

Выводы. Разработанная модель позволяет потребителю выбрать подходящее для конкретных условий конструктивное решение осушительной системы двустороннего действия, подобрать входящие в нее элементы и обеспечивает поэтапное проведение процесса организации выбора и построения конструктивного решения системы специалистами при проектировании. В целях более полного описания выбора конструктивного решения (прототипа) и компоновки всех функциональных модулей осушительной системы двустороннего действия необходима дальнейшая декомпозиция данной модели для блока «Компоновка конструктивного решения системы».

Список использованных источников

1 Оросительные системы России: от поколения к поколению: монография: в 2 ч. / В. Н. Щедрин, А. В. Колганов, С. М. Васильев, А. А. Чураев. – Новочеркасск: Геликон, 2013. – 590 с.

2 Кожанов, А. Л. Анализ конструкций мелиоративных систем двустороннего действия и основные пути совершенствования / А. Л. Кожанов, О. В. Воеводин // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2018. – № 2(70). – С. 91–98.

3 Щедрин, В. Н. Концептуальное обоснование разработки стратегии научно-технического обеспечения развития мелиорации земель в России / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2016. – № 4(24). – С. 1–21. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec441-field6.pdf.

4 Найденов, С. В. Обзор водооборотных систем на основе гидромелиоративного рециклинга / С. В. Найденов, Ю. Е. Домашенко, С. М. Васильев // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 2(30). – С. 95–111. – Режим доступа: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec548-field6.pdf.

УДК 631.674.6

С. М. Васильев, Ю. Ю. Глущенко

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ВЛАГОПЕРЕНОСА В СИСТЕМАХ КАПЕЛЬНОГО И ВНУТРИПОЧВЕННОГО ОРОШЕНИЯ

Целью исследования является обзор существующих теоретических подходов к изучению влагопереноса при капельном и внутрипочвенном орошении. В данной работе рассматриваются процессы математического моделирования влагопереноса в почве при капельном и внутрипочвенном орошении в форме дифференциальных уравнений. Установлено, что из рассмотренных математических моделей более эффективна модель влагопереноса при капельном орошении, так как она наиболее точно описывает параметры распределения влаги в почве. Математическая модель распределения влаги в почве при внутрипочвенном орошении характеризуется коэффициентом диффузии влаги, что описывает процесс влагопереноса только в зоне полного насыщения.

Ключевые слова: капельное орошение, внутрипочвенное орошение, математическая модель влагопереноса, контуры увлажнения, коэффициент диффузии, коэффициенты влагопроводности.

S. M. Vasilyev, Yu. Yu. Glushchenko

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

THEORETICAL APPROACHES IN THE STUDY OF MOISTURE TRANSFER IN DRIP AND SUBSOIL IRRIGATION SYSTEMS

The aim of the research is to review the existing theoretical approaches to the study of moisture transfer during drip and subsoil irrigation. In this paper the processes of mathematical modeling of moisture transfer in soil during drip and subsoil irrigation in the form of differential equations are considered. It is found that the model of moisture transfer during drip irrigation is more effective among the considered mathematical models since it most accurately describes the moisture distribution parameters in soil. The mathematical model of moisture distribution in soil with subsoil irrigation is characterized by the moisture diffusion coefficient which describes the process of moisture transfer only in the zone of complete saturation.

Key words: drip irrigation, subsoil irrigation, mathematical model of moisture transfer, moisture contours, diffusion coefficient, moisture conductivity coefficients.

Введение. В настоящее время существует острая необходимость модернизации инженерно-мелиоративных систем на нижних иерархических уровнях с целью повышения эффективности использования орошаемых земель в условиях аридного климата. Наиболее прогрессивными способами орошения, позволяющими получать высокие урожаи сельскохозяйственных культур, является капельное и внутрипочвенное орошение. Однако возможности внутрипочвенного орошения реализуются далеко не полностью из-за недостаточной изученности вопросов, связанных с технологией строительства, режимом работы систем внутрипочвенного орошения, долговечностью и надежностью конструкций увлажнителей, в отличие от капельного орошения [1–3].

Основой теоретических исследований систем капельного и внутрипочвенного орошения служит математическое моделирование процессов влагопереноса в почве. Для рассматриваемых способов полива применяются различные подходы к математическому моделированию, отражающие физические особенности процесса влагопереноса при капельном и внутрипочвенном орошении. Математическое описание процессов влагопереноса позволит уточнить инженерную методику расчета поливных и оросительных норм с целью сбережения природных ресурсов, параметры контуров увлажнения и передвижение воды в почве при орошении [4, 5].

Результаты исследований процессов влагопереноса в почве при капельном и внутрипочвенном орошении приведены в работах И. И. Азаревой, А. Д. Ахмедова, В. В. Бородычева, С. М. Васильева, Е. А. Ветренко, М. К. Гаджиева, Д. П. Гостищева, М. Г. Журбы, Д. О. Завадского, Д. Л. Обумахова, А. С. Овчинникова, А. М. Олейника, В. И. Торбовского, М. Ю. Храброва, В. Н. Шкуры, Б. Б. Шумакова, О. Е. Ясониди и др.

Целью исследования является анализ математических моделей процесса влагопереноса в почве при капельном и внутрипочвенном орошении и распределения влаги в почве с образованием контуров увлажнения.

Материалы и методы. Использовались распространенные математические модели влагопереноса в системах капельного и внутрипочвенного орошения в форме дифференциальных уравнений.

Результаты и обсуждение. Теоретические модели влагопереноса представляют собой различные зависимости, основанные на законах движения жидкости в капиллярно-пористых телах [6]. Для каждого способа орошения требуются различные подходы к математическому моделированию влагопереноса в почве. С помощью математических моделей влагопереноса можно определить параметры контура увлажнения, установить зависимости процесса увлажнения почвы от напора, продолжительности полива, конструктивных особенностей увлажнителей, расстояния между ними. В процессе полива вокруг увлажнителей образуется зона, в которой влажность соответствует полному насыщению почвы. От этой зоны вода перемещается главным образом за счет капиллярного передвижения, образуя контуры увлажнения [7].

Формирование контуров увлажнения в процессе влагопереноса в почве зависит от влагопроводности почвы и интенсивности водоподачи, также зависит от геометрии увлажнителей, их положения в пространстве и режимов водоподачи.

Существует несколько теорий перемещения влаги в почве. При рассмотрении влагопереноса при внутрипочвенном орошении делают ряд допущений. Считается, что во влаге отсутствуют растворенные соли, процесс движения влаги является изотермическим, скелет грунта недеформируем, давление почвенного воздуха равно атмосферному, почвенная влага несжимаема, влагоперенос происходит под действием капиллярных, гравитационных сил и всасывающей силы корней растений, грунт однородно-анизотропный. Уравнение, описывающее процесс влагопереноса, имеет вид [8]:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial W}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial W}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial W}{\partial z} \right) \pm \frac{\partial K}{\partial z},$$

где W – объемная влажность почвы, %;

t – время, с;

$D_x(W)$, $D_y(W)$, $D_z(W)$ – коэффициенты диффузии почвенной влаги в направлении осей x , y , z соответственно.

Это уравнение зависит от коэффициента диффузии и позволяет описывать процесс влагопереноса в зоне полного насыщения, не учитывая дальнейшего перемещения влаги в почве. Для более полного описания распределения влаги в почве необходимо учитывать конструктивные особенности увлажнителей внутрипочвенного орошения, распределение расходов и напоров по элементам внутрипочвенного орошения, коэффициенты влагопроводности почвы и др.

При капельном орошении рассмотрим математическую модель влагопереноса С. Н. Новосельского, которая описывается следующим дифференциальным уравнением [5]:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) + I_u - I_k,$$

где x , y , z – координатные оси;

k_x , k_y , k_z – коэффициенты влагопроводности вдоль осей x , y , z ;

H – напор, м;

I_u , I_k – интенсивность источников влагопоступления и влагоотбора корнями растения.

Функция I_u определяется геометрией увлажнителей, их положением в пространстве и режимом водоподачи. Если источники пористые и проницаемые, а сферы исчезающего малого радиуса, то:

$$I_u = \sum_{i=1}^{N_i} Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i),$$

где N_i – число точечных источников;

$Q_i(t)$ – расход i -го источника, л/с;

δ – дельта функция Дирака;

x_i , y_i , z_i – координаты i -го источника, м.

Вид зависимости интенсивности источников влагопоступления и влагоотбора корнями растения должен устанавливаться по экспериментальным данным:

$$I_k = I_k(W, x, y, z, t).$$

При создании модели были приняты следующие допущения:

- движение воды в системе капельного орошения установившееся;
- расход воды в каждой капельнице при соблюдении допустимого уровня перепадов рабочих напоров одинаковый, зависящий от конструкции капельных водовыпусков.

Данная математическая модель влагопереноса определяет зависимость образо-

вания контуров увлажнения от коэффициента влагопроводности, напора в оросительной сети, интенсивности подачи воды увлажнителями и впитывания влаги корнями растений, важности почвы.

Вывод. Процессы влагопереноса при капельном и внутрипочвенном орошении схожи, но и имеют различия в формировании контуров увлажнения. Из рассмотренных математических моделей более эффективна модель влагопереноса при капельном орошении, так как она наиболее точно описывает параметры распределения влаги в почве. Математическая модель влагопереноса при внутрипочвенном орошении позволяет описывать процесс влагопереноса только в зоне полного насыщения, не учитывая дальнейшего перемещения влаги в почве.

Список использованных источников

1 Васильев, С. М. Расчет диаметра контура капельного увлажнения по поверхностному его значению / С. М. Васильев, А. А. Куприянов // Мелиорация и водное хозяйство. Пути повышения эффективности и экологической безопасности мелиораций земель Юга России: материалы науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения), 7–24 нояб. 2017 г. / Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Донского ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2017. – Вып. 15, ч. 1. – 331 с.

2 Васильев, С. М. Технические средства капельного орошения: учеб. пособие / С. М. Васильев, Т. В. Коржова, В. Н. Шкура. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2017. – 200 с.

3 Гостищев, Д. П. Математическое моделирование влагопереноса при внутрипочвенном орошении / Д. П. Гостищев, Ю. С. Рогозина. – М.: ЦБНТИ Минводстроя, 1990. – 52 с. – (Мелиорация и водное хозяйство: обзор. информ.).

4 Ветренко, Е. А. Моделирование влагопереноса в ненасыщенных почвогрунтах при внутрипочвенном орошении яблоневого сада / Е. А. Ветренко // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 4(36). – С. 219–222.

5 Мелихова, Е. В. Математическое моделирование процессов влагопереноса при капельном и внутрипочвенном орошении / Е. В. Мелихова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2016. – № 1(41). – С. 228–234.

6 Ахмедов, А. Д. Аналитический подход к определению некоторых водно-физических характеристик почвогрунтов / А. Д. Ахмедов // Роль мелиорации и водного хозяйства в реализации национальных проектов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2008.

7 Изучение внутрипочвенного орошения природными сточными водами и животноводческими стоками: метод. рекомендации / подгот. Д. П. Гостищевым [и др.]; ВАСХНИЛ, Отд-ние гидротехники и мелиорации. – М.: ВАСХНИЛ, 1988. – 134 с.

8 Ветренко, Е. А. Обоснование выбора математической модели влагопереноса в ненасыщенных почвогрунтах / Е. А. Ветренко // Дальневосточный аграрный вестник. – 2014. – № 4(32). – С. 21–24.

УДК 626.823.6

М. В. Вайнберг, А. А. Чураев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

СОСТОЯНИЕ ПУНКТОВ ВОДОУЧЕТА НА ГОСУДАРСТВЕННЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ

Целью исследования являлся анализ текущего состояния пунктов водоучета, а также средств водоучета и водоизмерения, применяемых на мелиоративных системах государственных эксплуатационных организаций Минсельхоза России, в соответ-