}, A_k^{*(2)}), \quad k = 1, 2, \dots \quad (21)$$

Высокую степень адекватности по параметрам потока в окрестности выхода потока из трубы до расширения потока $\beta = \frac{B}{b} = 3 \dots 7$ дает модель по формуле (12) с постоянными (19):

$$\psi = \frac{v_0 b}{2 \sin \theta_{\max}} \frac{\sin \theta}{\tau^{1/2}} \text{ при } \tau_0 \in \left(\frac{1}{3}, \frac{2}{3} \right). \quad (22)$$

Последующее решение задачи в физической плоскости сводится к использованию зависимости (12) и интегрированию получаемых уравнений. При этом учитывается, что вдоль каждой линии тока $d\psi \equiv 0$ соответственно вдоль эквипотенциали $d\varphi \equiv 0$.

Для случая (12) выражение для потенциальной функции имеет следующий вид:

$$\varphi = A_1 \frac{h_0}{H_0} \frac{\cos \theta}{\tau^{1/2} (1 - \tau)}. \quad (23)$$

В этом случае задача по определению параметров потока в точке пересечения произвольной линии тока с произвольной эквипотенциалью сводится к поиску решений системы:

$$\begin{cases} \frac{\cos \theta}{\tau^{1/2} (1 - \tau)} = \frac{1}{\tau_A^{1/2} (1 - \tau_A)}; \\ \frac{\sin \theta}{\tau^{1/2}} = K_T \sin \theta_{\max}, \end{cases} \quad (24)$$

где A – произвольная точка оси симметрии потока, через которую проходит эквипотенциаль.

Пусть $\frac{2}{3} < \tau < 1$, тогда функция $\theta(A_1^0; \tau)$ является монотонно возрастающей (см. рис. 3). Постоянные из (14) определяем по формулам:

$$A_1 = 0; A_2 = \frac{v_0 b}{\sin \theta_{\max}}. \quad (25)$$

Это второе решение задачи линейного программирования для (14). Функция тока в этом случае

$$\psi_2 = A_2 \tau^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{\tau}{2} \right) \sin \theta. \quad (26)$$

Потенциальная функция, соответствующая решению с константами (25), определяется из системы (1) при известной функции тока (26):

$$\varphi_2 = A_2 \frac{\tau^{\frac{1}{2}} (3\tau - 2) \cos \theta}{2(1 - \tau)}. \quad (27)$$

Для оценки степени адекватности потока приведем результаты сравнения экспериментальных исследований с модельными (по методу автора и известных исследователей в области растекания плановых потоков). Исходными данными для расчета взяты параметры потока на выходе из трубы:

$$b = 16 \text{ см}; v_0 = 148 \frac{\text{см}}{\text{с}}; h_0 = 9,27 \text{ см}; Fr_0 = 2,397.$$

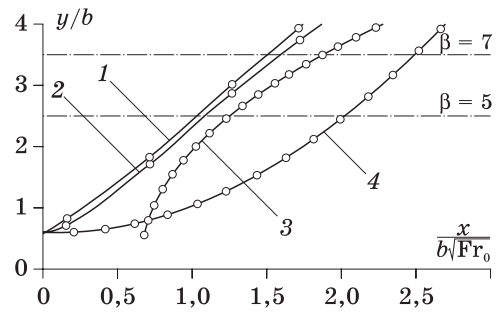


Рис. 4. Сравнение экспериментальной линии тока с графиками, построенными различными способами: 1 – по теоретическим данным; 2 – по экспериментальным данным; 3 – по методике Г. А. Лилицкого; 4 – по методике И. А. Шеренкова

Из результатов сравнения относительного рассогласования ординат крайней линии тока в теории и эксперименте видно, что при относительном расширении $\beta = 7$ погрешность не превышает 7 %, при этом рассогласование эксперимента с кривой, по Г. А. Лилицкому, превышает 15 %, а с кривой, по И. А. Шеренкову, – 40 %.

Выводы

Пользуясь основными свойствами бурных потоков, авторы получили модели растекания потока при $1 < Fr_0 < 4$ и $Fr_0 \geq 4$, что повышает адекватность данной модели по геометрии растекания потока и по определению его параметров.

Полученные решения двумерной плановой задачи обладают свойством непрерывности по параметрам потока на выходе из трубы в нижний бьеф.

1. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Расчеты речного стока. – М.-Л.: ОНТИ, Госстройиздат, 1934. – 260 с.
2. Устройства нижнего бьефа водосборов / Н. Т. Кавешников [и др.]; под ред. Н. П. Розанова. – М.: Колос, 1984. – 269 с.
3. Розанов Н. П. Гидравлический расчет малых мостов и дорожных труб прямоугольного поперечного сечения: Труды гидравлической лаборатории; под ред. А. Р. Березинского. – М.: Госстройиздат, 1948. – Сборник 2. – С. 147–176.
4. Экологическая безопасность в строительстве/ В. Л. Бондаренко [и др.]; под редакцией И. С. Румянцева. – Новочеркасск: изд-во «Альтаир», 2011. – 396 с.
5. Ширяев В. В., Мицик М. Ф.,

Дуванская Е. В. Развитие теории двухмерных открытых водных потоков: монография. – Шахты: Изд-во ЮРГУЭС, 2007. – 133 с.

6. Емцев Б. Т. Двухмерные бурные потоки. – М.: Энергия, 1967. – 212 с.

7. Коханенко В. Н., Волосухин Я. В., Ширяев В. В., Коханенко Н. В. Моделирование одномерных и двухмерных открытых водных потоков: монография; под общей ред. В. Н. Коханенко. – Ростов н/Д:

Изд-во ЮФУ, 2007. – 168 с.

8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970. – 720 с.

Материал поступил в редакцию 16.03.12.

Дуванская Елена Викторовна, кандидат технических наук, доцент

E-mail: 2 2 delvik2004@list.ru

Волосухин Виктор Алексеевич, доктор технических наук, профессор

Тел. 8 (8635) 25-05-25

УДК 502/504:626.83

Д. С. БЕГЛЯРОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

И. Ю. САХАРОВ

ОАО «Концерн Росэнергоатом», Технологический филиал

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ С УЧЕТОМ КЛАПАНОВ ВПУСКА И ЗАЩЕМЛЕНИЯ ВОЗДУХА И ДЛИНЫ ЗОНЫ РАЗРЫВА СПЛОШНОСТИ ПОТОКА

Представлена разработка дополнений к существующей методике расчета переходных процессов в напорных системах водоподачи при установке на напорных трубопроводах клапанов для впуска и защемления воздуха.

Напорная система водоподачи, насосная станция, насос, напорный трубопровод, клапан для впуска и защемления воздуха, обратный клапан, переходные процессы.

The development of additions to the existing calculating method of transients in pressure head systems of water supply is given at valves installation on pressure head flow pipes for air inletting and jamming.

Pressure head system of water supply, pumping station, pump, pressure head pipeline, air inletting and jamming valve, back-pressure valve, transients

При проектировании и эксплуатации систем водоподачи необходимо выполнить расчеты стационарных режимов и переходных процессов, одновременно разрабатывая систему мероприятий, уменьшающих негативные последствия гидравлического удара [1, 2]. Проведение этих расчетов с достаточной для практических целей точностью связано с очень большими объемами вычислений, поэтому выполнять их без применения современной вычислительной техники невозможно [3].

В настоящей статье приводится методика расчета граничных условий

клапана впуска и защемления воздуха (КВЗВ) с учетом движения воздуха через КВЗВ. Полагается, что объем воздуха, входящего через КВЗВ в трубопровод за малый промежуток времени Δt , равен изменению объема пространства между расходящимися колоннами воды. Данная методика позволяет непосредственно учесть влияние диаметра клапана впуска и защемления воздуха на развитие переходных процессов в трубопроводе [4, 5].

Для этого на каждом шаге по времени вычисляется длина зоны разрыва сплошности потока: