

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПИРАЦИИ И ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА В ПОЧВЕ

Хайриддинов Акмал Батирович кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Каршинский государственный университет, кафедры Агрохимия и экология.

Аннотацию. В работе представлены результаты исследования моделированию физиологических процессов в растениях в основном транспирации и переноса в почву. Обеспечивающейся оптимальную температуру листа, регулируемой поступление воды и минеральных элементов в корневую часть растений, возникновение избыточного давления, которое может привести к разрушению клеток растений в процесс функционирования гелиотеплицы.

Ключевые слова. Моделирование, физиологические, транспирации, теплопроводность, испарение, сопряжения.

Abstract. The paper presents the results of a study on the modeling of physiological processes in plants, mainly transpiration and transfer to the soil. Providing optimal leaf temperature, regulating the flow of water and mineral elements into the root part of plants, the occurrence of excess pressure, which can lead to the destruction of plant cells in the process of functioning of the solar greenhouse.

Keywords. Modeling, physiological, transpiration, thermal conductivity, evaporation, conjugation.

В рассмотрено моделирование процессов в одном из элементов гелиотеплицы - парогазовой среде. Данная работа посвящена моделированию физиологических процессов в растениях, в основном транспирации, и переноса в почву[1].

Транспирация, во-первых, обеспечивает оптимальную температуру листа, во-вторых, регулирует поступление воды и минеральных элементов в корневую часть растений, в-третьих, предотвращает возникновение избыточного давления, которое может привести к разрушению клеток

растений. Транспирация также тесно ее исследование в условиях теплицы может дать существенную информацию о растениях.

При моделировании листа растений рассматриваются как случайно расположенные в заданном объеме горизонтальные пластины. Считается, что их биофизические и физиологические свойства одинаковы, площадь и масса не изменяются в течение исследуемого периода, толщина намного меньше длины.

С учетом данных допущений интенсивность транспирации с поверхности листьев [2] $j = \rho \frac{C_L - C}{r_s}$ (1)

Устьичное сопротивление в зависимости от солнечной радиации и водного потенциала листа согласно [3] $r_s = r_{s0} \left(1 + \frac{\gamma}{I} \right) \left(\frac{\psi_m - \psi_L}{\psi_m - \psi_L} \right)$ (2)

где r_{s0} - характерный для конкретного растения параметр, определяющий сопротивление полностью раскрытых устьиц; ψ_m - критический водный потенциал, при котором устьица полностью закрываются; ξ - безразмерный параметр, характеризующий реакцию устьиц на изменение водного потенциала листа. В ночное время, когда $I = 0$,

$$r_s = \frac{\psi_m - \xi \psi_L}{\psi_m - \psi_L} \quad (3)$$

Явная зависимость r_s от температуры учитывается через водный потенциал листа, связанный с относительной влажностью φ окружающей среды [2],

$$\psi_L = \rho R_{II} T_L \ln \varphi \quad (4)$$

Выразим относительную влажность воздуха через концентрацию пара и температуру $\varphi = P_{II} / P_{нас}$ (5)

Здесь $P_{II} = \frac{P \cdot d}{0,622 + d}$ - парциальное давление пара; $P_{нас} = 10^{10,004 - \frac{1625}{T-48}}$ -

давление насыщенных паров; $d = \frac{C}{1-C}$ - влагосодержание. Таким образом,

количество влаги, испарившейся с поверхности одного листа, определяется

по (1) - (5). Если в растении N листьев, то общее количество испарившегося пара

$$j_{\Sigma} = \sum_N j \quad (6)$$

Если предположить, что это количество влаги равно количеству воды, поступающей в растение через корневую систему, то можно считать, что на глубине l в почве имеется сток воды мощностью j_{Σ} .

$$\aleph I = q_k + rj \quad (7)$$

где q_k - конвективный перенос тепла с поверхности листа в окружающую среду,

$$q_k = \frac{2\rho c_p (T_L - T)}{r_{an}} \quad (8)$$

r_{an} - диффузионное сопротивление теплообмена пограничного слоя листа. Результаты экспериментов показывают, что r_{an} хорошо аппроксимируется

$$\text{полуэмпирической формулой [2] } r_{an} = a_n \left(\frac{b_L}{u} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

(a_n - эмпирическая постоянная; b_L -- характерная длина листа). Поэтому

$$\aleph I = \frac{2\rho c_p (T_L - T)}{a_n} \left(\frac{u}{b_L} \right)^{\frac{1}{2}} + rj. \quad (10)$$

Из (2) и (10) видно, что с увеличением интенсивности падающей радиации устьичное сопротивление уменьшается, следовательно, интенсифицируется транспирация, за счет чего температура листа будет в пределах температуры окружающей среды. В случае, когда $I = 0$ и $T_L < T$ испарения нет, при $T_L > T$ r_s опять уменьшается, что ведет к снижению T_L .

В процессе функционирования гелиотеплицы почва может быть насыщенной влагой (вплоть до образования свободной поверхности воды), влажной и сухой. Если почва влажная, то процессы переноса в ней описываются уравнениями теплопроводности и диффузии [4], в сухом состоянии - только уравнением теплопроводности. Практически для теплиц важны результаты исследования процессов переноса в насыщенной влагой почве. Это обусловлено интенсивным испарением с поверхности почвы, а

также переносом тепла циркулирующей жидкостью в глубь почвы. В таком состоянии уравнения сохранения основываются на модели Дарси, модифицированной Бринкманом. Учитывая ламинарность режима течения жидкость в почве, модель принимает вид [5]

$$\rho \frac{\partial u_D}{\partial \tau} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{\text{эф}} \frac{\partial u_D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{\text{эф}} \frac{\partial u_D}{\partial y} \right) - \left(\frac{\mu_{\text{жс}}}{K^*} + \frac{\rho C^*}{\sqrt{K^*}} |u_D| \right) u_D \quad (11)$$

$$\rho \frac{\partial v_D}{\partial \tau} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_{\text{эф}} \frac{\partial v_D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_{\text{эф}} \frac{\partial v_D}{\partial y} \right) + \quad (12)$$

$$\rho g (\beta_T \Delta T + \beta_c \Delta c) - \left(\frac{\mu_{\text{жс}}}{K^*} + \frac{\rho C^*}{\sqrt{K^*}} |u_D| \right) v_D$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} + u_D \frac{\partial T}{\partial x} + v_D \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{\rho c_p} \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{\text{эф}} \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{\text{эф}} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right) \quad (13)$$

$$\frac{\partial c'}{\partial \tau} + u_D \frac{\partial c'}{\partial x} + v_D \frac{\partial c'}{\partial y} = D_B \left(\frac{\partial^2 c'}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c'}{\partial y^2} \right); \quad (14)$$

$$\frac{\partial u_D}{\partial x} + \frac{\partial v_D}{\partial y} = 0, \quad (15)$$

где

$$K^* = \frac{d_B^2 (\varepsilon^*)^3}{175(1 - \varepsilon^*)^2}; \quad (16)$$

$$C^* = \frac{1,75(\varepsilon^*)^{\frac{3}{2}}}{\sqrt{175}}; \quad (17)$$

$$\mu_{\text{эф}} = \mu_{\text{жс}}; \quad (18)$$

$$\lambda_{\text{эф}} + \varepsilon^* \left(\frac{\lambda_B - \lambda_f}{\lambda_f^{1/3}} \right) \lambda_{\text{эф}}^{\frac{1}{3}} - \lambda_B = 0. \quad (19)$$

Таким образом, получена система уравнений, описывающая физические процессы в отдельных элементах гелиотеплицы. Связывая эти модели между собой условиями сопряжения, получаем математическую модель всей системы.

Начальные условия. Считается, что в начальный момент времени вся система находится в равновесном состоянии, поэтому по всему объему

$$v = u = 0, T = T_{\text{нач}}, C = C_{\text{нач}}. \quad (20)$$

Граничные условия. На рисунке схематично изображен один блок многоблочной гелиотеплицы. На твердых границах AE, BC, CD для скоростей выполняются условия прилипания [1]

$$u = v = 0 \quad (21) \quad \text{Здесь же } K = \varepsilon = 0 \quad (22)$$

Температура поверхности BC и CD определяется по тепловому балансу $\lambda \frac{\partial T}{\partial n} + R + rj_k = \alpha_f \Delta T$, (23)

где коэффициент теплообмена между стеклом и внешней средой

$$\alpha_f = 0,86 \frac{\lambda}{\Pi} \text{Re}^{\frac{1}{2}} \text{Pr}^{\frac{1}{3}}. \quad (24)$$

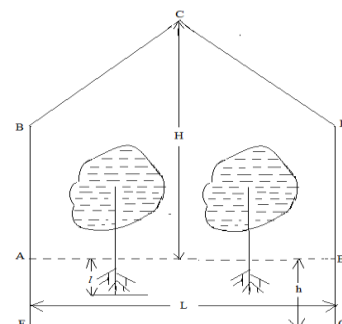
На этих поверхностях для концентрации пара выполняются условия

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0, \text{ если } C < C_{\text{нас}}; \quad (25) \quad C = C_{\text{нас}}, \text{ если } C \geq C_{\text{нас}}; \quad (26)$$

$$C_{\text{нас}} = \frac{18P_{\text{нас}}}{29P_{\text{атм}} - 11P_{\text{нас}}}. \quad (27)$$

На поверхностях AB и DE выполняются условия симметричности или периодичности для всех исследуемых переменных ($\Phi = u, v, T, c', K, \varepsilon$):

$$\frac{\partial \Phi(1, y)}{\partial x} = \frac{\partial \Phi(L, y)}{\partial x}, \quad (28) \quad \Phi(1, y) = \Phi(L, y) \quad (29)$$



На глубине h в почве отсутствуют потоки тепла веществ, поэтому на FG

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial c'}{\partial y} = 0. \quad (30)$$

Условия сопряжения. На границе грунт воздух температуры и тепловые потоки непрерывны

$$T_B = T_2, \quad \lambda \frac{\partial T_B}{\partial y} = \lambda_{\text{эф}} \frac{\partial T_2}{\partial y}. \quad (31)$$

Условия для материального баланса могут быть различные. В случае полива
ПОЧВЫ

$$c' = 1 \text{ для почвы, } (32) \quad C = C_{\text{нас}} \text{ для паровоздушной среды. } (33)$$

$$\text{В других случаях выполняется условие } j_{\Pi} = j_B; \quad (34)$$

т.е. с поверхности почвы удаляется столько влаги, сколько испаряется в
окружающую среду

$$\frac{D\rho}{1-C} \left(\frac{\partial C}{\partial y} \right)_{zp} = \rho_B D_B \left(\frac{\partial c'}{\partial y} \right)_{zp}. \quad (35)$$

Для поверхности листа в (5) из[1] добавляется источниковый член, связанный с транспирацией. Мощность источника определяется уравнением (1).

Условные обозначения, принятые в статье:

K^*, ε^* – проницаемость и пористость среды; C^* – коэффициент инерции; c' – влагосодержание грунта; C_L – концентрация паров на поверхности листьев; r – теплота парообразования; γ – фактор, учитывающий чувствительность устьиц к радиации; I – плотность потока падающей солнечной радиации; R_{II} – газовая постоянная для водяного пара; T – температура; T_L – температура поверхности листьев; $\mu_{ж}$ – коэффициент вязкости воды; ρ – плотность; u_D, v_D – скорости движения воды в почве; β_T^*, β_C^* – коэффициенты температурного и концентрационного расширения воды; λ, D – коэффициенты теплопроводности и диффузии; R – количество поглощенной стеклом радиации; Re, Pr – числа Рейнольдса и Прандтля; $P_{атм}$ – атмосферное давление.

Литература

1. Мезилов К.А. Хайридинов Б. Э., Чугуевец Т. П., Эргашев А.А. Гелиотеплица как сложная система.1. Математическое моделирование конвективного теплообмена в замкнутом объеме гелиотеплицы // Гелиотехника. 1991. №6. С.
2. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю. К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке влаги.- Л.: Гидрометеиздат, 1980. С. 223.

3. Росс Ю.К. Математическое моделирование производственного процесса и урожая: Сб. Программирование урожаев сельхозкультур.- М.: Колос, 1995. С. 415-426.

4. Хартли, Блэк Теплопередача. 1989. Т: 103. № 2. С. 229-238.