

# ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ В ТЕПЛИЦЕ

## EFFECT OF VEGETATION COVER ON THE TEMPERATURE-WET SOIL MODE IN THE GREENHOUSE

Хайриддинов А.Б.

Каршинский государственный университет, кафедра Агрохимии и почвоведения  
128003, Республика Узбекистан, г. Карши  
[www.qarshidu.uz](http://www.qarshidu.uz)

Для повышения эффективности использования солнечной энергии в теплицах наряду с улучшением оптических и теплотехнических качеств светопрозрачных ограждений нужно стремиться к обеспечению необходимого температурного режима для нормального развития выращиваемых в них культур. Для решения этой задачи следует конкретизировать численные значения параметров рабочих сред: парогазовой среды, почвы и растения. В вопросе влияния растительного покрова на температурно-влажностный режим почвы в теплице одной из хорошо исследованных сред является паровоздушная смесь, которая часто используется в качестве рабочего тела во многих процессах и устройствах. В результате исследований разработана математическая модель конвективного теплообмена в замкнутом объеме теплицы. Разработана рабочая программа по методу Рунге-Кутты для исследования полученной модели. Установлено, что в определенное время, в основном в утренние часы, в теплице создаются неблагоприятные условия для протекания физиологических процессов у растений. Нарушение физико-биологических процессов может быть причиной различных болезней. Выявлено, что в дневное время в центре объема образуется стратифицированная зона, которая положительно влияет на функционирование теплицы. Показано, что источником генерации турбулентных пульсаций являются наклонные холодные стенки. Здесь же происходит значительная потеря тепла. Разработанная модель и программа позволяют параметрически оптимизировать теплицу, найти пути оптимального управления и регулирования ее микроклимата. Впервые оценено влияние растений на температурно-влажностный режим теплицы в целом. Показано, что в их присутствии температуры воздуха и почвы снижаются на несколько градусов.

**Ключевые слова:** теплица, растения, урожайность, микроклимат, фактор, температура почвы, воздух, томат, фаза роста, развития растений, овощные культуры.

**Для цитирования:** Хайриддинов А.Б. ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ В ТЕПЛИЦЕ. Аграрная наука. 2019; (5): 41–45.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-325-5-41-45>

### Введение

Для повышения эффективности использования солнечной энергии в теплицах наряду с улучшением оптических и теплотехнических качеств светопрозрачных ограждений нужно стремиться к обеспечению необходимого температурного режима для нормального развития выращиваемых в них культур. Этому в значительной степени способствует разработка методов расчета в реальных условиях влияния растительного покрова на температурный режим, которые формируются под влиянием переменных во времени наружных метеорологических факторов, и на этой основе оптимизация их конструктивных и теплотехнических параметров [1].

В вопросе влияния растительного покрова на температурно-влажностный режим почвы в теплице одной из

Khayriddinov A.B.

Karshi State University, Department of Agro-chemistry and soil science  
[www.qarshidu.uz](http://www.qarshidu.uz)  
128003, Republic of Uzbekistan, c. Karshi

To improve the efficiency of solar energy use in greenhouses in the farm, along with the improvement of optical and thermal properties of translucent fences should strive to ensure the necessary temperature regime for the normal development of cultivated vegetation in them. In order to elaborate parameters of steam-gas environment, the soil of the plant should concretize the numerical value of the parameters of the working environments of the gas, soil and plants. To the question of the effect of vegetation cover on the temperature-humid soil mode in the greenhouse of one of the well-researched means is a steam-air mixture, which is often used as a working body in many processes and devices.

**Key words:** greenhouse, plant, microclimate, soil, factor, soil temperature, air, tomato, growth phase, plant development, vegetable culture.

**For citation:** Khayriddinov A.B. EFFECT OF VEGETATION COVER ON THE TEMPERATURE-WET SOIL MODE IN THE GREENHOUSE. Agrarian science. 2019; (5): 41–45. (In Russ.)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-325-5-41-45>

хорошо исследованных сред является паровоздушная смесь, которая часто используется в качестве рабочего тела во многих процессах и устройствах. Поэтому необходимая информация о теплофизических свойствах этой смеси была взята из ряда работ [2, 3].

При исследовании процессов переноса в почве эффективные коэффициенты вязкости и теплопроводности определяются соответственно по формулам. Коэффициент инерции и проницаемость находятся через пористость почвы и диаметр частиц, составляющих почву. При этом пористость  $\varepsilon = 0,3-0,8$ , а диаметр частиц  $d_p = 0,01-0,1$  мм. Плотность почвы  $\rho_{почва} = 1280$  кг/м<sup>3</sup>. Все эти параметры получены из работы [4].

Как было показано ранее, физико-биологические и физиологические свойства конкретных растений явля-

ются малоизученными, отсутствуют функции, характеризующие реакцию растений на воздействие различных факторов внешней среды и т.д. В связи с этим в данной работе используются обобщенные эмпирические зависимости и величины, относящиеся к различным видам растений. По утверждению других авторов, например [5, 6], эти зависимости и величины для различных растений отличаются незначительно.

### Методы исследований

Известно, что в процессе терморегуляции основную роль играют параметры устьичного аппарата растения. Поэтому особый интерес представляет определение численных значений величин. Эти величины авторами [5, 6] получены на основе обработки экспериментальных данных. Поскольку в литературе отсутствует другая информация, то в настоящей работе используются ниже представленные данные:

$$\gamma = 14 \text{ Вт/м}^2; r_{so} = 150 \text{ м/с}; \Psi_m = -15 \cdot 10^5 \text{ Па}; \\ \xi = -0,3-0,8; v_L = 0,05-0,1 \text{ м}; a_H = 90 \text{ с/м}; \alpha = 0,3-0,5.$$

Растения сильно влияют не только на температурно-влажностный режим гелиотеплицы, но и на гидродинамические процессы, происходящие в объекте и т.д. Согласно данным авторов [7], многие растения (томат, огурец и т.д.) являются культурами с сильно выраженной горизонтальностью листьев. С другой стороны, в растениях, где все листья горизонтальны, функция пропускания прямой радиации не зависит от высоты солнца [6].

У таких растений коэффициент пропускания прямой солнечной радиации отражается, а большая ее часть поглощается растениями. В среднем интегральное поглощение солнечной радиации зелеными фитоэлементами составляет [7, 8].

В процессе функционирования гелиотеплицы температура внутри нее в зависимости от времени суток колеблется в широком диапазоне. Вместе с тем для некоторых сельскохозяйственных культур имеются допустимые значения агротехнического максимума и минимума температуры окружающей среды. В работах [9, 10] приведены технологические нормативы температуры воздуха для таких культур, как огурец и томат. Под агротехническим максимумом понимается наивысшая температура, допускаемая не более 5 ч подряд, а агротехническим минимумом — наименьшая температура, допускаемая не более 1 суток. В работе [8] представлены подобные значения для огурца и томата во время плодоношения. Исходя из этих данных, в расчетах предполагается, что процесс транспирации начинается после достижения температуры среды 20 °С. До этой температуры количество испарившейся влаги незначительно или вовсе отсутствует.

Таким образом, уточнена и обобщена необходимая информация для исследования полученной математической модели. Необходимо отметить, что для более глубокого изучения многих физиологических процессов нужны более детальные данные конкретной биологической системы. В дальнейшем большое внимание необходимо уделять процессам фотосинтеза и дыхания растения, процессам переноса минеральных удобрений. Авторы предполагают, что с учетом сложных биохимических явлений в растениях такая постановка задачи даст возможность не только оптимизировать технологию выращивания конкретных культур, но также откроет новые возможности селекции и разработке новых устойчивых сортов растений.

### Результаты исследований

Полученная математическая модель решена по методу Рунге-Кутты.

С целью исследования полученной модели для конкретных климатических условий был выбран один весенний день (15 марта) так называемого типичного года [11]. Скорость ветра в этот день равна 1 м/с. Поскольку решается нестационарная задача, то необходимо задавать произвольные начальные условия для исследуемых переменных. Естественно, в случае моделирования одних суток на конечное решение сильно влияет вид начальных условий. Чтобы компенсировать такое влияние, моделированы двое суток с идентичными внешними факторами. При этом за основное решение были приняты результаты второго дня. Таким образом, подобный подход позволил получить решение, независимое от вида начальных условий. Тем не менее, в начальный момент времени система находится в динамическом, тепловом и концентрированном равновесии. Температура внутри исследуемого объема на 5 К больше температуры окружающей среды. За начальный момент времени было принято 8 часов утра, когда на поверхность земли начинают падать первые лучи солнца в это время года.

Механизм развития ламинарных конвективных течений в объемах сложной формы детально рассмотрен в работе [12]. Поэтому нет необходимости останавливаться на результатах первых суток моделирования. Обсуждение начнем с анализа процессов, происходящих в первые минуты вторых суток.

В ранние часы второго дня моделирования (7<sup>00</sup> час) в исследуемом объеме имеет место как тепловое, так и концентрированное равновесие. В это время среднеобъемная температура воздуха в теплице на 5–6 К больше температуры окружающей среды. Естественно, в силу незначительности градиентов температуры иконцентрации, архимедова сила также небольшая. Поэтому скорость циркулирующего потока не превышает 4–6 см/с.

С появлением первых лучей солнца картина происходящих процессов изменяется. Начинает повышаться температура почвы, поскольку она поглощает приблизительно до 20% падающей радиации. Увеличивается также температура воздуха внутри гелиотеплицы. Здесь необходимо отметить один важный момент. В ночное время, когда температура среды в теплице снижается, влажность воздуха доходит до насыщенного состояния, а к утру она даже перенасыщается. Поэтому в ночное время пары конденсируются и в виде капель падают на поверхность почвы. С повышением температуры и влажности воздуха внутри объема влажность среды постепенно начинает падать, в безоблачную погоду резкое увеличение температуры и интенсивности потока солнечной радиации и медленное снижение влажности воздуха внутри теплицы может привести к двум экстремальным случаям, которые отрицательно повлияют на физиологию растений.

Во-первых, известно, что транспирация происходит в случае, когда давление насыщенных паров воды в листьях превышает давление окружающей среды. В обратном случае процесс прекращается. С другой стороны, известно, что растения поглощают порядка 40–70% падающей радиации. За счет поглощенного тепла их температура быстро возрастает и через некоторое время превышает агротехнический максимум. Так как терморегуляция осуществляется благодаря процессу транспирации, а последний не возможен в силу физи-

ческих условий окружающей среды, то в течение определенного времени могут сильно нарушаться обменные процессы в растениях. Для неустойчивых сортов растений это может стать причиной болезней.

Во-вторых, с увеличением потока солнечных лучей интенсифицируется процесс фотосинтеза, в результате которого растения вырабатывают углеводы из углекислого газа и воды. Таким образом, интенсивность фотосинтеза лимитируется поступлением углекислого газа. Последний диффундирует из воздуха через устьица в межклеточное пространство. Далее он с помощью энергии солнечных лучей растворяется в воде и поступает в хлоропласты, где вступает в реакцию карбоксилирования. Как видно, на пути углекислого газа из внешней среды до реакционных центров фотосинтеза имеется ряд сопротивлений. Одним из них является устьичное сопротивление, испарившийся пар в процессе транспирации также проходит через устьица. Поэтому, когда в результате отсутствия испарения все межклеточное пространство заполнено водой, естественно, углекислый газ не может диффундировать в необходимые реакционноспособные центры. Нарушается процесс фотосинтеза, который является основным показателем в модели формирования урожая, хотя энергия, необходимая для протекания реакции, имеется.

Из вышесказанного следует, что при низких температурах окружающей среды и большой интенсивности потока солнечной радиации создаются неблагоприятные для выживания растений условия. Эти условия еще усложняются, если имеется дефицит почвенной влаги.

Как показывают наши расчеты, микроклимат гелиотеплицы можно регулировать, им можно управлять. Это достигается многими путями: изменением геометрических параметров и конструкции гелиотеплицы, введением в конструкцию специальных теплообменных устройств или аккумуляторов тепла. В любом случае необходимы детальные знания о происходящих в объеме процессах.

Как было показано выше, в утренние часы устанавливается полное равновесие системы с окружающей средой. К такому состоянию система доходит после полудня. Из полученных результатов видно, что течение влажного воздуха соответствует ламинарному режиму. В большей части объема образуется почти неподвижное ядро с однородной температурной и концентрацией. Об этом свидетельствуют умеренные скорости (1–2 см/с) и почти нулевое значение кинетической энергии турбулентных пульсаций ( $K = 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}^2$ ) и их скорость диссипации  $\varepsilon = 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}^3$ . Относительно активная циркуляция среды наблюдается вблизи наклонных холодных стеклянных поверхностей. Это говорит о существовании динамического, теплового и концентрированного пограничных слоев. Таким образом, в объеме имеются две условные зоны, где происходят антагонистические, но взаимоподдерживающиеся процессы. Основная задача теории конвективного теплообмена в замкнутом объеме заключается в решении вопроса взаимоотношений между этими процессами. Если правильно решить эту задачу, то сразу же находится ответ на вопросы об оптимальном регулировании и управлении микроклиматом гелиотеплицы. Дело в том, что интенсивное движение в пограничном слое возникает благодаря большим градиентам температуры и концентрации вблизи холодных или горячих поверхностей. Поэтому интенсивность теплообмена пограничного слоя со стенкой во многом будет определять быстроту охлаждения или нагрева неактивного ядра. Исходя из

этих факторов можно доказать, что те авторы, которые пренебрегают конвекцией при исследовании температурно-влажностного режима больших замкнутых объемов, допускают большую ошибку. Нельзя отделять процессы в ядре от процессов в пограничном слое. Их нужно рассматривать как одно целое.

В установившемся состоянии системы толщина пограничных слоев достигает 30 см. Такая же картина и структура движения экспериментально наблюдалась авторами [11, 12]. С постепенным повышением температуры и влажности воздуха начинается процесс транспирации. Относительно интенсивный нагрев воздуха осуществляется в южной части секции гелиотеплицы. Нагретый воздух из нижних слоев устремляется вверх. Поскольку на северной части соседней секции температура воздуха ниже, чем температура поднимающегося потока воздуха, а, следовательно, здесь наблюдается и низкое давление, то поток разделяется на две части: одна часть продолжает свое течение вверх, другая — изменяет свое направление в соседнюю секцию. Так как рассматривается периодическое расположение большого количества гелиотеплиц, то с северной стороны исследуемой секции также имеется поток нагретого воздуха. Таким образом, в центральную часть объема двигаются два противоположно направленных течения примерно одинаковой температуры и концентрации. Скорость обоих потоков достигает до 15 см/с. Здесь эти потоки встречаются, в результате чего более нагретая часть опять поднимается вверх, а менее нагретая опускается вниз. Но температура нижних слоев не успевает подниматься до уровня верхних слоев, тем более здесь находятся растения, поддерживающие свою температуру в оптимальном диапазоне. Поэтому в центре объема образуется стратифицированный столб воздуха, т.е. градиент температуры. Стратификация среды имеет свои положительные стороны. Во-первых, при таком состоянии система находится в гидродинамическом и тепловом равновесии, что уменьшает конвективные потери тепла. Во-вторых, в зоне, где расположен биологический объект, температура ниже среднеобъемной температуры, что создает благоприятные условия для роста растений с минимальными затратами как энергии, так и воды. В-третьих, накопление нагретого воздуха на одной высоте объема позволяет найти оптимальное местоположение теплообменных устройств для аккумуляторов тепла. С другой стороны, устойчивость стратифицированного состояния системы зависит от многих факторов: от геометрических размеров, значений горизонтальных градиентов температуры и концентрации. Как показывают расчеты, такое состояние может быть причиной колебательных движений среды в исследуемом объеме. Поэтому при оптимизации и проектировании гелиотеплиц необходимы знания о закономерностях устойчивости стратифицированных сред. Естественно, изучение этих закономерностей представляет собой предмет отдельных исследований.

Все описанные выше процессы происходят в зоне ядра системы, которые регулируются явлениями в пограничном слое. В результате повышения температуры воздуха в теплице, а также увеличения концентрации паров за счет транспирации и испарения влаги с поверхности почвы увеличиваются их градиенты вблизи холодных наклонных стенок. Увеличивается скорость, а толщина пограничного слоя от 30 см в ламинарном режиме уменьшается до 5 см в турбулентном режиме. Теряется устойчивость течения и происходит отрыв основного потока от стенки. Оторвавшийся вихрь проникает в ядро

и там же затухает. Поэтому в некоторых областях ядра образуются зоны с неоднородной температурой и концентрацией. Таким образом, холодная стенка является источником генерации турбулентных пульсаций. Вблизи этой поверхности резко увеличивается турбулентная вязкость среды и отношение  $\mu_e/\mu$  колеблется в диапазоне 2–8. Сильно развитая турбулентность наблюдается вблизи вершины объема (рис. 1). Значения кинетической энергии турбулентных пульсаций в некоторых точках доходит до  $3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}^2$ , а турбулентная вязкость имеет порядок  $10^{-2}$ . Это означает преобладание роли турбулентной пульсации по сравнению с осредненными величинами. Причина этого явления заключается в больших градиентах температуры и концентрации в горизонтальном и вертикальном направлениях вблизи точки С. Такую же качественную картину явлений наблюдали авторы [9, 10] при экспериментальном исследовании теплообмена в полостях треугольного и трапециoidalного поперечного сечения. Другие авторы [11, 12] показали увеличение численных значений  $K$ ,  $\varepsilon$  и  $\mu_t$  в пограничном слое.

Необходимо отметить, что глубина проникновения турбулентных вихрей зависит от масштаба последних. Чем меньше температура и больше геометрические размеры, тем глубже проникают эти вихри.

На рисунке 2 показаны соответственно изолинии функции тока и изотермы, когда поток солнечной радиации  $J = 234,5 \text{ Вт/м}^2$  и  $T_t = 288 \text{ К}$ . Из рисунков видна сложность происходящих процессов, особенно вблизи верхних холодных стенок. Поскольку выше детально описаны процессы в парогазовой среде, то здесь важно остановиться на изменении температуры растения и почвы. Из рисунка 2 видно, что в зоне, где находятся растения, температура ниже, чем температура соседних точек. Естественно регуляция температуры происходит за счет транспирации. Влияние растений на тепловой режим гелиотеплицы наглядно видно из рисунка 2.

На рисунке 3 показано распределение температуры, по всему сечению имеется равно распределенная температура. Температура почвы под растениями ниже, чем температура самих растений, а по краям и на определенной глубине она резко увеличивается, хотя на глубине 30 см опять уменьшается. Это объясняется сильным влиянием растений на тепловой режим почвы. Дело в том, что растения поглощают радиацию, поэтому в нижние части проходит небольшая ее доля. Температурные колебания быстро затухают, не доходя 30 см.

С целью оценки влияния растений на общий тепловой режим системы проведены дополнительные расчеты, когда в теплице они отсутствуют. Расчеты проводили при тех же климатических условиях. Результаты представлены на рисунке 3. Если сравнить рисунки 1 и 2, то между ними имеются большие отличия. Во-первых, благодаря высокой температуре почвы, воздух быстро нагревается в центре объема и поднимается вверх и, охлаждаясь на верхних поверхностях, опускается вниз, т.е. характер течения совершенно противоположен первому варианту. В-третьих, в отсутствии растений температура воздуха на 1–2 °С выше.

Таким образом, из анализа результатов следует, что растения влияют на тепловой и влажностный режим воздуха и почвы. Зная закономерность этого влияния, во-первых, можно с их помощью регулировать микроклимат гелиотеплицы и, во-вторых, правильно располагать аккумуляторы тепла.

На рисунке 3 показаны расчетные значения средне-объемной температуры и влажности воздуха в гелио-

Рис. 1.

Fig. 1.

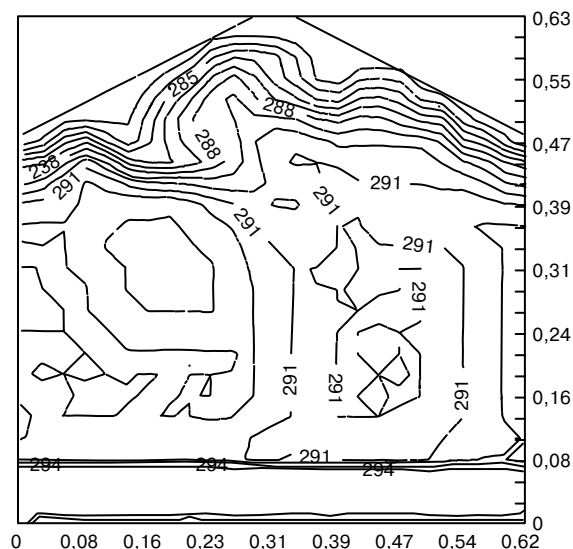


Рис. 2.

Fig. 2.

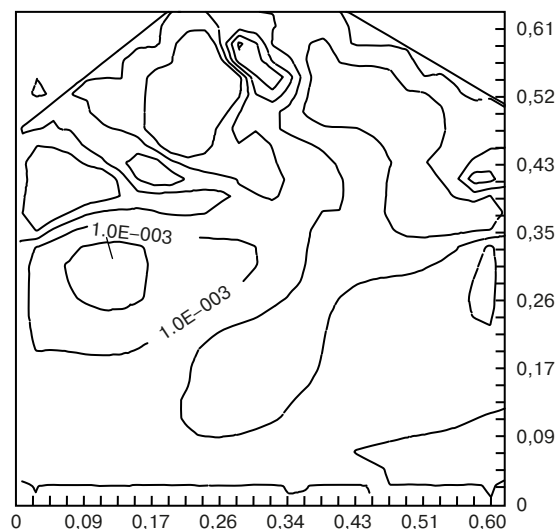
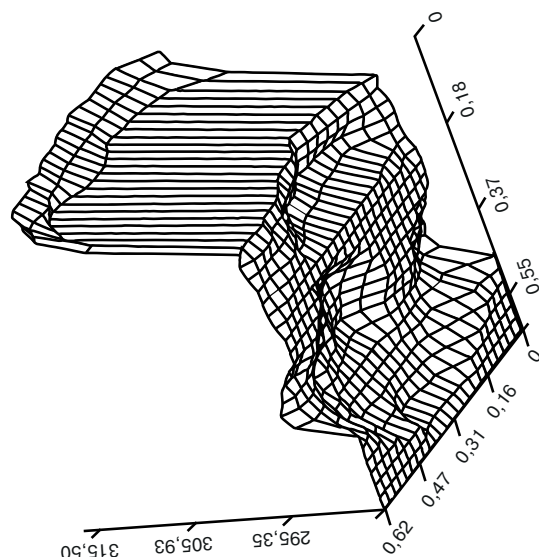


Рис. 3.

Fig. 3.





теплице в течение суток. Наши результаты качественно и количественно совпадают с результатами натурных исследований авторов [9, 10, 11]. Хорошее совпадение расчетных и экспериментальных результатов свидетельствует о работоспособности разработанной программы для исследования температурно-влажностного режима гелиотеплицы, а также некоторых физиологических процессов у растений. Не представляет особого труда включить в программу блоки для расчетов параметров фотосинтеза и дыхания растений.

#### Выводы

1. Разработана математическая модель конвективного теплообмена в замкнутом объеме теплицы. Модель представляет собой нестационарные двумерные турбулентные уравнения Навье-Стокса, которые решаются совместно с уравнениями энергии и диффузии. Турбулентность учитывается двухпараметрической ( $K$ ,  $\varphi$ ) моделью турбулентности. Учитываются особенности процессов переноса в системе влажный воздух — почва — растение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов И.Н., Антонова Д.Н. Энергосберегающая технология управления температурой воздуха теплицы в климатических условиях Челябинской области. 2010. — № 4. — С. 106–109
2. Байрамов Р.Б., Рабанова Л.Е. Микроклимат на солнечном обогреве. — 1983. — С. 84.
3. Воронец Д., Козич Д. Влажный воздух: термодинамические свойства и применение. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — С. 136.
4. Куртнер Д.А., Усков И.Б. Климатические факторы и тепловой режим в открытом и защищенном грунте. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — С. 230.
5. Бихеле З.Н., Молдау Х.А., Росс Ю.К. Математическое моделирование транспирации и фотосинтеза растений при недостатке почвенной влаги. — Л. Гидрометеиздат, 1980. — С. 215.

#### ОБ АВТОРЕ:

**Хайриддинов А.Б.**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель.

2. Разработана рабочая программа по методу Рунге-Кутты для исследования полученной модели.

3. Установлено, что в определенное время, в основном в утренние часы, в теплице создаются неблагоприятные условия для протекания физиологических процессов у растений. Нарушения физико-биологических процессов могут быть причинами различных болезней.

4. Установлено, что в дневное время в центре объема образуется стратифицированная зона, которая положительно влияет на функционирование теплицы.

5. Показано, что источником генерации турбулентных пульсаций являются наклонные холодные стенки. Здесь же происходит значительная потеря тепла.

6. Разработанная модель и программа позволяют параметрически оптимизировать теплицу, найти пути оптимального управления и регулирования ее микроклиматом.

7. Впервые оценено влияние растений на температурно-влажностный режим теплицы в целом. Показано, что в их присутствии температура воздуха и почвы снижается на несколько градусов.

6. Вардияшвили А.А. Исследование теплоэнергетической эффективности и тепломассообменных процессов в тепловых отходах: автореф. канд. тех. наук Т.И.И.М. — 2009. — С. 24.

7. Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. — Л. Гидрометеиздат, 1975. — С. 341.

8. Ничипорович А.А. О свойствах растений как оптической системы // Физиология растений. — 1961. — Т. 8. — № 5. — С. 536–546.

9. Хайриддинов Б.Э., Садинов Т.А. Комбинированные гелиотеплицы-сушилки. — 1992. — С. 183.

10. Фарук К.М. Турбулент ламинарная тепловая конвекция в замкнутой полости с внутренним тепловыделением. Теплопередача, 1988. — № 4. — С. 105.

11. Озоэ, Маура, Хирамицу, Черчилл, Лайор. Численный расчет трехмерной турбулентной свободной конвекции в кубической полости с помощью модели турбулентности из двух уравнений // Теплопередача. — 1986. — № 4. — С. 67–75.

12. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. — Мир, 1988.

#### ABOUT THE AUTHOR:

**Khayriddinov A.B.**, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer Department of Agro Chemistry and Soil Science.

## НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ • НОВОСТИ •

### В Китае впервые прошла пестицидная обработка беспилотником каучуковых деревьев

Институт окружающей среды и защиты растений Китайской академии тропических сельскохозяйственных наук совместно с компаниями Shenzhen Huaya Technology и Hainan Rubber Group протестировал применение воздушного пестицида, ориентированного на насекомых-вредителей листьев каучукового дерева, на обширной плантации фермы Янцзян (округ Цюнчун, провинция Хайнань).

В кратчайшие сроки беспилотный вертолет FBH300, загруженный 150 кг пестицидного агента, успешно завершил нанесение пестицида на каучуковую плантацию. Нанесение инсектицидов на листья каучукового дерева

беспилотником повысило эффективность применения и экономичность использования, а также равномерность нанесения состава. Пестицидные агенты, в случае внесения с воздуха, более эффективно проникают в густые листья, существенно увеличивая результативность защиты растений. При этом технология не требует присутствия специалиста: оператор управляет беспилотником с безопасного расстояния. В процессе применения беспилотные летательные аппараты контролируют состояние насекомых-вредителей при помощи камер высокой четкости.

Исследователями института было разработано мобильное приложение для мониторинга вредителей каучукового дерева, которое собирает информацию о вредных организмах и создает базу данных, что позволило создать систему раннего предупреждения.