

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ В ОРОСИТЕЛЬНОЙ МЕЛИОРАЦИИ

Макалда сугат учурундагы топурактагы нымдуулук жана жылууулук өткөрүүнүн эки өлчөмдүү модемин түзүү жана коюлган маселелердин сандык чечиминин алгоритмдери баяндалган.

В статье описано создание двумерной модели влаго - и теплопереноса в почвогрунтах при орошении и алгоритмы численного решения поставленных задач.

This article is described the creation of two – measured model of wet and warm transfer in soil in irrigation and algorithm of numeral decision of set matters.

В условиях компьютеризации народного хозяйства Кыргызской Республики создание автоматизированных методов управления оросительным комплексом на основе использования новых информационных технологий и системного подхода к комплексной оценке показателей эффективности сельскохозяйственного производства является актуальной проблемой для нашей республики. При решении данной проблемы особое место занимает разработка математических моделей процесса орошения сельскохозяйственных культур, позволяющая создавать автоматизированные оросительные системы и обеспечивающая управление оросительным комплексом в пространственно-временных масштабах с высокой точностью.

В качестве основы для разработки математической модели выбраны уравнения гидротермодинамики почвенной влаги, зависимости для кинетических коэффициентов и уравнения состояния почвенной влаги, полученные в работах С.В.Нерпина и Г.А.Трубачевой (1984, 1985).

Исследованиями многих ученых показано, что в естественных условиях после выпадения дождей или поливов дождеванием и по бороздам переувлажненное или увлажненное состояние поверхности почвы сохраняется сравнительно непродолжительное время. Большую часть времени между поливами поверхность почвы находится в подсохшем состоянии, и процессы парообразования происходят в почвогрунте на некоторой глубине от его поверхности.

Практически процесс переноса парообразной влаги заметен только в приповерхностном слое почвогрунта, и в более глубоких слоях почвы ими можно полностью пренебречь. Поэтому для оценки влияния переноса влаги в парообразном состоянии на водный и тепловой режимы почвогрунтов можно применять приближенный метод, включая его в состав функции источников (стоков) уравнений влаго- и теплопереноса в почвогрунтах.

Процессы влаго- и теплопереноса в почвогрунтах описываются дифференциальными уравнениями в частных производных второго порядка:

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial P}{\partial t} &= -\frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{\partial v_y}{\partial y} - F_p \\ C \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) - C_b v_x \frac{\partial T}{\partial x} - C_b v_y \frac{\partial T}{\partial y} - F_t \end{aligned} \quad (1)$$

$$0 < x < L_x, \quad 0 < y < L_y, \quad t > 0$$

$$v_x = -K \frac{\partial P}{\partial x} - K_T \frac{\partial T}{\partial x} \quad v_y = -K \frac{\partial P}{\partial y} - K_T \frac{\partial T}{\partial y} + K$$

Здесь t – время; x, y – горизонтальная и вертикальная координаты отсчета соответственно; $P = P(x, y, t)$ – давление почвенной влаги при $P < 0$, напор водоносного горизонта при $P > 0$ и уровень

грунтовых вод при $P = 0$; $\mu = \mu(P) = \frac{\partial W}{\partial P}$ – капиллярная влагоемкость почвогрунтов при $P < 0$,

$\mu = 0$ при $P \geq 0$; $W = W(P)$ – влажность почвогрунтов; $T = T(x, y, t)$ – температура почвогрунтов; $F_p = F(P, y)$ – функция, учитывающая поглощение влаги корнями растений и влияние внутрисочвенного переноса парообразной влаги; $C_b = \text{const}$ – объемная теплоемкость воды; $C = C(W)$, $\lambda = \lambda(W)$ – объемная теплоемкость и коэффициент теплопроводности почвогрунтов соответственно; $K = K(P, y)$ – коэффициент влагопроводности при $P < 0$ и коэффициент фильтрации при $P \geq 0$ почвогрунтов; $K_T = K_T(P, T)$ – коэффициент термовлагопроводности почвогрунтов; v_x, v_y – потоки влаги в почвогрунтах по горизонтали и вертикали соответственно;

Область исследования рассматриваемой задачи представляет собой прямоугольник, на границах которого принимаются различные краевые условия в зависимости от конкретных гидромелиоративных, метеорологических условий на сельскохозяйственных полях и применяемых способов орошения. На верхнем левом углу прямоугольника расположено начало координат $x=0, y=0$, и ось y направим вниз, а ось x – направо. Тогда верхняя граница прямоугольника ($y=0, 0 \leq x \leq L_x$) является связующим звеном почвенного покрова с атмосферой.

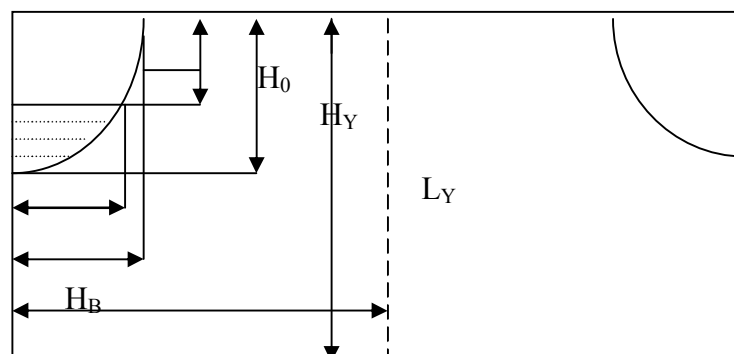


Рис.1. Расчетная схема полива по бороздам

в однородном грунте

Общий вид краевых условий принимает вид:

$$(2) \begin{cases} \beta_a \left(K \frac{\partial P}{\partial y} + K_T \frac{\partial T}{\partial y} - \gamma_a K \right) = x_a(x)P - g_a(x), & x_a = 0 \text{ или } L_x, \\ 0 \leq x_y \leq L_x, & t > 0 \\ \bar{\beta}_a \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} - C_b v_y T \right) = \bar{x}_a(x)T - \bar{g}_a(x), & x_a = 0 \text{ или } L_x, \\ 0 \leq x_y \leq L_x, & t > 0 \\ a = 1 \text{ или } 2; & \gamma = 3 - a; \quad x_1 = x; \quad x_2 = y; \\ \theta_1 = 0 \text{ для } a = 1; & \theta_2 = 1 \text{ для } a = 2. \end{cases}$$

При определенном выборе $\beta_a, g_a, x_a, \bar{\beta}_a, \bar{g}_a, \bar{x}_a$ на сторонах прямоугольника соответствуют краевым условиям 1, 2 или 3 рода.

Начальные условия для системы (1) задаются в виде:

$$(3) \begin{aligned} P(x,y,0) &= P_n(x,y), \quad T(x,y,0) = T_n(x,y), \\ 0 \leq x \leq L_x, \quad 0 \leq y \leq L_y, \quad t > 0. \end{aligned}$$

При поливе по бороздам задаются разные формы поперечного сечения борозды. Поэтому в области исследования дополняются еще одним условием ограничений. Мы рассматривали две формы сечения: полуциркульную и параболическую. Тогда область исследования рассматриваемой задачи представляет собой неполный прямоугольник, как отрезанный верхний правый угол по форме борозды (рис.1), контуры борозды определяются в нашем случае уравнениями окружности и параболы.

Таким образом, система уравнений влаго- теплопереноса в почвогрунтах (1) при поливе по бороздам решается в области исследования (рис. 1).

$$\begin{aligned} X^2 + Y^2 > R^2 & \quad \text{или} \quad Y/H_y + X^2/H_x^2 > 1, \\ 0 < x < L_x, & \quad 0 < y < L_y, \quad t > 0 \end{aligned}$$

со следующими граничными условиями.

Верхняя граница делится на две части.

На отрезке $y=0, H_x \leq x \leq L_x$ ставятся условия (4) и (5) или вместо (5) условие (6).

$$-K \frac{\partial P}{\partial y} - K_T \frac{\partial T}{\partial y} + K = E(x, t) \quad (4)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial y} + C_b V_y T = Q(x, t) \quad (5)$$

$$T(x, 0, t) = T_0(x, t) \quad (6)$$

На контуре борозды $X^2 + Y^2 = R^2$ или $y/H_y + X^2/H_x^2 = 1$ граничные условия принимаются следующим образом:

В процессе полива в диапазонах $H_b < x \leq H_x$ и $0 < y < H_0$ задаются условия (4) и (5), а в диапазонах $-0 \leq x \leq H_b$ и $H_0 \leq y \leq H_y$ ставятся условия:

$$P(x, y, t) = h(t) + y, \quad (7)$$

$$T(x, y, t) = T_b = \text{const.} \quad (8)$$

При межполивном периоде по всему контуру борозды задаются граничные условия (4) и (5) или вместо (5) условие (6).

На нижней границе области исследования задаются:

$$P(x, L_y, t) = P_L = \text{const.}, \quad (9)$$

$$T(x, L_y, t) = P_L = \text{const.} \quad (10)$$

На боковых границах области исследования (на линиях симметрии) ($x=0, H_y < y \leq L_y$) и ($x=0, 0 \leq y \leq L_y$) ставится условие неперетекания, т.е. потоки влаги и тепла устанавливаются равными нулю.

Рассматриваемая система уравнений (1) вместе с соответствующими граничными и начальными условиями (2) и (3) решается численно методом конечных разностей, который является достаточно универсальным и мощным средством для реализации сложнейших математических моделей на современных ПК.

Для получения разностного аналога дифференциальных уравнений и их краевых, начальных условий (1) и (3) нами использован интегро-интерполяционный метод, при применении которого всегда обеспечиваются требования однородности и консервативности разностных схем.

В книгах А.А.Самарского и Е.С.Андреева (1978), Г.И. Марчука (1988) излагаются экономичные методы решения разностных задач математической физики. В настоящее время существует много работ, подтверждающих эффективность этих методов при решении различных гидромелиоративных задач. В частности, В.И.Сабинин (1980) утверждает, что метод неполной факторизации при решении двумерной задачи о горизонтальном дренаже является эффективным по сравнению с попеременно-треугольным методом, методами переменных направлений и Ричардсона. В.В.Лычман (1985) применил усовершенствованный вариант попеременно-треугольного метода для решения задач фильтрации и влагопереноса в многослойных почвогрунтах при работе систематического горизонтального и вертикального дренажа. В работах С.Т.Рыбаковой, И.О.Юшманова, В.С.Борисова и многих других отечественных и зарубежных

ученых для решения разнообразных по своему характеру гидромелиоративных задач использованы различные варианты метода переменных направлений.

По нашему мнению, при решении нестационарных задач внутрпочвенного влаго- и теплопереноса со смешанными граничными условиями на неравномерной сетке наиболее эффективным является попеременно-треугольный метод, предложенный А.А.Самарским и развитый в работах А.Б.Кучерова, Е.С.Николаева, М.М.Макарова, В.В.Лычмана.

В данной работе при решении поставленных задач попеременно-треугольным методом использована априорная информация, полученная В.В.Лычманом.

Проверена адекватность полученных результатов данными натурных исследований и на основе вычислительного эксперимента определены диапазоны применимости разработанных численных алгоритмов для определения оптимальных параметров техники орошения по бороздам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулаев А., Оморова Н.А., Абдурасулов А.И. Численный метод расчета влаго- и теплопереноса в почвогрунтах при орошении //Материалы 3-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и студентов КАСИ. – Бишкек, 1999. – С. 85-91.