

Reference

1. Vlasenko, M.V. Produktivnost' i floristicheskoe raznoobrazie pastbishh Sarpinskoj nizmennosti pod vlijaniem fitomelioracii [Tekst] : avtoref... k. s.-h. nauk/ M.V. Vlasenko. – Volgograd: VNIALMI, 2014. – 22 p.
2. Vlasenko, M.V. Metodicheskaja osnova issledovaniya vlijaniya jedafiche-skogo faktora na biocenoticheskie processy v iskusstvennyh kormovyh cenoazah [Tekst]/ M.V. Vlasenko, S.Ju. Turko. – Puti povysheniya jeffektivnosti oroshaemogo zemledelija. – Vyp. 1(57). – Novocherkassk: RosNIIPM, 2015. – P. 104-110.
3. Vasil'ev, Ju.I. Modelirovanie produkcionnoj sostavljajushhej ozimoj psheicy s ucheto kolebanij vlazhnostno-termicheskogo rezhima [Tekst] / Ju.I. Vasil'ev, A.N. Sarychev, T.V. Voloshenkova. – Vestnik RASHN, 2014. - №6. – P. 9-11.
4. Kulik, N.F. Vodnyj rezhim lesnyh biogeocenozov: uchebnoe posobie [Tekst] / N.F. Kulik. – Novocherkassk: NGMA, 1999. – 58 p.
5. Lir, H. Fiziologija drevesnyh rastenij [Tekst]/ H. Lir, G. Pol'ster, G.-I. Fidler.- M.: Lesnaja promyshlennost', 1974. – 421 p.
6. Lipkovich, Je.I. Modelirovanie sverhkrupnyh agrosistem [Tekst]/ Je.I. Lipkovich. – M.: Jekonomika sel'skogo hozjajstva Rossii. – 2008. – №5. – P. 23-30.
7. Manaenkov, A.S. Metodika i normativy ocenki lesoprigochnosti zemel' pod massivnoe obleenie v pojase neustojchivogo uvlazhnenija ETR [Tekst]/ A.S. Manaenkov. – M.: Rossel'hozakkademiya, 2001. – 35 p.
8. Mihajlenko, I.M. Matematicheskoe modelirovanie rosta rastenij na osnove jeksperimental'nyh dannyh [Tekst]/ I.M. Mihajlenko // Sel'skohozjajstvennaja biologija. – 2007. – №1. – P. 103-111.
9. Mihajlenko, I.M. Novye napravlenija modelirovaniya v sel'skoho-zjajstvennoj biologii. Biologicheskaja kibernetika [Tekst]: monografija /I.M. Mihajlenko. – Germanija: LAP LAMBERT, 2012. – 120 p.
10. Turko, S.Ju. Vosstanovlenie degradirovannyh pastbishh na legkih pochvah s ispol'zovaniem vysokoproduktivnyh fitomeliorantov [Tekst]/ S.Ju. Turko, A.K. Kulik, M.V. Vlasenko // Vestnik RASHN. – 2014. – №5. – P. 58-61.
11. Turko, S.Ju. Osobennosti rosta i razvitiya kormovyh trav na legkih pochvah Volgogradskoj oblasti [Tekst]/ S.Ju. Turko, V.P. Voronina // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie, 2014. – №2(34). – P. 79-83.
12. Frans, Dzh. Matematicheskie modeli v sel'skom hozjajstve [Tekst] : per.s angl. A.S. Kamenskogo / Dzh. Frans, Dzh. H.M. Tornli; pod red. F.I. Eroshenko. Predisl. F.I. Eroshenko i A.S. Kamenskogo. – M.: Agropromizdat, 1987. – 400 p.

E-mail: turkosvetlana73@mail.ru

УДК 631.6

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЛАГОПЕРЕНОСА
ПРИ КАПЕЛЬНОМ И ВНУТРИПОЧВЕННОМ ОРОШЕНИИMATHEMATICAL DESIGN OF P MOISTURE TRANSFER ROCESSSES
AT DRIP AND SUBSURFACE IRRIGATION

Е.В. Мелихова, кандидат технических наук

E.V. Melikhova

Волгоградский государственный аграрный университет

Volgograd state agrarian university

В статье рассмотрены основные подходы моделирования влагопереноса при различных способах орошения. Проанализированы известные модели влагопереноса в пористо-капиллярной среде при действии стационарных и нестационарных массовых сил с учетом возникающих нелинейных эффектов, которые можно применить для внутрипочвенного орошения. В данной модели параметрами являются уровень грунтовых вод, коэффициент водоотдачи; диаметры капилляров, относительный объем капилляров, скорость фильтрации, суммарный приток и отток, уровень воды в капиллярах, скорость капиллярного подъема в капиллярах определенного диаметром, высота капиллярного подъема и др. Предложено решение матема-

тической модели влагопереноса Новосельского С.Н. в частых производных для капельного орошения. Проведенный анализ рассмотренных математических моделей показал, что каждый из способов полива требует применения различных подходов к математическому моделированию, отображающих отдельные стороны этого сложного процесса влагопереноса. Для рассмотренных способов полива применяются различные подходы к математическому моделированию, отражающие физические особенности процесса влагопереноса при капельном орошении. Агрегирование описанных моделей может повысить точность математического описания процессов влагопереноса в целом, что позволит уточнить инженерную методику расчета поливных и оросительных норм с целью сбережения природных ресурсов, включая энергозатраты.

The basic approaches of moisture transfer design at the different ways of irrigation are considered in the article. The well-known models of moisture transfer in a porously-capillary environment at the action of stationary and non-stationary mass forces taking into account nascent nonlinear effects that can be applied for subsoil irrigation are analyzed here. In this model the parameters are a water-table level, coefficient of water return; diameters of capillaries, relative volume of capillaries, speed of filtration, total inflow and outflow, water level in capillaries, capillary climbing ability in capillaries of the certain diameter, height of the capillary getting up, etc. Solution of S.N. Novoselskiy's mathematical model of moistures transfer in frequent derivatives for drip irrigation is offered. The carried out analysis of the considered mathematical models showed that each of the watering methods requires application of the different approaches to a mathematical design, representing separate parties of this difficult process of moisture transfer. For the considered watering methods we use different approaches to mathematical design, reflecting the physical features of moisture transfer process at drip irrigation. Aggregating of the described models can promote exactness of mathematical description of moisture transfer processes on the whole, that will allow specify the engineering methodology of watering and irrigation norms calculation with the purpose of natural resources economy including energy consumptions.

Ключевые слова: моделирование влагопереноса, математическая модель, капельное, внутривпочвенное орошение.

Key words: moisture transfer design, mathematical model, drip, subsurface irrigation.

Введение. Среди различных видов орошения, капельное характеризуется экономичностью расхода поливной воды, простотой инженерной оснащённости и эксплуатации [13, 14, 1-5, 7]. Однако, моделирование и оптимизация оросительных норм требует совершенствования методических подходов к математическому описанию взаимосвязанных физических процессов. Проблема математического моделирования процесса влагопереноса при различных способах орошения обусловлена необходимостью учета таких факторов, как неоднородность физических характеристик почв, сложность самих процессов влагопереноса, пространственного характера распространения влаги [8-12].

Материалы и методы. Известны различные подходы построения математических моделей влагопереноса поливной воды при орошении.

В исследованиях [5] разработана математическая модель эволюции содержания влаги в пористо-капиллярной среде при действии стационарных и нестационарных массовых сил с учетом возникающих нелинейных эффектов и программно-алгоритмическое обеспечение расчетов по этой модели:

$$\begin{cases} (\mu_0 - \sum_{i=1}^n \mu_i) \frac{\partial H}{\partial t} = \nabla \left(\int_{H_d}^H K_\phi(z) dz \cdot \nabla H \right) + \xi - \sum_{i=1}^n \mu_i f_i - \int_{H_d}^0 \frac{h_0 - h}{\tau_p} S dz, \\ \frac{\partial H}{\partial t} = f_i, i = \overline{1, n}, \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(h\bar{V}) = \frac{h_0 - h}{\tau_p}, \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + (\bar{V} \nabla, \bar{V}) + a \nabla h = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где H – уровень грунтовых вод, м; μ_0 – коэффициент водоотдачи; d_i – диаметры капилляров, м; μ_i – относительный объем капилляров диаметром d_i ; $K_\phi(z)$ – скорость фильтрации в зависимости от уровня z , м/с; ξ – суммарный приток и отток, м/с; H_i – уровень воды в капиллярах диаметром d_i , м; $f_i = V_{ki}(H_{ki} + H - H_i)/(H_i - H)$; V_{ki} – скорость капиллярного подъема в капиллярах диаметром d_i , м/с; H_{ki} – высота капиллярного подъема в капиллярах диаметром d_i , м; $(h_0 - h)/\tau_p$ – влагообмен между пленочной и капиллярной влагой; h_0 – толщина равновесной пленки, м; τ_p – скорость (характерное время) влагообмена, с.

Расчеты водоотдачи и переноса влаги в почве для низких значений влажности для почв с диаметром пор 1,3 мк в максимуме спектра с использованием (1) проведены с учетом экспериментальных данных [11]. Результаты моделирования процессов изменения влажности для условий низкой водопроницаемости грунтов с коэффициентами фильтрации $K_f = 0,2$ м/сут [10, 11].

Полученные в численных экспериментах результаты показывают, что граница нелинейности фильтрации, связанная с процессами влагопереноса по поверхностным пленкам, определяется коэффициентами фильтрации $K_f \leq 0,3$ м/сут [1, 2, 11].

При внутрипочвенном орошении применима математическая модель, предложенная авторами [13, 14]. Модель рассмотрена на примере задачи, по прогнозной оценке, высоты фильтрации воды на вертикальной стенке квадратной дамбы грунтов при профильном двухмерном влагопереносе, при допущении наличия лишь фильтрации воды со стороны верхнего бьефа, т.е. при отсутствии влагопереноса в ненасыщенных грунтах выше уровня грунтовых подземных вод.

Результаты. В качестве исходного уравнения модели принимались выражения:

$$\frac{\partial W_p(p_{BC})}{\partial t} = \gamma_p \frac{\partial W_p(p_{BC})}{\partial p_{BC}} \cdot \frac{\partial \Phi_p}{\partial t} = \frac{\partial [K_p(p_{BC}) \frac{\partial \Phi_p}{\partial z}]}{\partial z} + \frac{\partial [K_p(p_{BC}) \frac{\partial \Phi_p}{\partial x}]}{\partial x} + J(z, x, t), \quad (2)$$

$$\vartheta_p = -K(p_{BC}) \text{grad} \Phi_p, \quad \gamma_p = \rho_p q = \text{const}, \quad (3)$$

$$\Phi_p(z, x, t) = \frac{p_{BC}(z, x, t)}{\gamma_p} + z, \quad (4)$$

$$\text{при } \frac{\partial [K_p(p_{BC}) \frac{\partial \Phi_p}{\partial y}]}{\partial y} = 0, \quad 0 \leq t \leq \infty, \quad -l \leq z \leq 0, \quad 0 \leq x \leq a \cdot l$$

где Φ_p – напорная специальная гидрофизическая функция, м; p_{BC} – всасывающее поровое избыточное давление влаги (подземной воды), которое при влагопереносе меньше, а при фильтрации – больше нуля, кПа; t, z, x, y – соответственно временная и пространственные прямоугольные координаты по правилу левой руки (вертикальная – вверх), м; $W_p(p_{BC}), K_p(p_{BC})$ – параметры влагопереноса – соответственно функциональные зависимости объемного влагосодержания и коэффициента влагопереноса, нелинейные при $p_{BC} \leq 0$, доли, м/сут; ϑ_p – конвективная скорость влаги, м/сут; ρ_p – плотность влаги (воды), кг/м³; g – ускорение силы тяжести, м/с²; γ_p – объемный (удельный) вес влаги, кг/м²·с²; $J(z, x, t)$ – интенсивность внутригрунтового влагообмена, в частности отбора корнями растений, 1/сут; p – индекс в правом нижнем углу указывает на поровую влагу, точнее, водный жидкий раствор.

Решение исходного уравнения (2) может осуществляться при начальных условиях, определяемых функцией $\Phi_p(z, x, 0)$ при $t = 0$, а также при специфических граничных условиях [4].

На горизонтальной дневной поверхности в виде Φ_p (I рода), расхода (II рода), функции Φ_p и расхода (III рода) определяются из уравнений:

$$\frac{\partial \Phi_p(0, x, t)}{\partial t} - \vartheta_p(0, x, t) - \sum_j q_j(0, x, t) + q_{\text{исп}}(0, x, t) = 0 \quad (5)$$

где q – скорость поступления жидкой воды на поверхность земли за счет осадков, поливов, поверхностного стока и иных водопоступлений, м/сут; $q_{\text{исп}}$ – физическое испарение или конденсация влаги, м/сут; $\Phi(0, x, t)$ – гидрофизическая функция на поверхности земли (координата $z = 0$), м.

Обсуждение. Особый интерес представляют собой зависимости (4) [5]. В частности, физическое испарение или конденсация влаги можно записать как:

$$q_{\text{исп}}(0, x, t) = -\frac{\beta}{\gamma_p} [p_{\text{возд}} - (p_{\text{вс}} + P_{\text{хем}})] \quad (6)$$

$$p_{\text{возд}}(t) = \rho_{\text{ж}} \frac{RT(t)}{M_{\text{H}_2\text{O}}} \ln[\varphi(t)], \quad (7)$$

где p – некоторый эмпирический коэффициент, учитывающий состояние воды, м/сут; $P_{\text{возд}}$ – давление, эквивалентное сосущей силе влаги в атмосферном воздухе, кПа; R – газовая постоянная, Дж/моль-К; T – температура, К; $M_{\text{H}_2\text{O}}$ – молярная масса воды, 0,018 кг/моль; φ – относительная влажность воздуха, доли; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность воды в подземном водном растворе, кг/м³; $p_{\text{хем}}$ – так называемое хемоосмотическое давление, эквивалентное воздействию на воду растворенных веществ, кПа.

Указанные уравнения предложены А.Б. Ситниковым, М. М. Зильбербрандтом, которые экспериментальным путем определяли эмпирический коэффициент, используя специальное устройство [1]. Коэффициент β можно вычислить по результатам экспериментов, основанных на законе Дальтона. Мы предлагаем определить $p_{\text{хем}}$ по закону Вант-Гоффа. В пределах боковой поверхности, где непосредственно происходит фильтрация воды в насыщенных грунтах, должно задаваться нулевое давление, т. е. функция $\Phi_p = z$. Выше упомянутой высоты принимается расход вследствие испарения (конденсации) на поверхности грунта $q_{\text{исп}}$, или равный нулю в случае непроницаемой границы,

$$\text{когда } \frac{\partial \Phi_p}{\partial x} = 0.$$

При капельном орошении нами рассматривается математическая модель влагопереноса Новосельского С.Н., которая описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) + I_u - I_k, \quad (8)$$

где k_x, k_y, k_z – коэффициенты влагопроводности вдоль осей x, y, z ; I_u, I_k – интенсивность источников влагопоступления и влагоотбора корнями растения [6].

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

$$I_u = \sum_{i=1}^{N_i} Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i), \quad (9)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты i -го источника, м; $Q_i(t)$ – расход i -го источника; δ – дельта функция Дирака; N_i – число точечных источников.

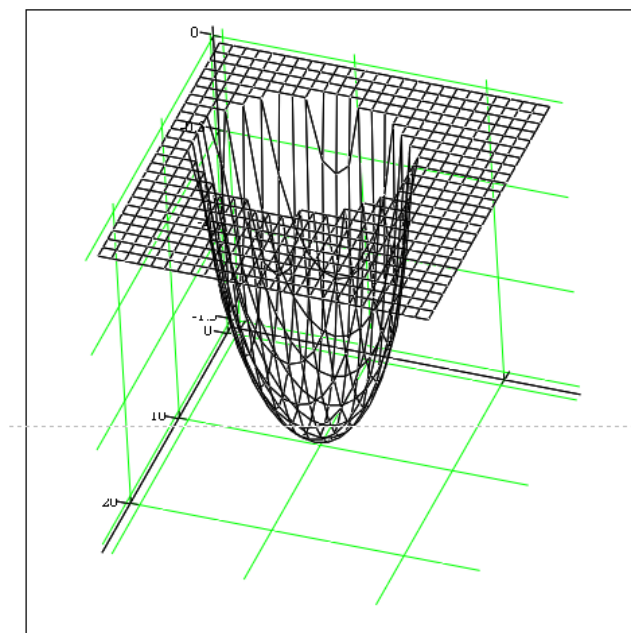
Микропористые горизонтальные увлажнители в рассматриваемом случае можно моделировать отрезком прямой.

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

$$I_k = I_k(W, x, y, z, t). \quad (10)$$

Аналитический вид зависимости также может быть получен на основе математической модели транспирации [1]. Используя подстановку Кирхгофа, С.Н. Новосельский предложил аналитическое решение уравнения (5) методом интегральных комплексных преобразований Фурье.

Решение уравнения (5) представлено на рисунке 1.



М, М2

Рисунок 1 – Визуализация расчета контура увлажнения при капельном орошении

Заключение. Таким образом, проведенный анализ показал, что для рассмотренных способов полива применяются различные подходы к математическому моделированию, отражающие физические особенности процесса влагопереноса при капельном орошении. Агрегирование описанных выше моделей может повысить точность математического описания процессов влагопереноса в целом, что позволит уточнить инженерную методику расчета поливных и оросительных норм с целью сбережения природных ресурсов, включая энергозатраты.

Библиографический список

1. А. С. 1497540 СССР. Испаритель-конденсометр для определения параметров фазового перехода и паропереноса в воздухе [Текст]/ Ситников А.Б., Зильбербрандт М.М. – Оpubл. 30.07.89, Бюл. № 28. – 5 с.
2. Бородычев, В.В. Алгоритм решения задач управления водным режимом почвы при орошении сельскохозяйственных культур [Текст] /В.В. Бородычев, М.Н. Лытов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 8-11.
3. Кирейчева, Л.В. Модели и информационные технологии управления водопользованием на мелиоративных системах, обеспечивающие благоприятный мелиоративный режим [Текст]/ Л.В. Кирейчева, И.Ф. Юрченко, В.М. Яшин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5-6. – С. 50-55.
4. Кружилин, И.П. Сочетание орошения дождеванием с агро-мелиоративными приемами обеспечивает сохранение и повышение плодородия почвы [Текст]/ И.П. Кружилин, Н.В. Кузнецова, О.В. Козинская // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – № 57-1. – С. 84-89.
5. Математическое моделирование процессов фильтрации влаги в тяжелых грунтах [Электронный ресурс]/ Н.М. Кащенко, В.С. Малаховский, В.И. Семёнов, В.А. Гриценко. – Режим доступа: <http://journals.kantiana.ru/upload/iblock/492/>
6. Мелихова, Е.В. Математическое моделирование и оптимизация режима орошения корнеплодов на светло-каштановых почвах Волгоградской области [Текст]/ Е.В. Мелихова // Известия Нижневолжского агропромышленного университетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 1. – С. 114-126.

7. Ольгаренко, В.И. Показатели качества планирования водопользования на оросительных системах [Текст]/ В.И. Ольгаренко, И.В. Ольгаренко // Актуальные вопросы гидротехники и мелиорации на Юге России сборник научных трудов / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; ФГБОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия». – Новочеркасск, 2013. – С. 162-168.
8. Рогачев, А.Ф. Математическое моделирование и эффективность внедрения технологических инноваций [Текст]/ А.Ф. Рогачев, Н.Н. Скитер // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2009. – № 4. – С. 109-113.
9. Рогачев, А.Ф. Параметризация эконометрических зависимостей методом наименьших модулей [Электронный ресурс] // Управление экономическими системами: электронный научный журнал, 2011. – № 3 (27). – № гос. рег. статьи 0421100034/. – Режим доступа: <http://www.uecs.mcnip.ru/>
10. Романова, Л.Г. Сравнительный анализ расчетных формул для функции влагопроводности на основе данных капилляриметра [Текст]/ Л.Г. Романова, А.С. Фалькович // Научная жизнь. – 2012. – № 1. – С. 86.
11. Ситников, А.Б. Рекомендуемая методика математического моделирования нелинейного влагопереноса в ненасыщенно-насыщенных грунтах [Текст]/ А.Б. Ситников // Геологический журнал. – № 2. – 2009. – С. 77-85.
12. Щедрин, В.Н. Состояние и перспективы развития мелиорации земель на юге России [Текст]/ В.Н. Щедрин Г.Т., Балакай // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 3 (15). – С. 1-15.
13. Ovchinnikov A.S. Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse / Ovchinnikov A.S., Bocharnikov V.S., Meshcheryakov M.P. // Environmental Engineering. 2012. № 4. С. 29.
14. Rogachev A. Economic and Mathematical Modeling of Food Security Level in View of Import Substitution // Asian Social Science. Vol. 11, No. 20, 2015. P. 178-185.

Reference

1. A. S. 1497540 SSSR. Isparitел'-kondensometr dlja opredelenija parametrov fazovogo perehoda i paroperenosa v vozduhe [Текст]/ Sitnikov A. B., Zil'berbrandt M. M. - Opubl.30.07.89, Bul. № 28.-5 p.
2. Borodychjov, V.V. Algoritm reshenija zadach upravlenija vodnym rezhimom pochvy pri oroshenii sel'skhozajstvennyh kul'tur [Текст]/Borodychjov V.V., Lytov M.N. // Melioracija i vodnoe hozjajstvo. 2015. № 1. P. 8-11.
3. Kirejcheva, L.V. Modeli i informacionnye tehnologii upravlenija vodopol'zovaniem na meliorativnyh sistemah, obespechivajushhie blagoprijatnyj meliorativnyj rezhim [Текст]/ Kirejcheva L.V., Jurchenko I.F., Jashin V.M. // Melioracija i vodnoe hozjajstvo. 2014. № 5-6. P. 50-55.
4. Kruzhilin, I.P. Sochetanie oroshenija dozhddevaniem s agromeliorativnymi priemami obespechivaet sohranenie i povyszenie plodorodija pochvy / Kruzhilin I.P., Kuznecova N.V., Kozinskaja O.V. // Puti povyshenija jeffektivnosti oroshaemogo zemledelija. 2015. № 57-1. P. 84-89.
5. Matematicheskoe modelirovanie processov fil'tracii vlagi v tjazhelyh gruntah [Elektronnyj resurs]/ N.M. Kashhenko, V.S. Malahovskij, V.I. Semjonov, V.A. Gricenko. – Rezhim dostupa: <http://journals.kantiana.ru/upload/iblock/492/>
6. Melihova, E.V. Matematicheskoe modelirovanie i optimizacija rezhima oroshenija korneplodov na svetlo-kashtanovyh pochvah Volgogradskoj oblasti [Текст]/ E. V. Melihova // Izvestija Nizhnevolzhskogo agropromyshlennogo universitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – 2009. – №1. – P. 114-126.
7. Ol'garenko V.I. Pokazateli kachestva planirovanija vodo-pol'zovanija na orositel'nyh sistemah [Текст]/ V.I. Ol'garenko, I.V. Ol'garenko // Aktual'nye voprosy gidrotehniki i melioracii na Juge Rossii sbornik nauchnyh trudov. Ministerstvo sel'skogo hozjajstva Rossijskoj Federacii; FGBOU VPO «Novocherkasskaja gosudarstvennaja meliorativnaja akademija». – Novocherkassk, 2013. – P. 162-168.

8. Rogachev, A.F. Matematicheskoe modelirovanie i jeffektivnost' vnedrenija tehnologicheskikh innovacij [Tekst]/ A.F. Rogachev, N.N. Skiter // Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. – 2009. – № 4. – P. 109-113.
9. Rogachev, A.F. Parametrizacija jekonometricheskikh zavisimostej metodom naimen'shikh modulej [Tekst]/ A.F. Rogachev // Upravlenie jekonomicheskimi sistemami: jelektronnyj nauchnyj zhurnal, 2011. - № 3 (27). - № gos. reg. stat'i 0421100034/. - Rezhim dostupa: <http://www.uecs.mcnp.ru/>
10. Romanova, L.G. Sravnitel'nyj analiz raschetnyh formul dlja funkcii vlagoprovodnosti na osnove dannyh kapilljarimetra [Tekst]/ L.G. Romanova, A.S. Fal'kovich // Nauchnaja zhizn'. – 2012. – № 1. – P. 86.
11. Sitnik A.B. Rekomenduemaja metodika matematicheskogo modelirovanija nelinejnogo vlagoperenosa v nenasyshhenno-nasyshhennyh gruntah [Tekst]/ A.B. Sitnikov // Geologicheskij zhurnal. – № 2. – 2009. – P. 77-85.
12. Shhedrin V.N. Sostojanie i perspektivy razvitija me-lioracii zemel' na juge Rossii [Tekst]/ Shhedrin V.N., Balakaj G.T. // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. – 2014. – № 3 (15). – P. 1-15.
13. Ovchinnikov, A.S. Methodology of calculation and justification of the wetting parameters in the open field and greenhouse [Tekst]/ A.S. Ovchinnikov, V.S. Bocharnikov, M.P. Meshcheryakov // Environmental Engineering. – 2012. – № 4. – P. 29.
14. Rogachev, A. Economic and Mathematical Modeling of Food Security Level in View of Import Substitution [Tekst]/ A.F. Rogachev // Asian Social Science. – Vol. 11. – No. 20. – 2015. – P. 178-185.

E-mail: mel-v07@mail.ru

УДК 631.234

ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ МАЛОЗЕМЕЛЬНЫХ ХОЗЯЙСТВ GREENHOUSES FOR SMALLHOLDER FARMS

В.И. Пындак¹, доктор технических наук, профессор

А.Е. Новиков^{2,3}, кандидат технических наук

О.В. Амчеславский¹, кандидат технических наук

V.I. Pyndak, O.V. Amcheslavskiy, A.E. Novikov

¹ Волгоградский государственный аграрный университет

² Всероссийский НИИ орошаемого земледелия

³ Волгоградский государственный технический университет

¹Volgograd state agrarian university

²All-Russia scientific-research institute of irrigated agriculture

³Volgograd state technical university

При импортозамещении возникает потребность в повышении урожайности ряда сельскохозяйственных культур, в частности овощных, для чего целесообразно использовать оригинальные и энергоэффективные теплицы, предназначенные в основном для малоземельных хозяйств. В одном из разработанных нами вариантов конструкций теплиц предусмотрена ориентация светопрозрачных панелей по «тёплым» сторонам, а на северной стороне имеется входной тамбур и вспомогательное оборудование. Внутри теплицы предусмотрены системы орошения, обогрева, вентиляции и т.п. В другом варианте теплица выполнена в виде четырёхугольной пирамиды, вершины основания которой ориентированы по сторонам света. Эффективность использования пирамид зависит от соотношения их размеров. Предложена также комбинированная теплица, включающая двухскатное строение, на крыше которого смонтирована надстройка в виде четырёхугольной пирамиды. Показано понятие «пирамиды золотого сечения». Лабораторно-полевые опыты по выращиванию томатов внутри четырёхугольных пирамид в условиях