

учитывать физические процессы, происходящие в зоне неполного насыщения при наличии инфильтрации, и тем самым существенно повышать точность и надежность прогнозных расчетов.

Л и т е р а т у р а

1. Ч а й д л з Э. Физические основы гидрологии почвы. — Л., 1973. — 428 с.
2. А в е р ь я н о в С.Ф. Зависимость водопроницаемости почвогрунтов от содержания в них воздуха // Докл. АН СССР, 1949. — Т. 69. — № 2. 3. Н о с о в а О.Н. Расчет водоотдачи песчаных грунтов. — М.; Л., 1962. — 116 с. 4. П р о с к у р н и к о в С.М. Результаты экспериментального изучения движения гравитационной пленочной воды в однородных песках. — Тр. ГГИ. — Л., 1948. — Вып. 8 (62). — С. 111—149. 5. В а р а л л я й Д. Математическое описание основных воднофизических характеристик почв // Почвоведение. — 1982. — № 4. — С. 77—89. 6. П а ш к о в с к и й И.С. Закономерности процессов насыщения и осушения водоносных горизонтов // Гидрогеология и инженерная геология: Обзор ВИЭМС. — М., 1983. — 38 с. 7. Щ е р б а к о в Г.А., Ж и б у р т о в и ч К.К. Определение водовместимости песчаных грунтов по данным гранулометрического состава // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — Минск, 1986. — Вып. 15. — С. 56—62. 8. Щ е р б а к о в Г.А. Прогноз изменения уровня дренажного режима дренируемых территорий на основе учета баланса влаги в зоне аэрации // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — Минск, 1984. — Вып. 13. — С. 95—160. 9. Щ е р б а к о в Г.А., С а в ч е н к о А.П. Влияние интенсивности инфильтрационного питания на величину коэффициента водоотдачи грунтов // Тез. докл. Всесоюза. науч.-техн. совещ. "Состояние и задачи комплексного использования водных ресурсов страны", 22—24 апр. — Минск: ЦНИИКИВР, 1986. — С. 84.

УДК 624.64:626.8

Ю.Ф. БУРТЫС, П.К. ЧЕРНИК,
Г.А. ПИЩЕЦКИЙ, кандидаты техн. наук (БелНИИМВХ)

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НАПОРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ОБЛАСТИ С ДВУХПУНКТОВЫМ ФЛЮТБЕТОМ МЕТОДОМ p -ТРАНСФОРМАЦИИ

В местах строительства мелиоративных сооружений геологическая обстановка при схематизации нередко аппроксимируется сравнительно простыми областями фильтрации, в том числе прямоугольной формы. Но даже и в этом относительно несложном случае гидротехнический расчет подземного контура регулирующих водоподпорных сооружений ни точными методами математического анализа [1], ни приближенными инженерными способами [2, 3] не может быть выполнен аналитически из-за отсутствия решений возникающих задач.

Преимущество использования численного метода p -трансформации в сравнении с конечно-разностными методами заключается в возможности сведения рассматриваемой задачи фильтрации к решению сравнительно небольшого количества линейных алгебраических уравнений. Следовательно, во многом устраняются трудности в достижении сходимости методов последовательных

приближений, обычно используемых при решении конечно-разностных уравнений [4,5].

Пусть в проницаемой (изотропной) замкнутой прямоугольной области фильтрации имеется флютбет со шпунтами S_1 и S_2 неодинаковой длины и понуром (рис. 1). Обозначим через $\chi = \text{const}$ коэффициент фильтрации, а через H — действующий на сооружение напор относительно линии y_0 . Если выбрать плоскость сравнения на уровне воды нижнего бьефа ($y_0 = 0$), то рассматриваемая задача стационарной напорной фильтрации относительно функции тока $\psi(x, y)$ может быть сформулирована следующим образом: решить уравнение Лапласа (1) при краевых условиях (2). В дифференциальной форме она запишется так:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

$$\left. \frac{\partial \psi}{\partial n} \right|_{AB} = 0 \quad \psi \Big|_{BLMNOPR} = 0 \quad \left. \frac{\partial \psi}{\partial n} \right|_{RD} = 0, \quad \psi \Big|_{AA'D'D} = -Q \quad (2)$$

где Q — неопределенный параметр, равный по модулю фильтрационному расходу в области фильтрации [5].

Для упрощения решения задачи фильтрации методом p -трансформации краевые условия записываются следующим образом:

$$\left. \frac{\partial \psi}{\partial n} \right| = 0, \quad \psi \Big|_{BLMNOPR} = Q \quad \left. \frac{\partial \psi}{\partial n} \right|_{RD} = 0, \quad \psi \Big|_{AA'D'D} = 0, \quad (3)$$

т.е. к значению расхода $-Q$ прибавляется величина, равная ему по модулю.

Для решения задачи в конечно-разностной постановке воспользуемся квадратной сеткой с шагом h , при котором начало понура, концы шпунтов и линия водоупора совпадают с узловыми точками (рис. 1, 2) [6]. Тогда задача (1) и (3) в конечно-разностной постановке может быть сформулирована следующим образом: найти в сеточной области решение уравнения Лапласа [6]

$$\Delta_h \psi = 0,$$

удовлетворяющего краевым условиям

$$\psi_0(x_i) - \psi_1(x_i) = \begin{cases} 0, & i \leq m_0, \quad i \geq m_2 \\ Q - \psi_1(x_i), & i = m_0 + 1, \dots, m_1 - 1, m_1 + 1, \dots, m_2 - 1; \end{cases} \quad (4)$$

$$\psi_{n+1}(x_i) = 0, \quad (i = 0, 1, \dots, m+1),$$

$$\psi_k(x_0) = 0, \quad \psi_k(x_{m+1}) = 0, \quad (k = 0, 1, \dots, n). \quad (5)$$

Воспользуемся при решении задачи способом описанного прямоугольника, согласно которому задача фильтрации, удовлетворяющая уравнению Лапласа (1), в области G^* заменяется идентичной ей задачей, описываемой уравнением Пуассона (6)

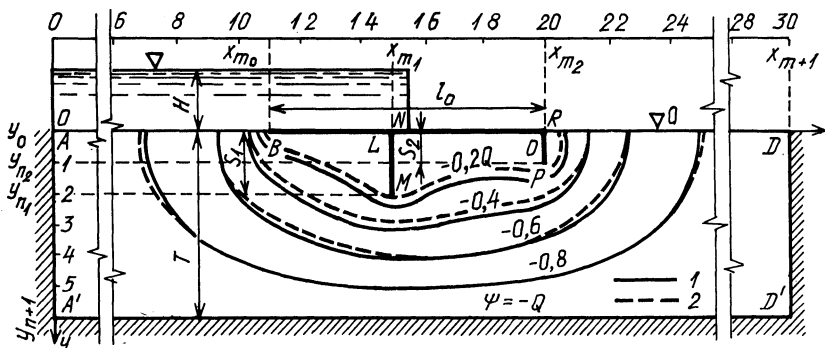


Рис. 1. Расчетная схема двухшпунтового флюتبета с понуром в прямоугольной области фильтрации. Функции тока ψ :

1 — теоретические; 2 — экспериментальные (ЭГДА), $Q = 0,357$

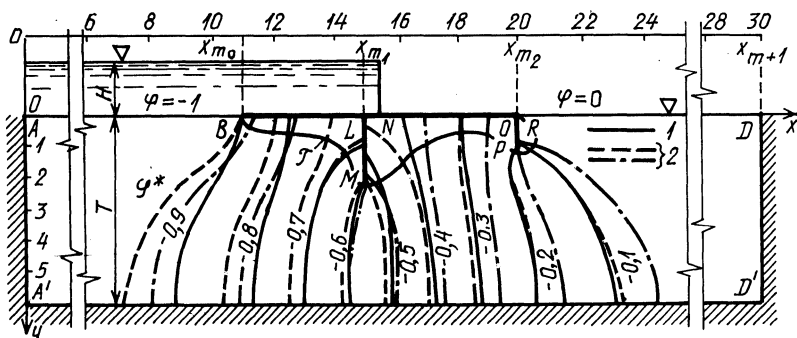


Рис. 2. Потенциалы скорости фильтрации ψ :

1 — теоретические; 2 — экспериментальные (ЭГДА)

$$\Delta_h \psi = f(x, y) \quad (6)$$

при следующих ограничениях: правая часть принимается равной нулю во всех внутренних узловых точках прямоугольника G^* , за исключением узловых точек на линиях шпунтов [5, 6]. В последних значения функции $f(x, y)$ рассматриваются как неизвестные параметры, устанавливаемые приравнованием искомого решения (7) модулю расхода $|-Q| = Q$, т.е. принятому значению первой линии тока $\psi(x, y)$.

Общее решение конечно-разностного уравнения Пуассона (6) в сеточном прямоугольнике неограниченных размеров получено Г.Н. Положим в матричном виде [4–6]. Для непосредственного использования этого уравнения при решении задачи фильтрации его выражение И.И. Ляшко [5] установлено в развернутом виде. С учетом условий Неймана (4) и Дирихле (5) соответственно по верхней ($y = y_1$) и нижней ($y = y_{n+1}$) границам области фильтрации относительно функции тока ψ после некоторых преобразований уравнение может быть представлено в виде третьей формулы p -трансформации:

$$\psi_k(x_i) = \sum_{j=1}^n a_{kj} \left\{ \frac{\mu_j^i - \nu_j^i}{\mu_j^{m+1} - \nu_j^{m+1}} \left[a_{1j} \sum_{p=m_0+1}^{m_2-1} \frac{\mu_j^{m+1-p} - \nu_j^{m+1-p}}{\mu_j - \nu_j} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \hat{\omega}_j^*(x_p) \right] - a_{1j} \sum_{p=m_0+1}^{i-1} \frac{\mu_j^{i-p} - \nu_j^{i-p}}{\mu_j - \nu_j} \hat{\omega}_j^*(x_p) - F_j(i) \right\}; \\ (i = 1, \dots, m; k = 1, \dots, n). \quad (7)$$

$$F_j(i) = \begin{cases} A_j(i), & i \leq m_1; \\ A_j(i) - \frac{1}{\mu_j - \nu_j} (\mu_j^{i-m_1} - \nu_j^{i-m_1}) \cdot \hat{f}_j^*(x_{m_1}), & i = \\ = m_1 + 1, \dots, m_2; \\ A_j(i) - \frac{1}{\mu_j - \nu_j} [(\mu_j^{i-m_1} - \nu_j^{i-m_1}) \cdot \hat{f}_j^*(x_{m_1}) + \\ + (\mu_j^{i-m_2} - \nu_j^{i-m_2}) \hat{f}_j^*(x_{m_2})], & i > m_2. \end{cases} \quad (8)$$

$$A_j(i) = \frac{\mu_j^i - \nu_j^i}{(\mu_j^{m+1} - \nu_j^{m+1})(\mu_j - \nu_j)} \left[(\mu_j^{m+1-m_1} - \nu_j^{m+1-m_1}) \cdot \hat{f}_j^*(x_{m_1}) + \right. \\ \left. + (\mu_j^{m+1-m_2} - \nu_j^{m+1-m_2}) \hat{f}_j^*(x_{m_2}) \right]; \quad (9)$$

$$\hat{f}_j^*(x_p) = \begin{cases} \sum_{l=1}^{n_1} a_{lj} f_l(x_{m_1}), & p = m_1; \\ \sum_{l=1}^{n_2} a_{lj} f_l(x_{m_2}), & p = m_2; \\ 0, & p \neq m_1, m_2, \end{cases} \quad (10)$$

a_{1j} устанавливается по формуле (12) при $k = 1$.

$$\hat{\omega}_j^*(x_p) = \begin{cases} 0, & p \leq m_0, p = m_1, p \geq m_2; \\ a_{1j} [Q - \psi_1(x_p)], & p = m_0 + 1, \dots, m_1 - 1, \\ & m_1 + 1, \dots, m_2 - 1, \end{cases}$$

где μ_j и ν_j — корни обыкновенного однородного конечно-разностного уравнения второго порядка, равные

$$\mu_j = \eta_j + \sqrt{\eta_j^2 - 1}; \quad \nu_j = \eta_j - \sqrt{\eta_j^2 - 1}; \quad \eta_j = 1 + \gamma^2 - \gamma^2 \cos \beta_j, \quad (11)$$

a_{kj} — член квадратной матрицы $P_3 = [a_{kj}]_1^n$, используемой в операциях p -трансформации при получении решения (7):

$$a_{kj} = \frac{2}{\sqrt{2n+1}} \sin(n+1-k)\beta_j, \quad \beta_j = \frac{2j-1}{2n+1}\pi \quad (k, j = 1, \dots, n). \quad (12)$$

В решение (7) входят неизвестные параметры: $\psi_1(x_i)$ ($i = m_0 + 1, \dots, \rightarrow m_1 - 1, m_1 + 1, \dots, m_2 - 1$), $f_k(x_{m_1})$ ($k = 1, \dots, n_1$), $f_k(x_{m_2})$ ($k = 1, \dots, n_2$) и Q , которые необходимо установить для получения решения задачи в замкнутом виде.

Неизвестные параметры $f_k(x_{m_1})$ и $f_k(x_{m_2})$ установим из системы $n_1 + n_2$ линейных алгебраических уравнений, записанной на основании граничных условий (3) вдоль шпунтов LMN и OPR (рис. 1) как

$$\psi_k(x_{m_1}) = Q \quad (k = 1, \dots, n_1), \quad \psi_k(x_{m_2}) = Q \quad (k = 1, \dots, n_2). \quad (13)$$

Подставляя в условие (13) значения функций тока ψ , устанавливаемые по (7), получим систему уравнений:

$$\sum_{j=1}^n a_{kj} \left\{ \frac{\mu_j^{m_1} - \nu_j^{m_1}}{\mu_j^{m_1+1} - \nu_j^{m_1+1}} [a_{1j} \sum_{p=m_0+1}^{m_2-1} \frac{\mu_j^{m_1-p} - \nu_j^{m_1-p}}{\mu_j - \nu_j} \hat{\omega}_j^*(x_p)] - \right. \\ \left. - a_{1j} \sum_{p=m_0+1}^{m_1-1} \frac{\mu_j^{m_1-p} - \nu_j^{m_1-p}}{\mu_j - \nu_j} \hat{\omega}_j^*(x_p) - F_j(i) \right\} = Q \quad (14)$$

$(k = 1, \dots, n_1),$

$$\begin{aligned}
 F_j(m_1) &= \frac{\mu_j^{m_1} - \nu_j^{m_1}}{(\mu_j^{m+1} - \nu_j^{m+1})(\mu_j - \nu_j)} \left[(\mu_j^{m+1-m_1} - \nu_j^{m+1-m_1}) \hat{f}_j^*(x_{m_1}) + (\mu_j^{m+1-m_2} - \nu_j^{m+1-m_2}) \times \right. \\
 &\quad \left. \times \hat{f}_j^*(x_{m_2}) \right]; \\
 \sum_{j=1}^n a_{kj} &\left\{ \frac{\mu_j^{m_2} - \nu_j^{m_2}}{\mu_j^{m+1} - \nu_j^{m+1}} \left[a_{1j} \sum_{p=m_0+1}^{m_2-1} \frac{\mu_j^{m+1-p} - \nu_j^{m+1-p}}{\mu_j - \nu_j} \hat{\omega}_j^*(x_p) \right] - \right. \\
 &\quad \left. - a_{1j} \sum_{p=m_0+1}^{m_2-1} \frac{\mu_j^{m_2-p} - \nu_j^{m_2-p}}{\mu_j - \nu_j} \hat{\omega}_j^*(x_p) - F_j(i) \right\} = 0 \quad (15) \\
 &(k = 1, \dots, n_2).
 \end{aligned}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
 F_j(m_2) &= \frac{\mu_j^{m_2} - \nu_j^{m_2}}{(\mu_j^{m+1} - \nu_j^{m+1})(\mu_j - \nu_j)} \left[(\mu_j^{m+1-m_1} - \nu_j^{m+1-m_1}) \hat{f}_j^*(x_{m_1}) + (\mu_j^{m+1-m_2} - \nu_j^{m+1-m_2}) \hat{f}_j^*(x_{m_2}) \right] - \\
 &\quad - \frac{\mu_j^{m_2-m_1} - \nu_j^{m_2-m_1}}{\mu_j - \nu_j} \hat{f}_j^*(x_{m_1}).
 \end{aligned}$$

Для определения $(m_2 - m_0 - 2)$ неизвестных параметров $\psi_1(x_i)$ по зависимости (7) запишем систему $(m_2 - m_0 - 2)$ уравнений как

$$\begin{aligned}
 \psi_1(x_i) &= \sum_{j=1}^n a_{1j} \left\{ \frac{\mu_j^i - \nu_j^i}{\mu_j^{m+1} - \nu_j^{m+1}} \left[a_{1j} \sum_{p=m_0+1}^{m_2-1} \frac{\mu_j^{m+1-p} - \nu_j^{m+1-p}}{\mu_j - \nu_j} \times \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \times \hat{\omega}_j^*(x_p) \right] - a_{1j} \sum_{p=m_0+1}^{i-1} \frac{\mu_j^{i-p} - \nu_j^{i-p}}{\mu_j - \nu_j} \hat{\omega}_j^*(x_p) - F_j(i) \right\} \\
 &(i = m_0 + 1, \dots, m_1 - 1; m_1 + 1, \dots, m_2 - 1), \quad (16)
 \end{aligned}$$

где $F(i)$ определяется по зависимости (8).

Для установления недостающего уравнения в системе из $(n_1 + n_2 + m_2 - m_0 - 2)$ уравнений соединим произвольным контуром концы флюتبета B и R (см. рис. 2) и проинтегрируем вдоль проведенной кривой Γ функцию $\partial\psi/\partial s$, представляющую скорость изменения потенциала скорости фильтрации ψ по ее длине s . С учетом краевых условий (1) и (3) и условия Коши-Римана ($\partial\psi/\partial s = -\partial\psi/\partial n$) в рассматриваемой области комплексного потенциала G^* этот криволинейный интеграл первого типа выразится как

$$\int_{\Gamma} \frac{\partial\psi}{\partial n} ds = \chi H. \quad (17)$$

Предполагая, что функции тока ψ рассматриваемого фильтрационного потока — потенциалы φ_{Φ} некоторого фиктивного потока, а потенциалы φ — функции тока φ_{Φ} и переходя к конечно-разностной интерпретации (17), получим недостающее уравнение (18). Оно представляет собой расход фиктивного потока, движущегося в щель $BLMNOR$ (подземный контур действительного потока, рис. 3) [5, 6].

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^{n_1} (2Q - \psi_k(x_{m_1} - 1) - \psi_k(x_{m_1+1})) + \sum_{k=1}^{n_2} (2Q - \\ & - \psi_k(x_{m_2-1}) - \psi_k(x_{m_2+1})) + \sum_{i=m_0+1}^{m_1-1} (Q - \psi_1(x_i)) + \\ & + \sum_{i=m_1+1}^{m_2-1} (Q - \psi_1(x_i)) + 2Q - \psi_{n_1+1}(x_{m_1}) - \psi_{n_2+1}(x_{m_2}) = \chi H. \end{aligned} \quad (18)$$

Полученные выражения (14), (15), (16) и (18) в развернутом виде представляют замкнутую систему линейных алгебраических уравнений, решение которой позволит установить величины неизвестных параметров и, следовательно, получить решение задачи фильтрации (7) в замкнутом виде относительно линии тока ψ .

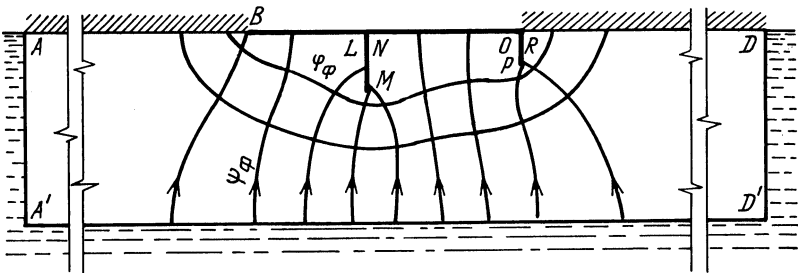


Рис. 3. К выводу уравнения (23): схема фактивного фильтрационного потока $\varphi_{\Phi} = \psi(x, y)$; $\psi_{\Phi} = \varphi(x, y)$

Решим задачу в численном виде. Пусть длина области фильтрации $AD = 30$ м; ширина $AA' = T = 6$ м; длина флютбета $l_0 = 9$ м; длины шпунтов: королёвого $s_1 = 2$ м, низового $s_2 = 1$ м. Примем $x_0 = 0$. Тогда при шаге квадратной сетки $h=1$ м ($\gamma=1$) получим $m_0=10, m_1=15, m_2=20, m=29, n=5, n_1=2, n_2=1$.

Решение задачи во внутренних точках области фильтрации с учетом (7) примет вид

$$\psi_k(x_i) = \sum_{j=1}^5 a_{kj} \left\{ \frac{\mu_j^i - \nu_j^i}{\mu_j^{30} - \nu_j^{30}} \left[a_{1j} \sum_{p=11}^{19} \frac{\mu_j^{30-p} - \nu_j^{30-p}}{\mu_j - \nu_j} \times \right. \right. \\ \left. \times \hat{\omega}_j^*(x_p) \right] - a_{1j} \sum_{p=11}^{i-1} \frac{\mu_j^{i-p} - \nu_j^{i-p}}{\mu_j - \nu_j} \hat{\omega}_j^*(x_p) - F_j(i) \left. \right\} \quad (19)$$

$(i = 1, \dots, 29; k = 1, \dots, 5),$

где

$$\hat{\omega}_j^*(x_p) = \begin{cases} 0, & p \leq 10, p = 15, p \geq 20; \\ a_{1j} (Q - \psi_1(x_p)), & p = 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, \dots, 19. \end{cases} \quad (20)$$

На основании (8) и (9) получим

$$F_j(i) = \begin{cases} A_j(i), & i \leq 15; \\ A_j(i) - \frac{\mu_j^{i-15} - \nu_j^{i-15}}{\mu_j - \nu_j} \hat{f}_j^*(x_{15}), & i = 16, \dots, 20; \\ A_j(i) - \frac{1}{\mu_j - \nu_j} [(\mu_j^{i-15} - \nu_j^{i-15}) \hat{f}_j^*(x_{15}) + \\ + (\mu_j^{i-20} - \nu_j^{i-20}) \hat{f}_j^*(x_{20})], & i > 20. \end{cases} \quad (21)$$

$$A_j(i) = \frac{\mu_j^i - \nu_j^i}{(\mu_j^{30} - \nu_j^{30})(\mu_j - \nu_j)} [(\mu_j^{15} - \nu_j^{15}) \hat{f}_j^*(x_{15}) + \\ + (\mu_j^{10} - \nu_j^{10}) \hat{f}_j^*(x_{20})]. \quad (22)$$

Причем с учетом (10)

$$\hat{f}_j^*(x_p) = \begin{cases} \sum_{i=1}^2 a_{ij} f_i(x_{15}), & p = 15; \\ a_{1j} f_2(x_{20}), & p = 20; \\ 0, & p \neq 15, 20. \end{cases} \quad (23)$$

Значения μ_j , ν_j и η_j определяются по зависимостям (11), при этом $\eta_j = 2 - \cos \beta_j$, $\alpha \beta_j$ и квадратная матрица P_3 на основании (12) определяются соответственно как

$$\beta_j = \frac{2j-1}{11} \pi \quad \text{и} \quad P_3 = [a_{kj}]_1^5, \quad a_{kj} = \frac{2}{\sqrt{11}} \sin(6-k)\beta_j.$$

Входящие в решение (19) неизвестные параметры $\psi_1(x_p)$ ($p = 11-14$; $16-19$); $f_k(x_{15})$ ($k = 1, 2$); $f_1(x_{20})$ и Q определены путем решения системы из 12 линейных алгебраических уравнений (14), (15), (16), (18) (после подстановки в нее численных размеров флютбета и области фильтрации) для случая $\chi H = 1$ с помощью ЭВМ ЕС-1020 на основании разработанных алгоритма и программы.

Из структуры канонических уравнений, к которым приводится система уравнений (14), (15), (16), (18), следует, что при $|\varphi| = \chi H \neq 1$ упомянутые неизвестные будут прямо пропорциональны величине χH . Следовательно, они примут вид

$$\begin{aligned} \psi_1(x_{11}) &= 0,251\chi H; \quad \psi_1(x_{12}) = 0,284\chi H; \quad \psi_1(x_{13}) = 0,304\chi H; \\ \psi_1(x_{14}) &= 0,326\chi H; \quad \psi_1(x_{16}) = 0,331\chi H; \quad \psi_1(x_{17}) = 0,317\chi H; \\ \psi_1(x_{18}) &= 0,312\chi H; \quad \psi_1(x_{19}) = 0,319\chi H; \quad f_1(x_{15}) = -0,0571\chi H; \\ f_2(x_{15}) &= -0,259\chi H; \quad f_1(x_{20}) = -0,271\chi H; \quad Q = 0,357\chi H. \end{aligned} \quad (24)$$

Полученное решение задачи в замкнутом виде относительно функции тока ψ — (19) — (24) посредством разработанной с помощью ЭВМ ЕС-1020 программы представлено графически, в виде семейства линий тока ψ через интервал $|\Delta\psi| = 0,2Q$ (см. рис. 1), которые затем перестроены в потенциалы скорости фильтрации φ [6] (см. рис. 2). Сопоставление теоретических и экспериментальных значений функции тока ψ и эквипотенциалей φ в целом свидетельствует о достаточно хорошей их сходимости, а следовательно, о корректности решения задачи [6].

Найденное решение позволяет построить гидродинамическую сетку движения грунтового потока и количественно оценить ограничение области при фильтрационном расчете подземного контура гидросооружения. В какой-то степени оно компенсирует отсутствие аналитических разработок в этой области. По разработанной схеме можно решать аналогичные задачи фильтрации не только экспериментальными методами, но и численно-аналитически, не ознакомившись с математическими аспектами метода p -трансформации.

Л и т е р а т у р а

1. А р а в и н В.И. и Н у м е р о в С.Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде. — М., 1953. — 616 с. 2. Справочник по гидротехнике. — М., 1955. — 828 с. 3. Ч у г а е в Р.Р. Гидравлика, — Л., 1975. — 599 с. 4. П о л о ж и й Г.Н. Численное решение двумерных и трехмерных краевых задач математической физики и функции дискретного аргумента. — Киев, 1962. — 171 с. 5. Л я ш к о И.И. Решение фильтрационных задач методом суммарных представлений, — Киев, 1963. — 175 с. 6. Б у р т ы с Ю.Ф., Ч е р н и к П.К., П и с е ц к и й Г.А. Расчет трехшпунтового флютбета в полесе методом суммарных представлений // Конструкции и методы расчета мелиоративных систем. — Минск, 1985. — С. 175–186.

УДК 627.824 + 627.8.034

Е.М. ЛЕВКЕВИЧ,

В.Н. ЮХНОВЕЦ, кандидаты техн. наук (БПИ)

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВОЛНЕНИЯ НА ПОЛОЖЕНИЕ КРИВОЙ ДЕПРЕССИИ В ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЕ

Лабораторными исследованиями фильтрации через напорные дамбы с верховым откосом, покрытым водопроницаемым креплением, установлено: при воздействии регулярных волн наблюдается подъем кривой депрессии над ее положением, соответствующим спокойному уровню [1], т.е. изменяются характеристики грунтового потока в сооружении. Это вызывает необходимость изменения исходных расчетных условий, характеристики которых были положены в основу фильтрационного расчета сооружения. Исследование этого вопроса представляется важным, так как неучет влияния волнения на фильтрационный режим может привести к нежелательным последствиям, особенно на водохранилищах со значительным волновым режимом.

В работе [1] влияние волнения на режим фильтрации рекомендовалось учитывать условным дополнительным напором $\Delta H_{\text{в}}$, для определения которого была найдена зависимость:

$$\Delta H_{\text{в}} = ah_{\text{н}}, \quad (1)$$

где $h_{\text{н}}$ — высота наката волны; $m = \operatorname{ctg} \alpha$ — коэффициент верхового откоса; α — угол наклона откоса к горизонту; $a = 0,075m + 0,475$ (при $m > 7$ $a = 1$).

Нами были проведены натурные исследования фильтрации с целью проверки наличия подъема депрессионной кривой при волнении, а также предложенной зависимости для учета этого явления. Исследования проводились на земляной плотине малого водохранилища ГЭС, краткие сведения о котором и об условиях волнообразования приведены в источнике [2].

Плотина (рис. 1) отсыпана из мелкозернистого песка. В основании плотины залегают мелкозернистые, а также разнотернистые пески; ниже, на глубине 4,5–5,0 м, — суглинки. Верховой откос первоначально был укреплен в соответствии с проектом каменным мощением на гравийно-щебеночной под-