

12-10-2019

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

B. A. 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, B. A.; 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. 23 : Iss. 4 , Article 4.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol23/iss4/4>

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

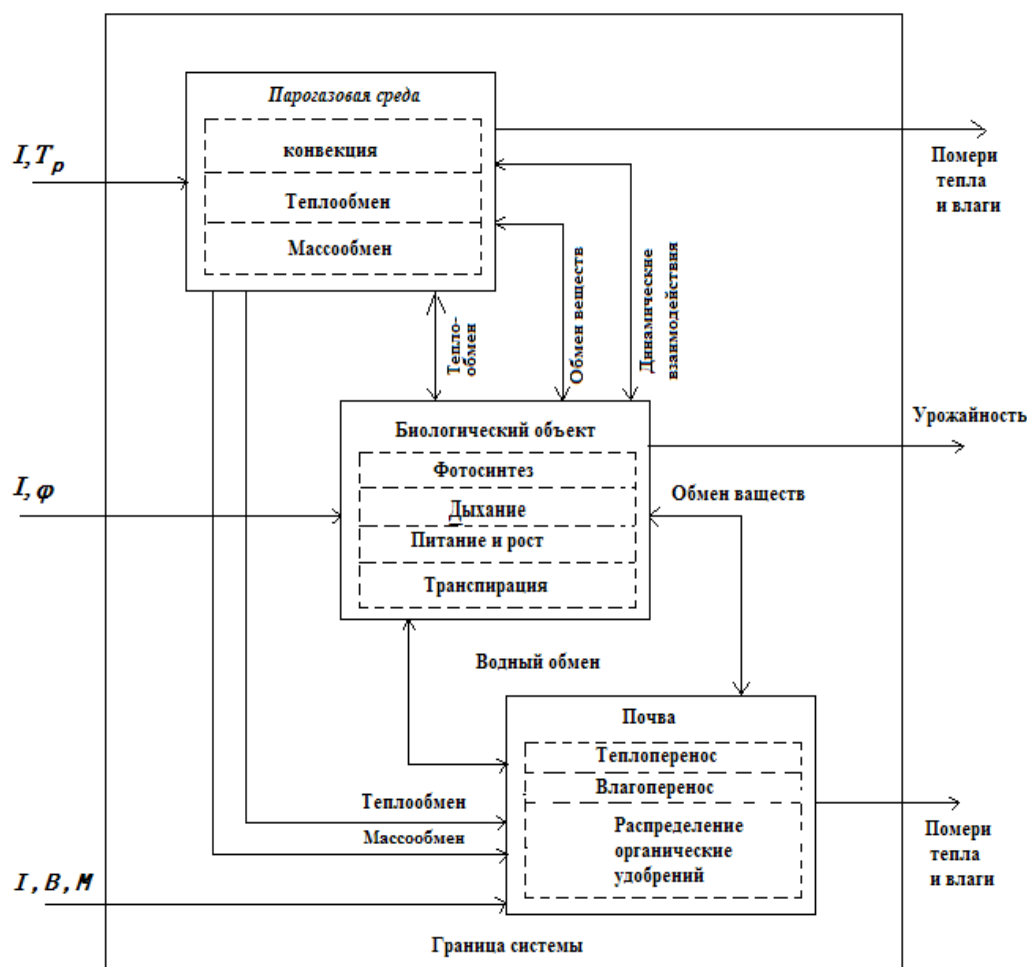


Рис.1. Общая структура системы. I – солнечная радиация; T_f – температура окружающей среды; φ – влажность; B – количество воды; M – минеральные и органические удобрения.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 предлагаемого 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; $\varepsilon = v \overline{\frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}}$ – 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.

References:

- [1]. Hayriddinov B.E., Xalimov G.G., Nomozov F.A. // Teploperedacha podpochvennogo akkumulyator tepla geliobioenergeticheskiy otoplennoy sistemi ptitsevodcheskix ferm. Nauchno-texnicheskij jurnal FerPI. 2018. Tom 22. /№4.s. 107-112.
- [2]. Hayriddinov B.E., Xalimov G.G., Ergashev SH. X., Ergashev R.M. // Metod resheniya zadachi teplo-massoobmennix protsessov v geliosushilke s podpochvennim i peschano – vodiyanym akkumuliyatorom tepla. Nauchno-texnicheskij jurnal FerPI. 2015. Tom 19. /№1.s. 58-62.
- [3]. Rusin G.G. Fiziko – ximicheskie metody analiza v agroximii./ M.: VO «Agropromizdat». 1990. 296s.
- [4]. Nagano, Xisida. Usovershenstvovannaya (k, ε) model' dlya pristenochnix turbulentnix sdvigovix techeniy. // Teoreticheskie osnovi inženernix raschetov. 1988. №1. S. 252.
- [5]. Ши.Д. Численные методы в задачах теплообмена./ М.: «Мир» 1988. 523с.
- [6]. Aryupin V.V., Nestyax V.S. Metodologiya razrabotki energo- i resursosberegayushix teplichnix kompleksov dlya usloviy sibirii.// Vestnik Kras GAU. 2010. №4. S. 104-115.
- [7]. Hayriddinov B.E., Xolmirzaev N.S., Xalimov G.G., Risbaev A.S., Ergashev SH.H. Muqobil energiya manbalaridan foydalanishi./ T.: “ADAD PLYUS” 2017y. – S.282-303.

Литература

- [1]. Хайриiddинов Б.Э., Халимов Г.Г., Номозов Ф.А. // Теплопередача подпочвенного аккумулятора тепла гелиобιοэнергетический отопленной системы птицеводческих ферм. Научно-технический журнал ФерПИ. 2018. Том 22. /№4.с. 107-112.
- [2]. Хайриiddинов 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 сибирии.// Вестник Крас ГАУ. 2010. №4. С. 104-115.
- [7]. Хайриiddинов Б.Э., Холмирзаев Н.С., Халимов Г.Г., Рисбаев А.С., Эргашев Ш.Х. Мукобил энергия манбаларидан фойдаланиши./ Т.: “ADAD PLYUS” 2017й. – С.282-303.

Web сайтлар

- [1]. halimov50@mail.ru,