

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕЛИОРАЦИИ

УДК 631.43

ЭКСПРЕСС МЕТОД РАСЧЕТА ПРОФИЛЕЙ УВЛАЖНЕНИЯ ПРИ ДОЖДЕВАНИИ И КАПЕЛЬНОМ ОРОШЕНИИ

В.В. Алексеев

Чебоксарский кооперативный институт (филиал) АНОО ВО Центросоюза РФ
«Российский университет кооперации», г. Чебоксары, Россия

Почвы Чувашской Республики обладают невысоким природным плодородием, поэтому необходимо внешнее регулирование водного режима почв. Зависящая от гранулометрического состава, структуры почвы и степени увлажнения функция влагопроводности описывает способность почв удерживать и проводить почвенную влагу. Поэтому при использовании современных приемов мелиорации для обеспечения наилучших мелиоративных режимов актуально экспрессное получение функции влагопроводности для послойного расчета динамики влажности в почве. В настоящее время разработано большое число моделей функций водоудерживающей и водопроводящей способности почв, однако часто за используемым в них массивом статистических расчетов перестает проследиваться физическая обоснованность. Оценка площадей поверхностей контакта почвенной влаги с почвенным воздухом и твердой фазой почвы на основе экспериментов по протеканию воздуха через почву и универсализированной модели порового пространства позволяет определять ее энергетическое состояние и получать функцию влагопроводности с основной гидрофизической характеристикой почв (ОГХ).

Перемещение влаги в почве определяется градиентом потенциала почвенной влаги $\psi = E/m$ (отношением энергии к массе воды) или эквивалентным давлением $p = \rho\psi$ (ρ – плотность воды). Значение потенциала складывается из взаимодействия влаги с твердой фазой почвы ψ' и почвенным газом ψ'' :

$$\psi = \psi' + \psi'' = \frac{k\Omega_0}{\rho} \cdot \left(\frac{1}{w^3} - \frac{1}{\Pi_0^3} \right) + \frac{\sigma_{lg}\Omega_0}{\rho} \left(1 - \frac{w}{1 - \Pi_0 + w} \right) \cdot \left(1 - \frac{w}{\Pi_0} \right)^\alpha, \quad (1)$$

где: ρ – плотность воды, кг/м³; Ω_0 – объемная удельная поверхность, м²/м³; $k = 2 \cdot 10^{-18}$ – коэффициент, кг/с²; w – объемная влажность, м³/м³; Π_0 – пористость сухого образца, м³/м³; σ_{lg} – удельная свободная поверхностная энергия на границе раздела вода – воздух, Дж/м²; α – безразмерный параметр, определяемый геометрией модели почвы.

Коэффициент влагопроводности определяется выражением:

$$K = \frac{\rho g R}{\Omega_0} \cdot \frac{\eta_1}{\eta_2} \cdot \frac{\Pi_0^{1/2} w (2\Pi_0 - w)}{(1 - \Pi_0)}, \quad (2)$$

где: η_1/η_2 – отношение вязкости воздуха к вязкости воды; g – ускорение свободного падения, м/с²; R – радиус цилиндрической камеры с почвой, м.

В формуле (2) введено отношение вязкости воздуха к вязкости воды для замены воздуха водой. Однако, кроме того, необходимо учесть, что прочно связанная вода практически не участвует в переносе влаги, поэтому сделаем замену: в формуле (2) следует сдвинуть нулевое значение влажности на величину w^* - соответствующую максимальной адсорбционной влагоёмкости. Величина w^* может быть определена численно из совместного решения (1) с предложенным А.Д. Ворониным уравнением $rF = 5,2 + 3w$.

Примеры построения функции влагопроводности по зависимости (2) с учетом неподвижности прочносвязанной влаги w^* (сплошная линия) и без учета (пунктирная линия) представлены на рисунке 1.

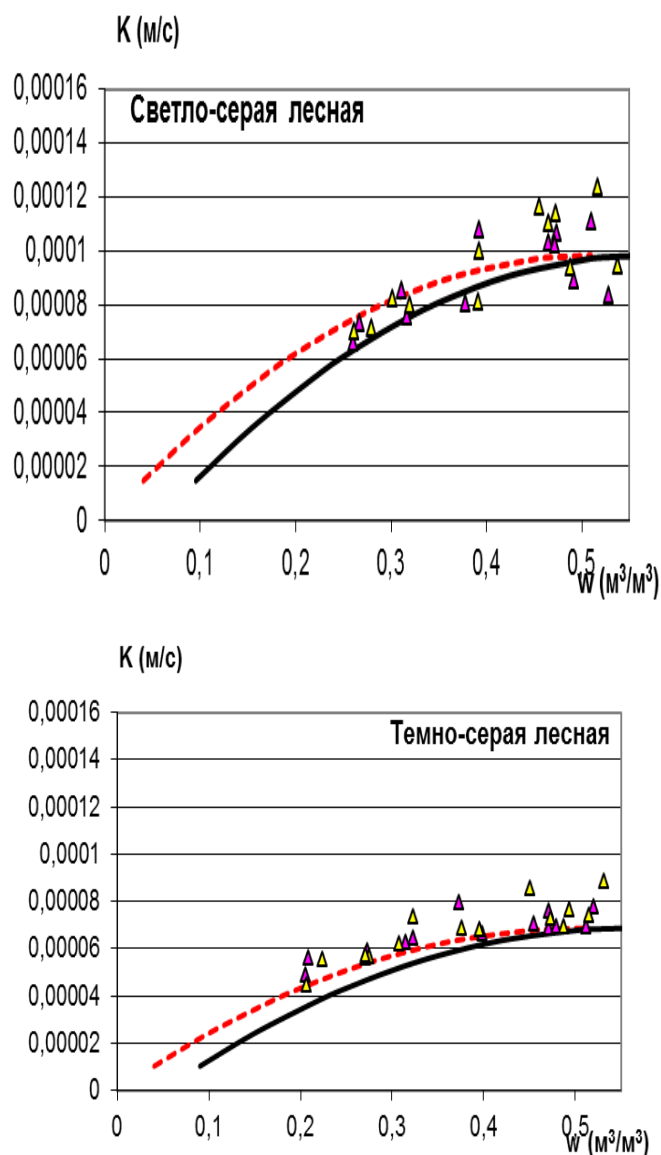


Рисунок 1 – Зависимости $K(w)$ и экспериментальные данные

Совместное использование (1) и (2) позволяет рассчитывать профили увлажнения при дождевании и капельном орошении.

Для учета: 1) осмотического давления необходимо использование формулы Вант-Гоффа; 2) всасывания воды корнями необходимо включение в формулу значение всасывающего давления, соответствующего интересующему растению; 3)

разности температур необходимо использование теплового баланса и зависимости вязкости от температуры. Планирование и проведение лабораторных экспериментов позволяет при моделировании сделать следующие приближения: концентрация солей пренебрежимо мала, твердая фаза почвы не деформируется и не смывается, температуры воды в почве и поливной воды равны, всасывание воды корнями растений и испарение малы.

Задача определения профиля увлажнения при дождевании является одномерной, поэтому рассчитывался послойный (50 слоев) перенос влаги с толщиной слоя $\Delta h=5$ мм. При вычислении разности потенциалов почвенной влаги в слоях добавлялся гравитационный потенциал $g\Delta h$.

Реализация программного средства расчета профиля увлажнения осуществляется заданием объема влаги, поступающей в верхний слой за единицу времени, массивов значений пористости, удельной поверхности, начальной влажности для каждого слоя по которым вычислялись коэффициенты влагопроводности и давления почвенной влаги. По формуле Дарси рассчитывались объемы влаги, перетекавшей из слоя в слой за время равное 1 минуте. Произведено 100 циклов перерасчета, что по времени примерно соответствует прохождению по участку дождевальной машины.

В экспериментах использовался стандартный мерный цилиндр ($h=390$ мм, $d=90$ мм), заполненный почвой с измеренными влажностью, пористостью и удельной поверхностью, к верхнему торцу которого, через сосуд Мариотта и насадку поступала вода. Для определения максимальной интенсивности впитывания, вместо объема влаги поступающей в верхний слой за единицу времени, был задан постоянный нулевой потенциал ψ .

Задача определения контуров увлажнения при капельном орошении трехмерная, она была сведена к двумерной задаче как цилиндрически симметричная с расположенной на оси капельницей.

Реализация программного средства расчета контуров увлажнения осуществлена заданием объема влаги, поступающей в точку (цилиндр высотой 5 мм и диаметром 5 мм) верхнего слоя за единицу времени. Гравитационный потенциал $g\Delta h$ при вычислении разности потенциалов почвенной влаги добавлялся при расчете переноса из слоя в слой и не добавлялся при расчете переноса внутри слоя, где почва разбивалась на систему радиально расходящихся колец. Вертикальный и горизонтальный перенос влаги рассчитывался одновременно с помощью решения двух уравнений Дарси и условия, при котором давление почвенной влаги в получающем воду объеме по модулю не выше давления в теряющем воду объеме почвы.

В экспериментах использовался водонепроницаемый ящик ($300\times 250\times 250$ мм) также заполненный почвой с измеренными влажностью, пористостью и удельной поверхностью, в середине верхнего торца которого располагалась капельница.

Визуализация расчетов для капельного орошения (объемы воды 0,5 л, 1 л, 2 л) светло серой лесной почвы ($\Omega_0=46,2$ м²/г, $P_0=0,53$) со значениями начальных влажностей $w=0,32$ и $w=0,15$ близкими к влажностям спелости и завядания растений представлены на рисунке 2.

Выводы

Теоретически обосновано и составлено программное средство, позволяющее установить закономерности формирования контуров увлажнения почвы с разными объемами водоподачи для различных начальных влажностей, а также проследить

динамику изменения параметров контуров при увлажнении. Приведен пример расчета контуров увлажнения при капельном орошении светло-серой лесной почвы.

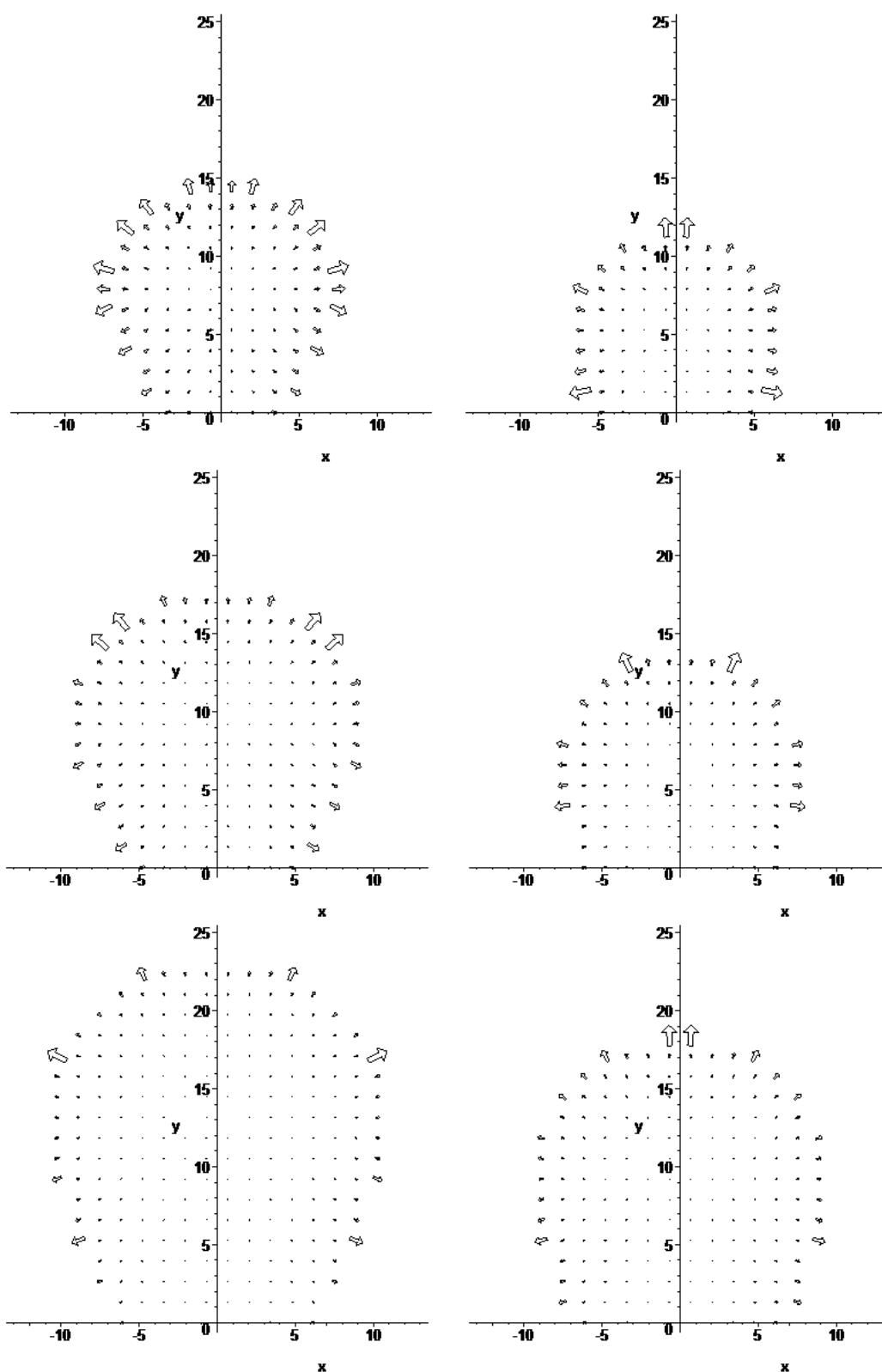


Рисунок 2 – Градиенты разности потенциалов влаги: объем воды (сверху вниз) 0,5 л, 1 л, 2 л; начальные влажности $w=0,32$ слева, $w=0,15$ справа