

УДК 631.674.4

ГИДРОДИНАМИКА

Н. Н. Веригин, В. С. Саркисян

О действии подземных оросителей сельскохозяйственных культур

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР А. Т. Аслапяном 6/II 1984)

Оптимальная организация орошения земель требует разработки методов и технических средств для рационального регулирования водного и воздушного режима почв.

При орошении напуском по бороздам и полосам происходят избыточное увлажнение почв в периоды поливов и значительная утечка поливных вод в грунтовый поток, а в межполивные периоды может иметь место недостаток влаги в почвах. Кроме того, при таких способах орошения отсутствуют возможности регулирования воздушного режима почв и, в частности, создания повышенной аэрации, необходимой в отдельные периоды развития сельскохозяйственных растений.

Более рационально орошение дождеванием с регулированием интенсивности поливов в пределах от струйного, отвечающего естественному дождю высокой интенсивности, до капельного, соответствующего дозированному увлажнению адекватно потребности растений. Однако и в этом случае наблюдаются потери поливной воды вследствие фильтрации ее в грунтовый поток. Вместе с тем управление потоками воды и особенно воздуха в почве остается затрудненным.

Из-за утечек поливных вод все эти способы полива в той или иной мере требуют устройства дренажа для предотвращения чрезмерного подъема грунтовых вод.

Недостатки существующих методов полива земель устраняются при осуществлении поливов через подземные дырчатые трубы, в которые нагнетается поливная вода или водо-воздушная эмульсия; вместе с тем открываются возможности управления степенью и режимом увлажнения и аэрирования. В этом случае в зависимости от давления в трубах, частоты нагнетания, его продолжительности и содержания воздуха в воде, в почвах и подпочвенных грунтах могут быть созданы различные режимы влажности и аэрирования, наиболее благоприятные для сельскохозяйственных культур и почв разного типа. В таких условиях потери воды за счет фильтрации могут быть сведены к минимуму. Кроме того, улучшаются условия подачи и распределения в почве минеральных и диспергированных органических удобрений, введенных в поливную воду. Наконец, при такой системе поливов подземные дырчатые трубы и траншеи для них могут быть использованы одновременно для орошения дренажа и промывки земель. В частности, при промывке засоленных почв через такие трубы сокращаются утечки промывной воды в грунтовый поток и уменьшается опасность повышения

минерализации подпочвенных грунтов зоны аэрации и грунтовых вод за счет соленой промывной воды.

Представляет принципиальное и практическое значение рассмотрение условий фильтрации из подземных трубчатых оросителей. Ввиду небольших давлений в этих оросителях деформацией воды можно пренебречь, и тогда фильтрация из них будет описываться уравнением Лапласа вида

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

где h — напор; x, y — координаты.

Рассмотрим систему параллельных друг другу горизонтальных оросителей, размещенных выше уровня грунтовых вод. В этих условиях будут иметь место 4 различных стадии фильтрации: 1) образование зоны насыщения грунтов вблизи трубчатых оросителей выше уровня грунтовых вод (рис. 1, а); 2) водонасыщение грунтов и подъем грун-

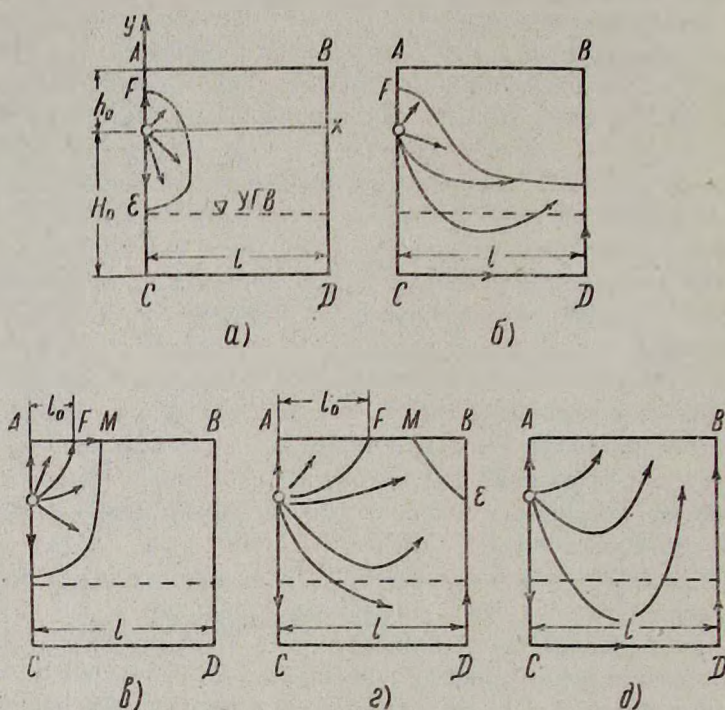


Рис. 1

товых вод вблизи оросителей (рис. 1, б); 3) высачивание поливных вод на части поверхности почвы над оросителями при продолжающемся водонасыщении грунтов между ними (рис. 1, в, г); 4) высачивание поливных вод на всей поверхности поля между оросителями.

В течение первых трех стадий фильтрационный поток имеет свободную поверхность, и режим его является неустановившимся. Кроме того, во вторую стадию на поверхности поля могут существовать горизонтальные линии капиллярного тока воды (рис. 1, в, г, линия $F M$). Таким образом, в общем случае фильтрационный поток из системы оросителей, параллельных друг другу труб, ограничен свободной поверхностью, вертикальными линиями тока на оси оросителей и в серз-

дипе между лини, горизонтальной линией постоянного напора в плоскости высачивания и горизонтальной линией капиллярного тока. Граничные условия на свободной поверхности будут:

$$h = z = -h_k; \quad v_x = \mu \frac{\partial h}{\partial t} = -k \frac{\partial h}{\partial x}; \quad v_y = \mu \frac{\partial y}{\partial t} = -k \frac{\partial h}{\partial y} + \epsilon/\mu, \quad (2)$$

где k —коэффициент фильтрации; μ —дефицит насыщения грунта; v_x и v_y —составляющие скорости фильтрации; t —время; ϵ —инфильтрация или испарение на свободной поверхности; h_k —высота капиллярного вакуума почвы.

Дифференцируя (2) по t , получим (1)

$$v_x^2 + v_y^2 + v_y(k + \epsilon) = k\mu \frac{\partial h}{\partial t}. \quad (3)$$

Если здесь пренебречь квадратами скоростей, то

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{k + \epsilon}{\mu} \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{\epsilon}{\mu} = 0. \quad (4)$$

Граничные условия на вертикальных и горизонтальных непроницаемых границах, являющихся линиями тока, соответственно будут:

$$v_x = -k \frac{\partial h(x_m, y, t)}{\partial x} = 0 \quad (x_m = 0; l), \quad (5)$$

$$v_y = -k \frac{\partial h(x, -H_0, t)}{\partial y} = 0. \quad (6)$$

Здесь v_x и v_y —компоненты скорости фильтрации вдоль осей x и y ; l —половина расстояния между оросителями; H_0 —высота центра оросителей над водоупором; l_0 —половина ширины горизонтальной плоскости высачивания поливной воды на поверхность поля.

Случай $x_m = 0$ соответствует вертикали AC , проходящей через центр оросителя и являющейся осью симметрии фильтрационного потока (рис. 1, β — δ), а случай $x_m = l$ соответствует вертикали BD , проходящей через середину расстояния между оросителями (рис. 1, β , z , δ).

На горизонтальной линии равного напора AF , возникающей в третью стадию (рис. 1, β , z), и на горизонтальной линии равного напора AB , появляющейся в четвертую стадию (рис. 1, δ), граничное условие будет:

$$v_x = -k \frac{\partial h(h_0, x, t)}{\partial x} = 0; \text{ или } h(h_0, x, t) = h_0 + h_1, \quad (7)$$

где h_0 —глубина оросителя от поверхности земли; h_1 —глубина воды, просочившейся на поверхность земли. Обычно величина h_1 очень мала и можно считать, что $h_1 = 0$. По окончании нагнетания в дырчатые трубы и снятия избыточного напора в подземных оросителях эта вода поступает обратно в почву. Таким образом, зона высачивания (выше плоскости AF) играет роль дополнительной регулирующей емкости поливной воды.

На наружной поверхности дырчатой трубы-оросителя (или его

антифильтра) могут приниматься условия 1-го или 2-го рода, а именно:

$$h(r_0, t) = H_r = \text{const}, \quad (8)$$

$$2\pi kr \left. \frac{\partial h(r, t)}{\partial r} \right|_{r=r_0} = \text{const} = q, \quad q = \frac{Q}{L}, \quad (9)$$

где H_r — напор; Q — расход оросителя; r_0 — радиус дырчатой трубы или трубы вместе с антифильтром; L — длина оросителя. Наконец, на линии выхода капиллярных вод FM (рис. 1, а, з) принимается:

$$v_y = k \frac{\partial h(x, h_0, t)}{\partial y} = 0. \quad (10)$$

В точке F , принадлежащей линии выхода капиллярных вод и горизонтальной плоскости равного напора, $h(-l_0, h_0, t) = h_0$. В точке M напор $h = h_0 - h_k$, где h_k — высота капиллярного вакуума грунта. Линия выхода капиллярных вод и условия на них впервые введены в работе (2).

Помимо приведенных выше граничных условий на всех внешних границах потока, для 2 и 3 стадий необходимы начальные условия. Для каждой из этих стадий начальные условия определяются распределением напора $h(x, y)$ в конце предыдущей стадии.

Так, для второй стадии в качестве начального условия принимается распределение напоров в потоке в момент, когда точка D (рис. 1, а) опустится до уровня грунтовых вод (пунктир на рис. 1); для третьей стадии за начальное условие принимается распределение напора в потоке в момент, когда точка F (рис. 1, а, б) поднимается до поверхности земли.

Для первой стадии начальное условие не ставится, так как при $t=0$ область фильтрации воды из оросителя отсутствует. Для четвертой стадии это условие также не ставится, поскольку рассматривается жесткий режим фильтрации.

При описанных здесь краевых условиях задача о действии подземного оросителя в зоне аэрации грунтов имеет единственное решение.

Для 1-й, 2-й и 3-й стадий, когда фильтрация является неустановившейся и характеризуется наличием свободной поверхности, движущейся вверх по направлению к поверхности поля, решение задачи находится на ЭВМ.

Для 4-й стадии, когда свободная поверхность отсутствует и фильтрация может считаться установившейся, возможно как численное, так и аналитическое решение задачи.

В результате этих решений находятся дебит оросителя Q (при заданном напоре в нем H_r) или напор в оросителе H_r (при заданном дебите Q), ширина зоны высачивания l_0 и длина зоны капиллярности $l - l_0$, а при стационарном режиме $l = l_s$. Эти данные позволяют выбрать оптимальное расстояние между оросителями и наилучший режим их действия.

Если действует одиночная дрена, то охарактеризованные выше стадии фильтрации сохраняются. Однако при этом в третью стадию вертикальная линия тока BD в середине между дренами отсутствует,

а кривая свободной поверхности уходит вправо на бесконечность (рис. 1, б, г), причем со временем она перемещается.

Аналогичные задачи возникают при нагнетании растворителя в рудную залежь с целью извлечения из нее металла.

При этом растворитель может подаваться в дырчатую трубу большой длины (линейный источник) или в скважину с открытым забоем (точечный источник). В последнем случае для одного точечного источника задача является двумерной и осесимметричной, а для нескольких точечных источников она будет трехмерной.

Тогда в основном уравнении (1) добавляется слагаемое $\partial^2 h / \partial z^2$, а в левую часть граничного условия (2) дополнительно входит слагаемое $v_z^2 (v_z = -k \partial h / \partial z)$.

Соответственно, изменяются (8) и (9), которые ставятся на сферической поверхности $r = r_0 = \text{const}$.

Особый интерес представляет рассмотрение аналогичных задач для фильтрации в условиях частичного насыщения пор грунта, имеющей место при так называемом капельном орошении.

В этом случае может быть использована математическая модель двухфазной фильтрации влаги в почве, учитывающая гравитационную фильтрацию свободной влаги, диффузию связанной влаги и массообмен между этими фазами (3).

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса
ВНИИВ ОДГЕО

Ն. Ն. ՎԵՐԻԳԻՆ, Վ. Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

Գյուղատնտեսական կուլտուրաների ստորերկրյա ոռոգիչների մասին

Հոդվածում բերվում են ստորերկրյա ոռոգիչների հաշվարկման համար անհրաժեշտ դիֆերենցիալ հավասարումները և սահմանային պայմանները, որոնք հնարավորություն են տալիս որոշել ոռոգիչների միջև հեռավորությունը, տեղադրման խորությունը, անհրաժեշտ ճնշումը և այլ բնութագրեր:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ П. Я. Полубаринова-Кочина, Теория движения грунтовых вод. Гостехтеоретиздат, М., 1952. ² Н. Н. Веригин, ДАН СССР, т. 66, № 4 (1949). ³ Н. Н. Веригин, ДАН СССР, т. 89, № 2 (1953).