

ГИДРОТЕХНИКА

Տ. Ա. ԱՆԱՅԻՆ

МАССОПЕРЕНОС ФИЛЬТРАЦИОННЫМ ПОТОКОМ НА
 ФОНЕ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО
 ДРЕНАЖА

Проблема освоения засоленных земель для развития сельского хозяйства в настоящее время приобретает большое практическое значение. В связи с этим в ближайшие 10—15 лет в Армении намечается произвести большие мелпоративные работы для освоения 30 тыс. га засоленных земель Араратской равнины, а для этого необходимо построить дренажные системы (горизонтальные или пертикальные) и затем производить промывки.

В настоящей работе рассматривается процесс массопереноса (рас-соление грунтовых вод и почвы) на фоне горизонтального дренажа при непрерывной схеме промывки засоленных земель.

Поставленную практическую задачу приближенно можно решить при помощи известных дифференциальных уравнений физико-химической гидродинамики и гидромеханики, теории фильтрации [1—3]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial (V_x C)}{\partial x} - \frac{\partial (V_y C)}{\partial y} + \beta (C_{\text{н}} - C) = \mu \frac{\partial C}{\partial t}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial h}{\partial y} \right) = 0; \quad v_x = -k \frac{\partial h}{\partial x}; \quad v_y = -k \frac{\partial h}{\partial y}; \quad (2)$$

$$D_x = a V_x; \quad D_y = a V_y, \quad (3)$$

где $C(x, y, t)$ — концентрация (содержание солей в единице объема жидкости) грунтовых вод; $C_{\text{н}}$ — концентрация предельного насыщения; $D(x, y)$, β , μ — коэффициенты конвективной диффузии, скорости растворения солей (превращение солей из твердой фазы в жидкую) и пористости грунта; v_x , v_y — компоненты скоростей фильтрации; $k(x, y)$ — коэффициент фильтрации; $h(x, y)$ — давление в любой точке фильтрационной среды при работе горизонтального дренажа; t , x , y — время и текущие координаты (рис. 1).

При капитальных промывках действующий напор на дрены (или депрессионная кривая между дренажами) в течение промывки сохраняет свою постоянную величину или неизменную форму при непрерывной схеме подачи воды в чеки. Поэтому процесс растворения и выноса солей

из пор грунтов в дрены будет происходить при постоянном по времени режиме фильтрации, хотя сам процесс массопереноса нестационарный и зависит от времени.

Нетрудно заметить, что дифференциальные уравнения (2) решаются независимо от уравнения массопереноса (1).

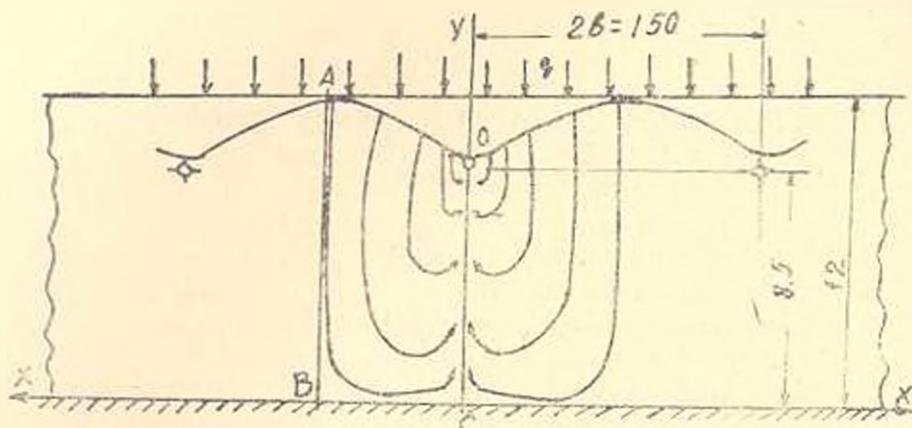


Рис. 1. Схема фильтрационного расчета горизонтально-го дренажа.

Дифференциальные уравнения (1) решаем при следующих начальных и граничных условиях:

$$\text{при } t = 0, \quad C(x, y, t) = C^0(x, y, 0) \quad (4)$$

и

$$t > 0, \quad \left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial C}{\partial x} \right|_{x=2b} = 0, \quad \left. \frac{\partial C}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad C(x_0, y_0) = C_0. \quad (5)$$

Принимаем, что на депрессионной поверхности непрерывно поступают оросительные воды с постоянной концентрацией C_0 .

Дифференциальное уравнение (2) решаем при следующих граничных условиях:

$$\left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=0} = 0; \quad \left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=2b} = 0; \quad \left. \frac{dh}{dy} \right|_{y=0} = 0; \quad q dx = k \frac{\partial h}{\partial y} dx = \text{const.} \quad (6)$$

Последнее условие (6) показывает, что на депрессионной поверхности $z(x_0, y_0)$ непрерывно сливается вода с постоянным погонным расходом q .

Решение дифференциального уравнения (2) производим на бумажной ЭГДА с использованием аналоговой машины марки УСМ-1.

По закону аналогии-подобия фильтрационные характеристики дифференциального уравнения (2) должны быть аналогами с соответствующими электрическими характеристиками дифференциального уравнения

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial y} \right) + I = 0, \quad (7)$$

где U — потенциал в точке; R_s — удельное сопротивление; I — интенсивность площадного питания электрической модели.

Для моделирования фильтрационных процессов введем следующие масштабы: $\alpha_x = \frac{x_m}{x_n} = \frac{y_m}{y_n}$ — линейный; $\alpha_h = \frac{h}{U}$ или $\alpha_s = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}}$ — масштаб напоров; $\alpha_r = \frac{a}{I}$, $\alpha_R = \frac{k}{\frac{1}{R}}$ — масштабы расхода (или силы тока) и сопротивления.

Подставляя масштабные коэффициенты α_x , α_y , α_s , α_R в дифференциальное уравнение (2), из условия тождественности уравнений (2—7) получим критериальные зависимости моделирования:

$$\frac{\alpha_x \alpha_y}{\alpha_r^2} = 1; \quad \frac{\alpha_s}{\alpha_r} = 1 \quad \text{или} \quad \alpha_y = \alpha_x \alpha_r; \quad (8)$$

$$\frac{\alpha_r \alpha_R}{\alpha_U} = 1; \quad \alpha_r = \frac{I}{q}; \quad \alpha_U = kR_s; \quad \alpha_U = \alpha_r \alpha_R. \quad (9)$$

При расчете модели ЭГДА из трех независимых масштабов α_x , α_r и α_U два задаются произвольно, а третий масштаб определяется из критериальной зависимости (9).

Создание модели и определение скоростей осуществляется следующим образом.

1. Устанавливается гидродинамическая схема области фильтрации с соответствующими расчетными характеристиками.

2. Устанавливаются линейные масштабы модели. При моделировании многослойной среды необходимо подобрать бумаги с различными сопротивлениями, пропорциональными соответствующим коэффициентам фильтрации, а для однородной среды бумагу любого удельного сопротивления.

3. По принятому линейному масштабу из электропроводной бумаги выкраивается точная копия моделируемой области. Если модель составная, то отдельные ее части с различными коэффициентами фильтрации и мощностями выполняются из различных сортов бумаги, которые должны быть геометрически подобны соответствующим слоям.

На участках грани модели, соответствующих водонепроницаемым участкам, электропроводная бумага должна кончатся обрезом. Для моделирования инфильтрации к внешнему контуру подсоединяются жесточные шины, концы которых при помощи шнура подсоединяются к граничным условиям второго рода (ГУ—II).

Построение гидродинамической сетки в области фильтрации производится обычными методами ЭГДА (рис. 2). На рис. 3 для примера приведены результаты расчета. При этом были заданы контуры фильтрации, включая депрессионные линии (размеры приведены на рис. 1), коэффи-

коэффициент фильтрации $K=3,5 \text{ м/сут}$ и интенсивность инфильтрации (погонный расход) при промывке $q=0,035 \text{ м}^2/\text{сут}$.

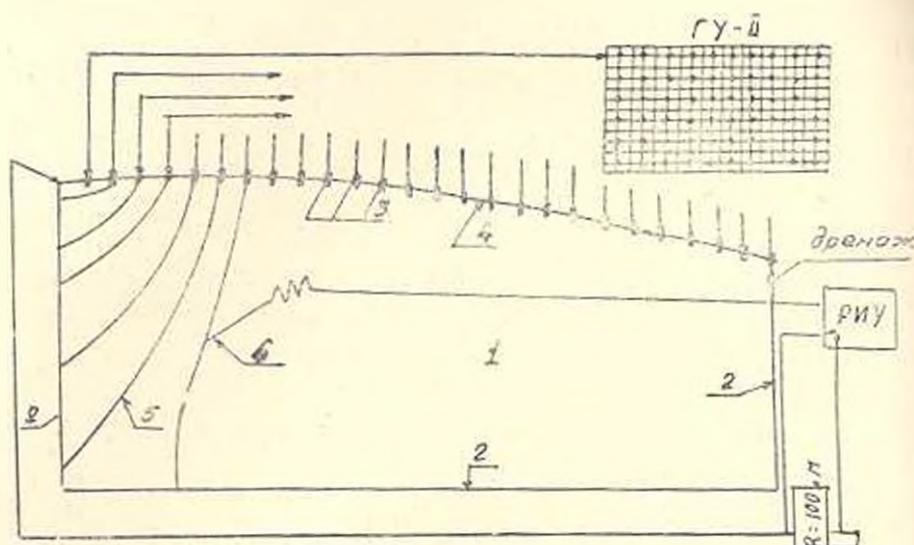


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема модели ЭГДА: 1 — электропроводная бумага; 2 — водонепроницаемый контур; 3 — прерывистые линии; 4 — депрессионная линия; 5 — линия равного потенциала; 6 — угла.

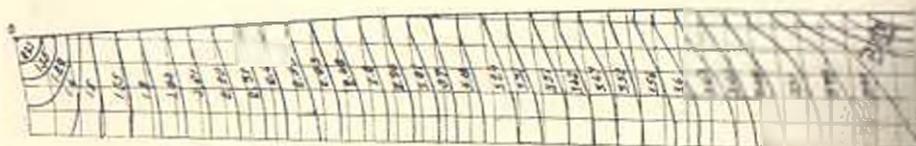


Рис. 3. Линии одинакового потенциала (давления) при работе горизонтального дренажа.

Масштабы α_I , α_R и α_r определяются следующим образом.

1. Масштаб силы тока:

$$\alpha_I = \frac{I_0}{qb} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{0,035 \cdot 75} = 0,95 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot \text{сут} \cdot \text{м}^2,$$

где b — половина междрениного расстояния; I_0 — показывает силу тока которая принимается за 100% исходя из технической характеристики УСМ-1; $Q = qb$ — показывает суммарный расход воды, который поступает в дренаж из области фильтрации. Этот расход (сила тока) распределяется между отдельными прерывистыми шинами поровну т. е. $i = \frac{I_0}{n}$, где n — число прерывистых шин.

Для получения суммарной силы тока (расхода) в дренаже, равной $2,5 \times 10^{-3} \text{ А}$ ($2,6 \text{ м}^3/\text{сут}$), необходимо на модели подавать ток несколько большей величины для компенсации неизбежных потерь, которые имеют

место в бумажной среде. При помощи делителя напряжения машины УМС-1 осуществляется это действие.

2. Масштаб сопротивления —

$$\alpha_n = kR_0 = 3,5 \cdot 325 = 1137,5 \text{ ом} \cdot \text{м}^2/\text{сут.}$$

3. Масштаб потенциала —

$$\alpha_{11} = \alpha_{12} \alpha_1 = 1,08 \text{ В/м.}$$

Разделив все числовые значения потенциалов электрической модели на коэффициент $\alpha_{11} = 1,08$, получим линии одинаковых напоров. По этим данным и по формулам $v_x = -k \frac{dh}{dx}$, $v_y = -k \frac{dh}{dy}$ нетрудно определить значение горизонтальных и вертикальных скоростей, которые входят в дифференциальное уравнение (1) массопереноса, которое решается методом конечных разностей, используя аналоговую машину УСМ-1 и ЭВМ НАИРН-2, работающих в параллельном режиме.

Используя аналогию, которая существует между изменением концентрации жидкости в фильтрационном потоке и потенциала в электрическом поле, из уравнения Кирхгофа, написанного для каждой узловой точки сетки, аналогично конечно-разностным уравнениям массопереноса нетрудно получить расчетные зависимости для электрических сопротивлений.

После элементарных преобразований дифференциальное уравнение (1) с учетом (3) можно представить в виде

$$D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - \left[\left(v_x - a \frac{\partial \tau'_x}{\partial x} \right) \frac{\partial C}{\partial x} + \left(v_y - a \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) \frac{\partial C}{\partial y} \right] + \rho(C_n - C) = \mu \frac{\partial C}{\partial t} \quad (10)$$

Конвективные члены (выраженные в квадратной скобке q_n) можно рассматривать, как источник, реализующийся на электрической модели дополнительной подачей (отбором) определенной силы тока в центры блоков модели. В связи с тем, что значение C (искомая функция) заранее неизвестно, его следует находить методом итераций. Опыт решения показывает, что число шагов итеративного процесса невелико (обычно 1-2). С учетом сказанного, конечно-разностные уравнения для составления электрической блок-схемы и решения дифференциального уравнения (10) можно представить в следующем виде:

$$\frac{C_1 - C_2}{\Phi_1} + \frac{C_1 - C_7}{\Phi_2} + \frac{C_n - C_x}{\Phi_3} - I_1 = \frac{C_2^t - C_2^{t-\Delta t}}{\Phi_1};$$

$$\frac{C_2 - C_3}{\Phi_1} + \frac{C_4 - C_2}{\Phi_2} + \frac{C_n - C_3}{\Phi_3} + I_2 = \frac{C_3^t - C_3^{t-\Delta t}}{\Phi_1};$$

.....

(11)

Для иллюстрации в табл. 2 приведено значение концентрации после 60 сут. при непрерывной схеме подачи воды в чек (междренное расстойание). Из данных таблицы 2 видно, что в течение 60 сут. максимальное значение концентрации 12 г/л снижается до 3—3,5 г/л. При этом объем промывной воды достигает 21000 м, который очень близок к данным натурных опытов [6].

По изложенному методу в настоящее время исследуется процесс массопереноса в неоднородной фильтрующей среде.

ЕрИИ им. К. Маркса

Поступило 14 XII.1978.

Ս. Ա. ԱՆԱՆՅԱՆ

ՖԻԼՏՐԱՑԻՈՆ ՆՈՍՔՈՎ ՄԱՍՍՍՏԵՆՂԱՓՈՒՆՈՒՄ ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ԳՐԵՆԱԺԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԴԵՊՐՈՒՄ

Ս. մ փ ո փ ո լ մ

Հորիզոնով բերված է մասսատեղափոխման տեսության հիմնական դիֆերենցիալ հավասարումները աղուաների լվացման խնդիրները լուծելու համար: Սահմանված է դիֆերենցիալ հավասարումների սկզբնական և սահմանային պայմանները մի շարք կարևոր պարմնական նշանակություն ունեցող խնդիրների լուծման համար: Խնդրի լուծումը իրականացված է մաթեմատիկական մոդիլացման մեթոդով, ստացված արդյունքները քննարկված են ն սրված մի շարք գործնական խորհուրդներ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Подубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. М., «Наука», 1977.
2. Аверьянов С. Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. Сб. «Орошаемое земледелие в Европейской части СССР». М., «Колос», 1965.
3. Аняня А. К. Дренаж при освоении содовых солончаков. М., «Колос», 1972.
4. Аняня С. А., Аняня А. К. Гидродинамические методы определения эксплуатационных запасов подземных вод с учетом изменения их качества под влиянием поверхностных источников. «Известия АН Арм ССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 5, 1977.
5. Аняня С. А. О некоторых результатах решения пространственной задачи массопереноса. «Известия АН Арм ССР (серия Т. Н.)», т. XXX, № 6, 1977.
6. Аняня С. А., Ачоян Ж. А., Аняня А. К. О некоторых результатах исследования рас-соляющего действия горизонтального дренажа. «Известия АН Арм ССР (серия Т. Н.)», т. XXXI, № 5, 1978.