

А.С. КАЗАРЯН

**РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСЧЕТА
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДРЕНАЖЕЙ ПРИ НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ ДВИЖЕНИИ
ГРУНТОВЫХ ВОД**

Рассматривается решение некоторых краевых задач фильтрации горизонтальных дренажей в случае не установившегося движения грунтовых вод с применением метода последовательной смены стационарных состояний.

Ключевые слова: дренаж, кривая депрессии, фильтрация, водоупор, инфильтрация.

Введение. В настоящее время перед сельскохозяйственной и мелиоративной наукой со всей остротой встала проблема разработки методов принятия оптимальных хозяйственных решений на различных уровнях управления производством, включая оперативное управление использованием водных ресурсов, в частности подземных вод.

Основной целью исследования является создание эффективных способов регулирования режимов подземных вод с рассмотрением орошаемого массива как элемента региональной экологической системы и системы общественного производства. При этом важно обеспечение наилучших условий совокупности процессов энерго- и массообмена в агроэкологической системе атмосфера-растение-почва-грунтовые воды. Последняя создает благоприятный водный обмен на орошаемых землях на фоне вертикальных и горизонтальных дренажей.

Орошаемые, засоленные и переувлажненные земли имеются и в Республике Армения. Они расположены, главным образом, на Араратской равнине. В условиях ограниченности земельных ресурсов использование этих земель имеет исключительно важное значение для развития сельского хозяйства в республике.

В этой связи фильтрационные расчеты горизонтальных дренажей и установление требуемых уровней грунтовых вод имеют важное значение. При этом рассматривается решение следующих краевых задач фильтрации.

1. Не установившееся движение грунтовых вод к дренажу при постоянном напоре на одной из границ. Примем, что напор в дренаже падает мгновенно, и питание осуществляется за счет инфильтрации поверхностных вод (модулем ε) и осушения грунта. На расстоянии S_1 от дрены напор постоянный (H_0). Тре-

буется определить изменение положения кривой депрессии на расстоянии S_1 в момент времени T_1 (рис.1).

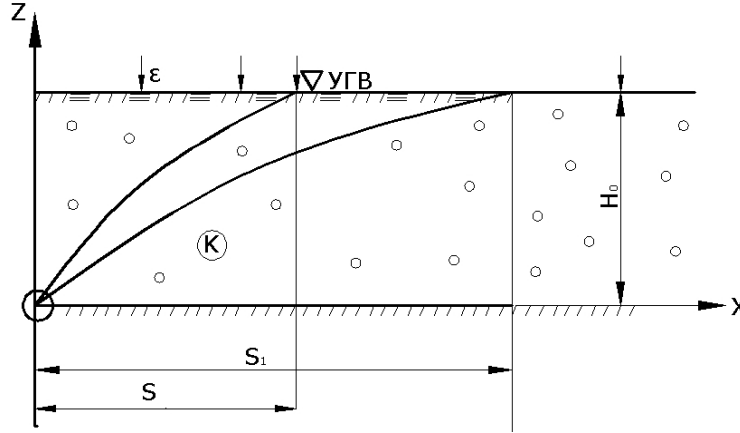


Рис. 1. Расчетная схема изменения кривой депрессии

Уравнение водного баланса будет [1]

$$\left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \cdot \mu \cdot H_0 dS + \varepsilon S dt = \frac{KH_0^2}{S} dt. \quad (1)$$

Правая часть уравнения (1) определяет количество воды, которое за время dt на расстоянии S под напором H_0 с коэффициентом фильтрации K движется к дренажу. Здесь $H/S = I$, где I - гидравлический градиент, KI - скорость фильтрации. Умножив KI на H_0 , получим удельный расход фильтрации.

Левая сторона уравнения (1) включает в себя два объема: первый объем - инфильтрационного питания, который равен $\varepsilon S dt$, где S меняется от 0 до S_1 (при $S = 0 - H = 0$, при $S = S_1 - H = H_0$ при $S = S_1 - t = T_1$); второй объем обусловлен гравитационным коэффициентом водоотдачи μ и объемом грунта, находящегося ниже кривой депрессии:

$$A = \int_0^S z dz = \int_0^S \frac{H}{S} \sqrt{S^2 - (X - S)^2} dz = \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) H_0 S, \quad dA = \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) H_0 dS.$$

В уравнении (1) после разъединения переменных будем иметь

$$\left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \mu H_0 dS = \left(\frac{KH_0^2}{S} - \varepsilon S\right) dt = \frac{(KH_0^2 - \varepsilon S^2) dt}{S},$$

$$\frac{SdS}{KH_0^2 - \varepsilon S^2} = \frac{4,65}{\mu H_0} dt. \quad (2)$$

Интегрируя (2), при $t = 0, S = 0$ получим

$$\ln \frac{KH_0^2}{KH_0^2 - \varepsilon S^2} = \frac{9,3\varepsilon \cdot t}{\mu H_0} = at, \quad (3)$$

где $a = \frac{9,3\varepsilon}{\mu H_0}$.

Решая (3) относительно S , получим

$$S = H_0 \sqrt{\frac{K}{\varepsilon} (1 - e^{-at})}. \quad (4)$$

При $t \rightarrow \infty$ из (4) следует

$$S = H_0 \sqrt{\frac{K}{\varepsilon}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) известно как уравнение Ротэ [2]. В случае, когда инфильтрация отсутствует, уравнение (1) примет вид

$$0,215\mu H_0 dS = \frac{KH_0^2}{S} dt. \quad (6)$$

Интегрируя (6) и решив его относительно S , получим

$$S = 3,05 \sqrt{\frac{KH_0 T}{\mu}}. \quad (7)$$

При постоянных параметрах K, H_0, μ из уравнения (7) для произвольного времени определяется величина S . При $t = T_1 - S = S_1$, и кривые депрессии с левой и правой сторон дренажей достигают середины междренажного расстояния. При этом имеем

$$T_1 = 0,107 \frac{S_1^2 \mu}{KH_0} = 0,027 \frac{\mu E^2}{KH_0}, \quad (8)$$

где $E = 2S_1$ – расстояние между двумя дренами.

Пример 1. Дано $E = 30$ м, $\mu = 0,03$, $H_0 = 1,0$ м, $K = 3$ м / сут. Требуется определить время, когда кривые депрессии с левой и правой сторон дренажей достигают середины междренажного расстояния.

Из (8) имеем

$$T_l = \frac{0,027 \mu E^2}{KH_0} = \frac{0,027 \cdot 0,03 \cdot 30^2}{3 \cdot 1} = 0,24 \text{ cym.}$$

2. Определение понижения уровня грунтовых вод в середине дренажей.

Рассмотрим случай, когда инфильтрация отсутствует и начальный ($t = 0$) уровень равен H_0 (рис. 2).

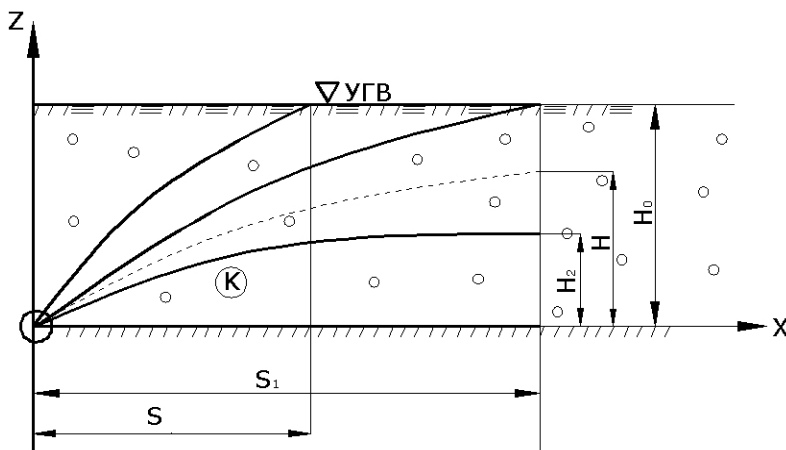


Рис. 2. Расчетная схема определения понижения ΔH в середине дренажей

Примем, что уровень в дренаже падает мгновенно до водоупора. Время, при котором уровень в середине дренажей опускается на величину $\Delta H = H_0 - H_2$, делим на две части - T_1 и T_2 , где T_1 - время, когда кривые депрессии встречаются друг с другом в середине дренажей, и T_2 - время, когда в середине дренажей уровень понижается до ΔH . Время T_1 определяется из (8), время T_2 находим, представляя кривую депрессии в виде эллипса. В результате имеем

$$A = \int_0^S z dx = \frac{H}{S} \int_0^S \sqrt{S^2 - (X - S)^2} dx = \frac{\pi}{4} SH, \quad dA = \frac{\pi}{4} S dH. \quad (9)$$

Уравнение водного баланса будет

$$\frac{KH^2}{S}dt = \mu \frac{\pi}{4} S dH, \quad (10)$$

где

$$\frac{KT_2}{S^2} = \mu \frac{\pi}{4} \int_{H_2}^{H_0} \frac{dH}{H^2} = \mu \frac{\pi}{4} \left(\frac{H_0 - H_1}{H_0 H_1} \right),$$

$$S = \sqrt{\frac{4}{\pi\mu} KT_2 \frac{H_0 H_2}{H_0 - H_2}}, \quad (11)$$

$$E = 2S = 2 \sqrt{\frac{4}{\pi\mu} KT_2 \frac{H_0 H_2}{H_0 - H_2}}, \quad (12)$$

$$T_2 = 0,196 \frac{\mu E^2 (H_0 - H_2)}{KH_0 H_2}. \quad (13)$$

Полное время опускания уровня грунтовых вод на величину ΔH определяется суммой (13) и (8) в виде

$$T = T_1 + T_2 = 0,027 \frac{\mu E^2}{KH_0} + 0,196 \frac{\mu E^2 (H_0 - H_2)}{KH_0 H_2} =$$

$$= \frac{\mu E^2}{KH_0 H_2} [0,027 H_2 + 0,196 (H_0 - H_2)], \quad (14)$$

где $E = 2S$ определяется по формуле (12):

$$E = 2,26 \sqrt{\frac{KH_0 H_2 T}{\mu (H_0 - 0,87 H_2)}}. \quad (15)$$

Учитывая, что кривая депрессии в этом случае является эллипсом, в уравнении (15) значение E получится на 5% больше, если кривая депрессии принимается параболой. Вводя при этом понижающий коэффициент 0,93 [3], уравнение (15) примет вид

$$E = 2,14 \sqrt{\frac{KH_0 H_2 T}{\mu (H_0 - 0,87 H_2)}}. \quad (16)$$

Уравнение (15) верно для совершенного дренажа.

Пример 2. Дано $E = 30$ м, $\mu = 0,03$, $H_0 = 1,0$ м, $K = 3$ м/сут. Требуется определить время, когда в середине дренажей уровень воды опустится до $H_2 = 0,7$ м.

Из (13) находим

$$T_2 = \frac{0,196 \mu E^2 (H_0 - H_2)}{KH_0 H_2} = \frac{0,196 \cdot 0,03 \cdot 30^2 (1 - 0,7)}{3 \cdot 1 \cdot 0,7} = 0,76 \text{ сут.}$$

Общее время, согласно (14), составит

$$T = T_1 + T_2 = 0,24 + 0,76 = 1 \text{ сут.}$$

Закключение. Таким образом, с использованием метода последовательной смены стационарных состояний получаем простые расчетные формулы для времени T_1 (первая краевая задача), при котором кривая депрессии из двух дренажей встречается в их середине, и времени T_2 (вторая краевая задача), при котором уровень грунтовых вод в середине дренажей опускается на величину ΔH . Определяются общее время и расстояние между дренажами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Полубаринова-Кочина П.Я.** Теория движения грунтовых вод. - М.: Наука, 1977. – 664 с.
2. **Wang J.S., Narasimhan T.N.** Hydrologic mechanism Covering Fluid Flow in a Partially Saturated, Porous Medium. WaterResourcesResearch.– 1985. – Vol.12.– P. 1861-1874.
3. **Аверьянов С.Ф.** Дренаж сельскохозяйственных земель. - М.: Колос, 1964. – 718 с.

Государственный аграрный университет Армении. Материал поступил в редакцию 10.04.2012.

Հ.Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ԴՐԵՆԱԺՆԵՐԻ ՖԻԼՏՐՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ԵԶՐԱՅԻՆ ՄԻ ՔԱՆԻ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ ԳՐՈՒՆՏԱՅԻՆ ՋՐԵՐԻ ՉՀԱՍՏԱՏՎԱԾ ՇԱՐՇՄԱՆ ԴԵՊՐԵՍԻԱ

Դիտարկվում են համասեռ գրունտներում տեղադրված հորիզոնական դրենաժի ֆիլտրման հաշվարկի եզրային խնդիրների լուծումները, երբ շարժումը հաստատված չէ:

Առանցքային բառեր. դրենաժ, դեպրեսիայի կոր, ֆիլտրում, անջրանցիկ շերտ, ներֆիլտրում:

H.S. GHAZARYAN

THE SOLUTION OF SOME BOUNDARY VALUE PROBLEMS OF FILTRATION CALCULATION OF HORIZONTAL DRAINS AT THE STEADY MOVEMENT OF GROUND WATER

Consider the solution of some boundary value problems of filtration calculation of horizontal drains at the steady movement of ground water. It is assumed "method of consistent change of stationary states."

Keywords: drains, depression curve, filtration.