

12-7-2019

MATHEMATICAL MODELING OF CONVECTIVE HEAT AND MASS TRANSFER IN A CLOSED VOLUME FOR THE EFFECTIVE USE OF SOLAR AND GEOTHERMAL ENERGY IN GREENHOUSES

B E. Khayriddinov
Karshi State University of Uzbekistan

G G. Halimov
Karshi State University of Uzbekistan

A B. Khayriddinov
Karshi State University of Uzbekistan

D Zh Nurmatova
Karshi State University of Uzbekistan

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

Recommended Citation

Khayriddinov, B E.; Halimov, G G.; Khayriddinov, A B.; and Nurmatova, D Zh (2019) "MATHEMATICAL MODELING OF CONVECTIVE HEAT AND MASS TRANSFER IN A CLOSED VOLUME FOR THE EFFECTIVE USE OF SOLAR AND GEOTHERMAL ENERGY IN GREENHOUSES," *Scientific-technical journal*: Vol. 2 : Iss. 4 , Article 14.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol2/iss4/14>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES**MATHEMATICAL MODELING OF CONVECTIVE HEAT AND MASS TRANSFER IN A CLOSED VOLUME FOR THE EFFECTIVE USE OF SOLAR AND GEOTHERMAL ENERGY IN GREENHOUSES****B.E. Khayriddinov, G.G. Halimov, A.B. Khayriddinov, D.Zh. Nurmatova**

Karshi State University of Uzbekistan

МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛО - И МАССООБМЕНА В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ И ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛИЦАХ**Б.Э. Хайриддинов, Г.Г. Халимов, А.Б. Хайриддинов, Д.Ж. Нурматова**

Каршинский государственный университет

ТЕПЛИЦАЛАРДА ҚУЁШ ВА ГЕОТЕРМАЛ ЭНЕРГИЯЛАРДАН ЭФФЕКТИВ ФЙДАЛАНИШ УЧУН ЁПИҚ ХАЖМДА КОНВЕКТИВ ИССИҚЛИК - МАССА АЛМАШИНУВИНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛЛАШ**Б.Э. Хайриддинов, Г.Г. Халимов, А.Б. Хайриддинов, Д.Ж. Нурматова**

Қарши давлат университети Ўзбекистон

***Abstract.** The paper presents the results of mathematical modeling of the processes of hydrodynamic and convective heat and mass transfer in the medium of helio and geothermal on heated greenhouses.*

Key words: physical and biological systems, temperature gradient, natural convection, coefficient of turbulent viscosity, equation of motion, kinetic energy, boundary layer, Reynolds number, solar radiation, moisture content, heat transfer.

***Аннотация.** В работе приведены результаты математического моделирования процессов гидродинамического и конвективного теплообмена в среде гелио-и геотермально отапливаемых теплиц.*

Ключевые слова: физические и биологические системы, градиент температуры, естественная конвекция, коэффициент турбулентной вязкости, уравнения движения, кинетическая энергия, пограничный слой, число Рейнольдса, солнечная радиация, влажность, теплообмен.

***Аннотация.** Ишда теплицани гелио ва геотермал иситиши муҳитида гидродинамик ва конвектив иссиқлик-масса алмашинув жараёнларини математик моделлаш натижалари келтирилган.*

Таянч сўзлар: физик ва биологик тизимлар, температура градиенти, табиий конвекция, турбулент ёпишқоқлик коэффициенти, ҳаракат тенгламаси, кинетик энергия, чегаравий қатлам, Рейнольдс сони, қуёш радиацияси, намлик, иссиқлик алмашинуви.

Известно, что в зимнее и весеннее время овощи выращиваются в специальных культивационных сооружениях – теплицах и парниках [1,2,7].

Выращивание овощей в гелиотеплицах, где нет внутреннего источника тепла, связано с определенными трудностями, вызванными периодическими в течение суток изменениями температуры и относительной влажности внутреннего воздуха. В связи с этим возникла необходимость разработки методов регулирования микроклимата в этих сооружениях, проведения теоретических и экспериментальных исследований в этом направлении.

Создание теоретических основ и методики расчета процесса конвективного теплообмена [1,2] в системах гелио- и геотермально отапливаемых теплиц дает

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

возможность более корректно, с меньшими материальными затратами решать задачу совершенствования действующих и разработки новых конструкций теплиц. Исходя из известных физических представлений о теплице, ее можно рассматривать как сложную систему [3,6,7] состоящую из трех взаимосвязанных элементов, характеристики которых зависят от параметров окружающей среды: парогазовой среды и биологического объекта (растения, почва).

Эти элементы могут исследоваться как самостоятельные физические, биологические или агрофизические системы, в каждой из которых, в свою очередь, происходит комплекс соответствующих процессов. Поэтому для определения характеристик элементов и взаимосвязей между ними необходимо рассматривать весь комплекс протекающих

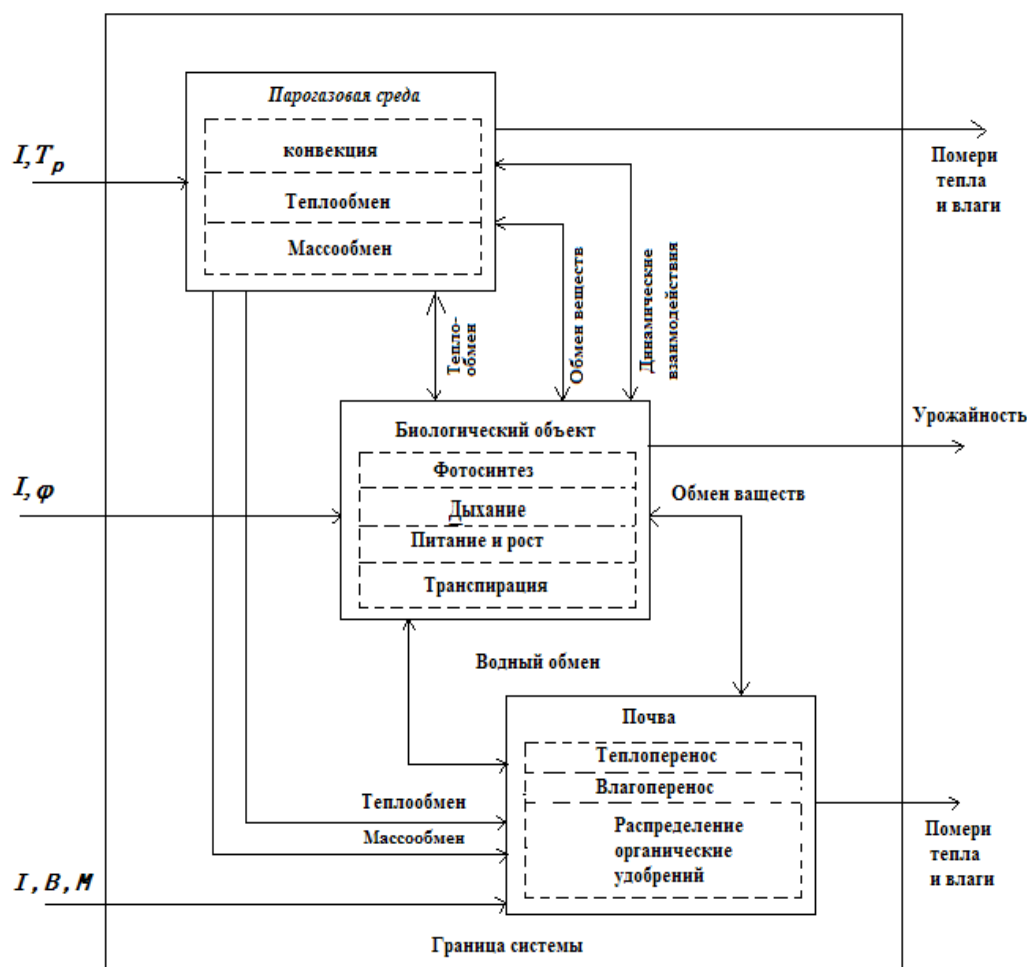


Рис.1. Общая структура системы. I – солнечная радиация; T_f – температура окружающей среды; φ – влажность; B – количество воды; M – минеральные и органические удобрения.

процессов.

При непрерывном круглосуточном тепловом воздействии одновременно сверху и снизу грунт может перегреваться, вследствие чего нарушаются тепловые режимы грунта и теплицы.

Поскольку теплицы предназначены для выращивания различных сельскохозяйственных культур, то, как видно из рис.1, их урожайность зависит от многих взаимосвязанных факторов, поэтому в данной работе задача решается с помощью системного анализа методом математического моделирования с использованием принципа разделения сложной системы на более простые структурные единицы. Так как между

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

элементами имеются динамическая, тепловая и материальная взаимосвязи, то в целом они составляют единую математическую модель системы.

При моделировании процесса функционирования гелио и геотермально отапливаемых теплиц строятся математические модели соответствующих процессов в каждом элементе, которые связываются между собой специальными условиями сопряжения. Исследование гелио- и геотермально отапливаемых теплиц с позиции системного анализа дает возможность не только оптимизировать ее характеристики с учетом всех воздействующих факторов и детально изучать динамику происходящих процессов, но также управлять ими и обеспечивать проектирование оптимальной системы.

Математическое моделирование конвективного тепло - массообмена в парогазовой среде в гелио – геотермально отапливаемой теплице, имеют свои физические особенности. При естественной конвекции в большом замкнутом объеме общее течение потока можно представить как совокупность пограничных слоев, развиваемых на стенках и зоне ядра, окруженной этими слоями. В пограничных слоях течение интенсивнее, а большую часть объема занимает зона ядра. Последние два фактора не позволяют определить течение в ядре непосредственно из пограничных условий. Это течение зависит от характеристик пограничных слоев, на которые, в свою очередь, также воздействует течение в ядре.

Выявление закономерностей взаимодействия между пограничным слоем и ядром – основная задача конвективного теплообмена в замкнутом объеме, которая усложняется при рассмотрении более, чем одного общего ядра расщепления его на ячейки и слои, более того, если они носят турбулентный характер.

До настоящего времени характеристики течения в ядре задавались исходя из аналогичных на вид задач, что в большинстве случаев приводило к некорректным решениям, поскольку естественная конвекция исключительно чувствительна к изменению геометрии, граничных условий и условий возникновения течения. Подобное допущение при моделировании гелиоустановок может ввести исследователя в заблуждение, так как климатические факторы меняются в небольших временных интервалах.

По этому в работе моделируются гидродинамические и теплообменные процессы в объеме гелио- и геотермально отапливаемых теплиц с учетом присутствия в ней растений. Ввиду больших геометрических размеров объекта течение в нем носит турбулентный характер, хотя градиенты температуры и концентрации небольшие. Растения являются турбулизаторами среды, поэтому при решении гидродинамических задач их учет необходим. При моделировании упомянутых процессов используется (k, ε) - модель турбулентности Нагано – Хисида [4], модифицированная нами для естественной конвекции в большом замкнутом объеме с учетом турбулизаторов. Согласно гипотезе Буссинеска [4] напряжение Рейнольдса, турбулентные, тепловые и диффузионные потоки выражаются через коэффициент турбулентной вязкости μ_t , турбулентные числа Прандтля σ_t и Шмидта σ_s .

Запишем в тензорном виде модифицированную (k, ε) – модель турбулентности с уравнениями движения, энергии и диффузии

$$\frac{D(\rho V_i)}{D\tau} = -\frac{\partial P_i}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] + \rho g_i (\beta_T \Delta T + \beta_c \Delta c); \quad (1)$$

$$\frac{D(\rho k)}{D\tau} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \overline{u'_i u'_j} \cdot \frac{\partial V_i}{\partial x_j} - \rho g_i \beta_T \overline{\theta u'_i} - \rho g_i \beta_c \overline{s u'_i} - \rho \varepsilon - 2\mu \left(\frac{\partial \sqrt{k}}{\partial x_j} \right)^2; \quad (2)$$

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

$$\begin{aligned} \frac{D(\rho\varepsilon)}{D\tau} = & \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - f_1 c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \overline{\rho u'_i u'_j} \cdot \frac{\partial V_i}{\partial x_j} - \\ & - c_{\varepsilon 2} \cdot f_2 \cdot \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - c_{\varepsilon 3} \rho \beta_T g_i \frac{\varepsilon}{k} \overline{\theta u'_i} - c_{\varepsilon 4} \cdot \rho \beta_c g_i \frac{\varepsilon}{k} \overline{s u'_i} + \\ & + \frac{\mu \mu_t}{\rho} (1 - f_\mu) \left(\frac{\partial^2 V_i}{\partial x_j^2} \right)^2; \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{D(\rho T)}{D\tau} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{\sigma_T} \frac{\partial T}{\partial x_j} - \rho \overline{\theta u'_j} \right); \quad (4)$$

$$\frac{D(\rho c)}{D\tau} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\mu}{\sigma_c} \frac{\partial c}{\partial x_j} - \rho \overline{s u'_j} \right); \quad (5)$$

$$\frac{\partial V_i}{\partial x_j} = 0 \quad (6)$$

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (7)$$

$$-\rho \overline{\theta u'_i} = \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (8)$$

$$-\rho \overline{s u'_i} = \frac{\mu_t}{\sigma_s} \frac{\partial c}{\partial x_i} \quad (9)$$

$$f_1 = 1 \quad (10)$$

$$f_2 = 1 - 0,3 \exp(-R_t^2) \quad (11)$$

$$R_t = \frac{k^2}{\nu \varepsilon}, \sigma_T = \rho \text{Pr}, \sigma_c = \rho \text{Sc}, \quad (12)$$

$$(c_{\varepsilon 1}, c_{\varepsilon 2}, c_\mu, \sigma_k, \sigma_\varepsilon, \sigma_t, \sigma_s) = (1.44, 1.92, 0.09, 1, 1.3, 0.86, 0.86) \quad (13)$$

Величины μ_t, k и ε связана соотношением Колмогорова – Прандтля

$$\mu_t = c_\mu \cdot f_\mu \cdot \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (14)$$

При моделировании турбулентной естественной конвекции в замкнутом объеме необходимо учесть эффекты малых чисел Рейнольдса и близости стенки [4]. Первый эффект связан с преобладающим действием молекулярной вязкости среды на механизм образования турбулентных пульсаций, следовательно, и на структуру потока в непосредственной близости от стенки. Известно, что в подслое, занимающем 20% толщины турбулентного пограничного слоя, генерируется около 80% всей энергии турбулентности [5]. Второй эффект обусловлен преимущественным демпфированием пульсаций скорости по нормам к стенке.

Оба эффекта учитываются в модели через турбулентную вязкость μ_t , поскольку генерация кинетической энергии турбулентных пульсаций и скорость диссипации этой энергии зависят от μ_t . Поэтому точность определения характеристик турбулентности

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

вблизи стенки зависит главным образом от корректности моделирования μ_t , следовательно, от оптимального выбора функции f_μ , модифицирующей соотношение Колмогорова – Прандтля. Эти факторы учтены в [4], где предложена следующая формула:

$$f_\mu = (1 - \exp[-R_\tau / 26,5])^2 \quad (15)$$

Влияние близости стенки учитывается через локальное число Рейнольдса

$$R_\tau = u^+ y / \nu, \quad (16)$$

где $u^+ = \sqrt{\tau_\omega} / \rho$. Расчеты показывают, что вычисление R_τ на поверхности листьев растений трудоемко и требует большого количества компьютерного времени, поэтому необходимо упростить расчеты. Известно, что вблизи стен $\tau_\omega \sim k$ [5]. Из этого вытекает, что локальные числа Рейнольдса R_τ и

$$R_k = \sqrt{k} y / \nu \quad (17)$$

имеют одинаковый порядок.

Таким образом, для более точных вычислений характеристик турбулентности вблизи поверхностей замкнутого объема аргументом f_μ является R_τ , вблизи поверхностей листьев аргумент заменяется на R_k . Такая замена оправдана с вычислительной точки зрения и не вносит ощутимых погрешностей в параметры турбулентности. Преимущество данной модели в определении характеристик турбулентности вплоть до границ объема, которые являются источниками турбулентных пульсаций, без использования традиционных пристеночных функций.

На границах замкнутого объема k и ε принимаются нулевыми. Поэтому резкое изменение параметров течения у этих поверхностей учитывается включением членов уничтожения в (2) и порождения в (3) (последние члены).

Разработанная в [4] модель использована для расчета пристеночной турбулентности при вынужденной конвекции. Поскольку авторами исследуется естественно- конвективный теплообмен, то требуется учесть эффекты архимедовых сил, тепло- и массообменных процессов в формировании характеристик турбулентности. Основная проблема заключается в определении коэффициентов $c_{\varepsilon 3}$ и $c_{\varepsilon 4}$ в (3). В литературе имеет место значительный разброс в определении этих коэффициентов, значение $c_{\varepsilon 4}$ отсутствует. Сравнивая второй, четвертый и пятый члены правой части (3), а также учитывая, что

$$L_t \sim \mu_t, \mu_t \sim \lambda_t, \mu_t \sim D_t \quad (18)$$

можно принять $c_{\varepsilon 3} = c_{\varepsilon 4} = c_{\varepsilon 1}$.

Таким образом, в формировании характеристик турбулентности градиенты температуры и концентрации имеют такое же значение, как и градиенты скоростей. Для остальных членов, включенных в уравнения турбулентности, используются рекомендованные в литературе значения.

Выводы

Проведен системный анализ методом математического моделирования с использованием принципа разделения сложной системы на более простые структурные единицы. Показано, что между элементами имеются динамическая, тепловая и материальная взаимосвязи. В целом они составляет единую математическую модель системы.

Отмечено, что в предлагаемой модели турбулентности учитывается молекулярная вязкость и ламинарные числа Прандтля и Шмидта. Это обеспечивают универсальность модели при исследовании течений в турбулентных, ламинарных и переходных режимах.

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

Полученные результаты дает возможность более корректно, с меньшими материальными затратами, решать задачу совершенствования действующих и разработки новых конструкций теплиц.

Условные обозначения:

V_i – средняя по времени скорость по оси X_i (тензорная формула); u_i – пульсационная скорость по оси X_i ; $c_\mu, c_{\varepsilon 1}, c_{\varepsilon 2}, c_{\varepsilon 3}$ – константы в модели турбулентности; f_μ, f_1, f_2 – функции в модели турбулентности; $k = \overline{u'_i u'_j} / 2$ – кинетическая энергия турбулентности; μ, μ_t – молекулярная и турбулентная вязкости; ρ – плотность; $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, \sigma_t, \sigma_s$ – турбулентные числа Прандтля для диффузии k, ε, T, c ; σ_T, σ_c – ламинарные числа Прандтля и Шмидта; τ – время; τ_ω – касательное напряжение на стенке; $\varepsilon = \nu \overline{\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}}$ – скорость диссипации энергии турбулентности; L_t – масштаб турбулентности; β_T, β_c – температурный и концентрационный коэффициенты объемного расширения; g – ускорение свободного падения; T – температура; c – концентрация паров воды в парогазовой смеси; θ, s – пульсационные составляющие температуры и концентрации; δ_{ij} – единичный тензор; λ_t, D_t – турбулентные коэффициенты теплопроводности и диффузии.

Литература

- [1]. Хайридиннов Б.Э., Халимов Г.Г., Номозов Ф.А. // Теплопередача подпочвенного аккумулятора тепла гелиобиоэнергетической отопленной системы птицеводческих ферм. Научно-технический журнал ФерПИ. 2018. Том 22. /№4.с. 107-112.
- [2]. Хайридиннов Б.Э., Халимов Г.Г., Эргашев Ш. Х., Эргашев Р.М. // Метод решения задачи тепло-массообменных процессов в гелиосушилке с подпочвенным и песчано – водяным аккумулятором тепла. Научно-технический журнал ФерПИ. 2015. Том 19. /№1.с. 58-62.
- [3]. Русин Г.Г. Физико – химические методы анализа в агрохимии./ М.: ВО «Агропромиздат». 1990. 296с.
- [4]. Нагано, Хисида. Усовершенствованная (k, ε) модель для пристеночных турбулентных сдвиговых течений. // Теоретические основы инженерных расчетов. 1988. №1. С. 252.
- [5]. Ши.Д. Численные методы в задачах теплообмена./ М.: «Мир» 1988. 523с.
- [6]. Арюпин В.В., Нестях В.С. Методология разработки энерго- и ресурсосберегающих тепличных комплексов для условий сибиря.// Вестник Крас ГАУ. 2010. №4. С. 104-115.
- [7]. Хайридиннов Б.Э., Холмирзаев Н.С., Халимов Г.Г., Рисбаев А.С., Эргашев Ш.Х. Муқобил энергия манбаларидан фойдаланиши./ Т.: “ADAD PLYUS” 2017й. – С.282-303.

Web сайтлар

- [1]. halimov50@mail.ru,