

Г. С. ГАБАЯН, С. Ш. ПУРИДЖАНИЦ, В. С. САРКԻՍԻԱՆ

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ И КАНАЛОВ В ПОЛУОГРАНИЧЕННУЮ ОБЛАСТЬ

Фильтрация из водохранилищ и каналов вызывает подпор уровня грунтовых вод, возникает угроза засоления и заболачивания обширных территорий. Это в свою очередь приводит в негодность огромные площади сельскохозяйственных угодий, вызывает осадки фундаментов сооружений, способствует возникновению оползневых явлений и т. д. Поэтому для правильного прогноза и эффективной борьбы с подобными явлениями, необходимо постоянное совершенствование теории и методов фильтрационных расчетов.

Работа ирригационных водохранилищ носит сезонный характер. Учет его особенно важен для водохранилищ, построенных в горной местности. Задача нестационарной фильтрации рассмотрена в [1] при мгновенном и линейном законах подъема и сработки уровня воды, а в [2, 3] учитывается влияние на процесс фильтрации последовательных циклов наполнений и сработок водохранилища.

Рассмотрим задачу фильтрации воды из водохранилища в полуограниченную область при колебании уровня воды в нем по закону:

$$h(\tau) = A_1 + A_2 \cos(2\pi\tau); \quad A_1 = 0,5(h_1 + h_2); \quad A_2 = 0,5(h_2 - h_1). \quad (1)$$

Здесь h_1 и h_2 — соответственно максимальная и минимальная глубины воды в водохранилище (канале); $\tau = t/T$; T — период одного полного цикла колебания уровня воды в водохранилище; t — время.

Зависимость (1) получена на основе анализа большого количества данных природных наблюдений за уровнями водохранилищ.

Для прогноза режима фильтрации используем уравнение

$$\partial h / \partial \tau = a T \partial^2 h / \partial x^2, \quad (2)$$

где h — глубина грунтового потока на расстоянии x от уреза воды в водохранилище в момент времени τ ; a — коэффициент фильтрации.

Краевые условия поставленной задачи запишутся в виде

$$h(x, 0) = h_0, \quad h(0, \tau) = A_1 + A_2 \cos(2\pi\tau) = \varphi(\tau), \quad h(\infty, \tau) = \infty, \quad (3)$$

где h_0 — уровень грунтовых вод при $\tau = 0$.

Для решения задачи представим $h(x, \tau)$ в виде суммы двух функций $h(x, \tau) = v(x, \tau) + w(x, \tau)$, где функции $v(x, \tau)$ и $w(x, \tau)$ удовлетворяют уравнениям

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} = aT \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} = aT \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (5)$$

при краевых условиях

$$v(x, 0) = h_0, \quad v(0, \tau) = 0, \quad (6)$$

$$w(x, 0) = 0, \quad w(0, \tau) = \varphi(\tau). \quad (7)$$

Решения уравнений (4) и (5) при краевых условиях (6) и (7) запишутся в виде:

$$v(x, \tau) = h_0 \Phi(i); \quad (8)$$

$$w(x, \tau) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\bar{x}} \varphi\left(\tau - \frac{x^2}{4aT\mu^2}\right) \exp(-\mu^2) d\mu. \quad (9)$$

где

$$i = \frac{x}{2\sqrt{a\tau T}}; \quad \Phi(i) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^i \exp(-z^2) dz.$$

Подставляя (3) в (9), после преобразований получаем выражение для $h(x, \tau)$:

$$h(x, \tau) = A_1 + (h_0 - A_1) \Phi(i) + A_2 \cos(2\pi\tau - \bar{x}) \exp(-\bar{x}) - \psi, \quad (10)$$

где

$$\psi = \frac{2A_2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\bar{x}} \cos\left[2\pi\left(\tau - \frac{x^2}{4\pi\mu^2}\right)\right] \exp(-\mu^2) d\mu; \quad \bar{x} = x \sqrt{\frac{\tau}{aT}}.$$

После нескольких лет эксплуатации водохранилища (канала) в заданном режиме процесс фильтрации воды из него принимает квазистационарный характер, т. е. в дальнейшем начальное условие задачи не влияет на процесс фильтрации. При этом уровень грунтовых вод определится из уравнения (10) при $\lambda \rightarrow 0$

$$h(x, \tau) = A_1 + A_2 \cos(2\pi\tau - \bar{x}) \exp(-\bar{x}). \quad (11)$$

На рис. 1 приведены кривые депрессионной поверхности грунтовых вод в различные моменты времени. Как видно из (11), депрессионная поверхность грунтовых вод от воздействия водохранилища меняется по закону затухающих колебаний и имеет многоэкстремальный характер.

Экстремумы определяются путем приравнивания к нулю первой производной по x выражения (11)

$$x^* = \sqrt{\pi a T} (2\tau + n - 0,25), \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

где x^* — удаление точки экстремума от уреза воды в водохранилище (канале) в момент времени τ .

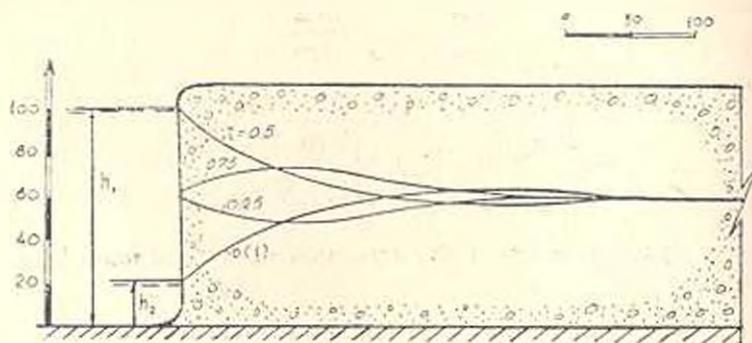


Рис. 1. Кривые депрессионной поверхности грунтовых вод в различные моменты времени.

Из (12) видно, что x^* для любого момента времени τ зависит от фильтрационных характеристик грунта, периода колебания уровня воды в водохранилище и не зависит от амплитуды этих колебаний. Расстояние между последующими экстремумами постоянное и равно $\Delta x^* = \sqrt{\pi a T}$. В связи с затуханием процесса колебания уровня грунтовых вод для практических целей вызывает интерес лишь изучение первых экстремумов. Фильтрационный расход $q(x, \tau)$ в любом сечении, согласно закону Дарси, определяется из выражения.

$$q(\bar{x}, \tau) = A_2 k \sqrt{\frac{2\pi}{aT}} \cos\left(\frac{\pi}{4} + 2\pi\tau - \bar{x}\right) \exp(-\bar{x}) \times \\ \times [A_1 + A_2 \cos(2\pi\tau - \bar{x})] \exp(-\bar{x}), \quad (13)$$

где k — коэффициент фильтрации.

Фильтрационный расход на урезе водохранилища (канала) определяется из (13) при $x = 0$:

$$q(0, \tau) = A_2 k \sqrt{\frac{2\pi}{aT}} \cos\left(\frac{\pi}{4} + 2\pi\tau\right) [A_1 + A_2 \cos(2\pi\tau)]. \quad (14)$$

Из (14) следует, что фильтрационный расход $q(0, \tau) = 0$ при

$$\tau = (1 + 4n)/8, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Экстремальные значения расходов определяются решением следующего трансцендентного уравнения

$$A_1 \sin\left(\frac{\pi}{4} + 2\pi\tau\right) + A_2 \sin\left(\frac{\pi}{4} + 4\pi\tau\right) = 0, \quad (15)$$

Объем воды в любой промежуток времени $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ рассчитывается интегрированием выражения (14) по τ в пределах от τ_1 до τ_2 :

$$W = kA_2^2 \sqrt{\frac{T}{2a\pi}} \left[\frac{A_1}{A_2} \left| \sin\left(\frac{\pi}{4} + 2\pi\tau_2\right) - \sin\left(\frac{\pi}{4} + 2\pi\tau_1\right) \right| + 0.25 \left[\sin\left(\frac{\pi}{4} + 4\pi\tau_2\right) - \sin\left(\frac{\pi}{4} + 4\pi\tau_1\right) + \frac{\pi}{\sqrt{2}} (\tau_2 - \tau_1) \right] \right] \quad (16)$$

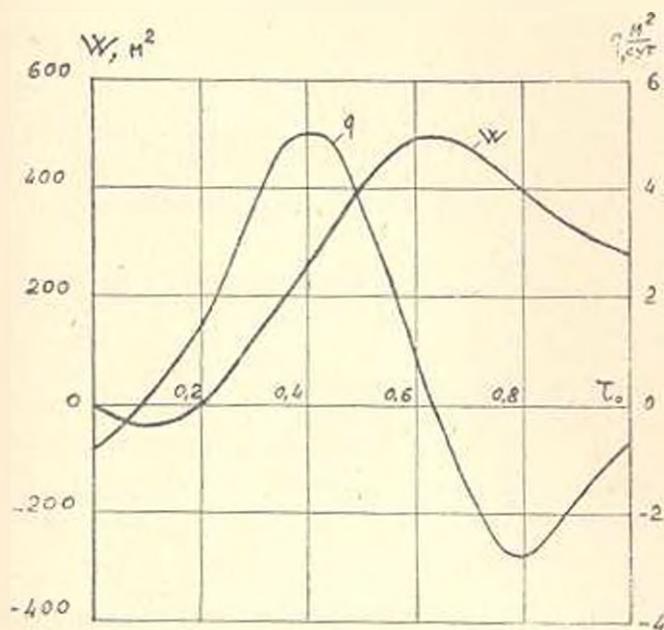


Рис. 2. Зависимости фильтрационного расхода и объема стока от времени.

На рис. 2 приведена кривая зависимости фильтрационных расходов от времени τ . В начальный период наблюдается инфильтрация воды из борта в водохранилище и этот процесс продолжается до $\tau = 1/8$. Грунтовый сток за этот период определяется из (17)

$$w = kA_2^2 \sqrt{\frac{T}{2a\pi}} \left[\left(\frac{2 - \sqrt{2}}{2} \right) \frac{A_1}{A_2} + \frac{\pi}{8\sqrt{2}} \right] \quad (17)$$

В дальнейшем происходит фильтрация воды из водохранилища в борт. При этом фильтрационный расход, достигая некоторого наибольшего значения, определяемого из (16), уменьшается и приравнивается к нулю при $\tau = 5/8$.

Объем воды фильтрующей из водохранилища в указанный период составит

$$W_2 = kA_2^2 \sqrt{\frac{T}{2a\pi}} \left[\frac{\sqrt{2}\pi}{4} - 2 \frac{A_1}{A_2} \right] \quad (18)$$

В дальнейшем снова наблюдается инфильтрация воды в водохранилище, объем которой равен

$$W_2 = kA_2^2 \sqrt{\frac{T}{2a\pi}} \left[-\frac{3\pi}{8} + \left(\frac{2 + \sqrt{2}}{2} \right) \frac{A_1}{A_2} \right] \quad (19)$$

Как видно из рис. 2, вокруг чаши водохранилища образуется некоторая зона «подземного водохранилища», которая в период времени $1/8 < \tau < 5/8$ принимает некоторый объем воды, в дальнейшем частично возвращающегося в водохранилище. Объем «подземного водохранилища» будет равен

$$W_3 = W_1 + W_2 = kA_2^2 \sqrt{\frac{T}{2a\pi}} \left(2 \frac{A_1}{A_2} + \frac{1 - \sqrt{2}}{4} \pi \right) \quad (20)$$

Потери воды из водохранилища в течение одного цикла колебания уровня будут

$$W_{\text{пот}} = W_{\text{от}} - W_3 = \frac{kA_1^2}{2} \sqrt{\frac{\pi T}{a}} \quad (21)$$

Полученные зависимости позволяют определить гидродинамические характеристики пластов при наличии натуральных исследований за балансом воды в водохранилище.

ЕрПН им. К. Маркса

26. III 1981

Գ. Ս. ՉԻՐԵՅԱՆ, Ս. Ե. ՊԵՐԵՉԱՆՅԱՆ, Վ. Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ԿԻՍԱՍԱԶԻՄԱՆԱՓԱԿ ԵՐՐՈՒՅԹՈՒՄ ՊԿՍՏՈՒՆԱՑՎԱԾ ՄԾԱՆՑՈՒՄ
ՋՐԱՄԲԱՐՆԵՐԻՑ ԵՎ ՋՐԱՆՅՔՆԵՐԻՑ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Դիտարկվում է կիսասամանափակ տիրույթում շփոշուցված ծծանցման խնդիրը, երբ ջրամբարում ջրի մակարդակի տատանումը տեղի է ունենում կոսինուսի օրենքով: Ստացված են լուծումներ, որոնք նախափորություն են տալիս որոշել գրունտային ջրերի մակարդակը ջրամբարի հզոր ռոշակի հեռավորության վրա, ծծանցման հարը ցանկացած մոմենտին, ինչպես նաև գրունտային ջրերի հոսքը դեպի ջրամբար և տարվա ընդհանուր ծծանցման կորուստները:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Веригин Н. Н. Режим грунтовых вод при колебании горизонта водохранилища.— Гидротехническое строительство, 1952, № 11, с. 34—37.
2. Саркисян В. С. Гидродинамический метод оценки грунтового стока рек.— В сб. Материалы к совещанию молодых специалистов.— М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1965, с. 79—87.
3. Саркисян В. С., Курянова В. С. Фильтрация из водохранилища (канала) при переменном уровне воды в нем и режим береговых водозаборов.— В сб. Труды ВОДГЕО—М.: 1981, с. 41—48.