

Возмущающие воздействия на температурный режим в теплицах Имайкин Р. Ф.

Имайкин Рамзит Фаизович / Imaikin Ramziti Faizovich - студент магистратуры,
кафедра автоматизированного электропривода, факультет энергетики и электрофикации,
Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, г. Ижевск

Аннотация: в статье представлена актуальность производства продукции защищенного грунта в России, экспериментальные исследования микроклимата и математическое моделирование температурного поля в теплицах. В современных условиях очевидно, что обеспечение продовольственной безопасности в России есть необходимость. Для выполнения этой цели должны быть проведены следующие мероприятия: модернизация тепличных комбинатов, применение энергосберегающих технологий выращивания овощей в теплицах, снижение затрат на энергоресурсы для производства продукции защищенного грунта [1]. Особенно актуальным является снижение энергозатрат, т.к. они занимают значительный процент в себестоимости овощной продукции в теплицах. Анализ научных публикаций, отчетов тепличных комбинатов, а также собственные исследования показали, что энергозатраты на производство овощей в тепличных комбинатах составляют около 40 % [2]. Кроме того, нужно учитывать, что большая часть Российской Федерации является зоной рискованного земледелия и поддержание микроклиматических параметров в сооружениях защищенного грунта должно строго контролироваться и требует больших затрат природных ресурсов. Температурный режим в защищенном грунте невозможно рассматривать отдельно от других параметров микроклимата. Микроклимат в сооружениях защищенного грунта в основном зависит от их освещенности и температуры, а также от влажности воздуха и почвы. Эти сооружения должны быть приспособлены для создания микроклимата, оптимального для той либо другой возделываемой культуры [3]. В основном, значительное количество исследований как российских, так и зарубежных ученых посвящено исследованию влияния солнечного излучения на продуктивность биологических объектов, выращиваемых в открытом и защищенном грунте, а также изменению температуры, влажности и содержания углекислого газа в атмосфере земли под влиянием ФАР и естественного солнечного излучения [4]. Исследований и анализа экспериментальных данных, посвященных напрямую взаимосвязи солнечного излучения, температуры и влажности в защищенном грунте, нет.

Ключевые слова: математическая модель, температурное поле, теплица, энергосберегающие электротехнологии.

УДК 631.172

Несомненно, влияние естественного солнечного излучения на температурный режим, как в естественных условиях, так и в условиях защищенного грунта присутствует. Математическая обработка экспериментальных данных усредненных значений естественной освещенности и температуры в теплицах показала результат, представленный на рисунке 1.

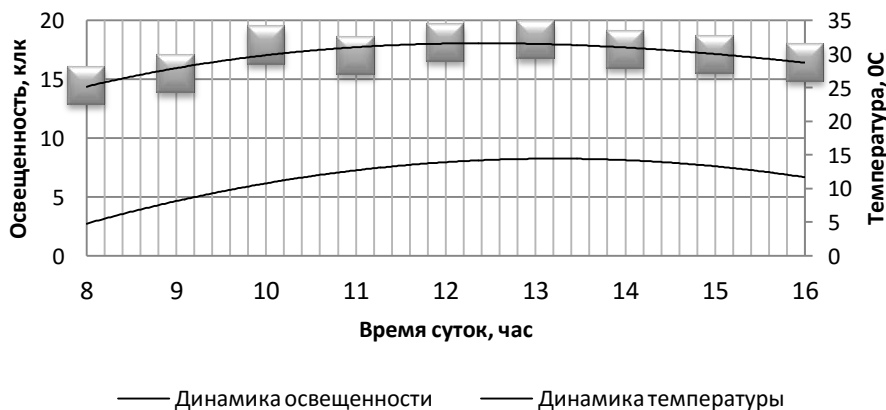


Рис. 1. Динамика освещенности и температуры

Хорошо известно, что температура и влажность являются ведущими климатическими факторами и имеют тесную взаимосвязь между собой. При неизменном количестве воды в воздухе относительная влажность увеличивается, когда температура падает. Сочетание температуры и влажности часто играет решающую роль в жизнедеятельности биологических объектов.

Взаимодействие температуры и влажности зависит не только от относительной, но и от абсолютной их величины. Например, температура оказывает более выраженное влияние на организмы в условиях влажности, близкой к критической.

Аналогично проведя математическую обработку данных по влажности и температуре в контрольных точках исследуемых объектов защищенного грунта, мы получили следующий результат, представленный на

рисунке 2. Анализ этих данных показывает, что при повышении естественной освещенности в условиях защищенного грунта, не смотря на возмущающие воздействия окружающей среды, повышается температура. Следовательно, при повышении температуры, как и в естественных условиях, снижается влажность. Таким образом, освещенность влияет как на температуру, так и на влажность воздуха в условиях защищенного грунта.

Актуальной задачей, для условий производства биологических объектов в защищенном грунте, будет являться математическое моделирование температурного режима таким образом, чтобы при минимальном количестве датчиков, система управления была способна контролировать эту физическую величину по всему рабочему объему защищенного грунта.

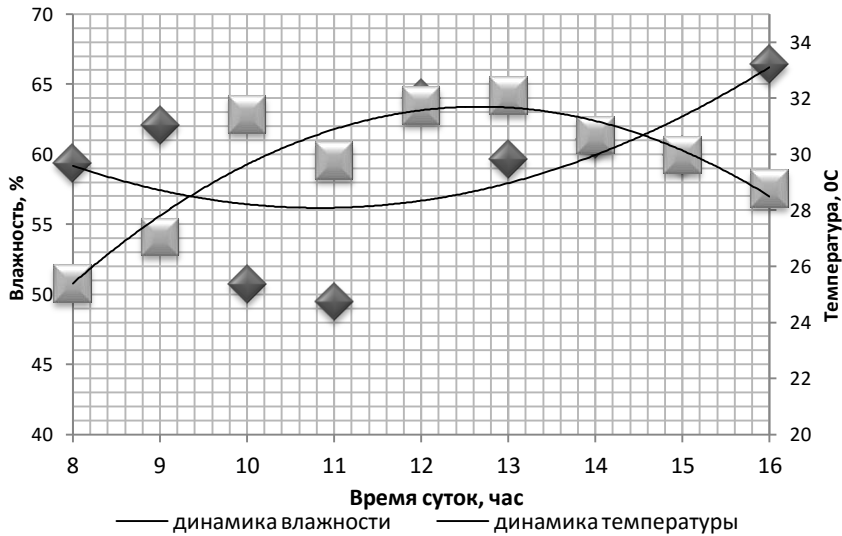


Рис. 2. Динамика влажности и температуры

Не вызывает сомнения тот факт, что современные сооружения защищенного грунта представляет собой тело конечных размеров правильной геометрической формы, образованных путем взаимного пересечения неограниченных пластин, т.е. параллелепипед.

Если тело образовано пересечением двух плоских пластин, имеющих толщину $2\delta_x$ в плоскости x и $2\delta_y$ в плоскости y , то поле температур равно:

$$\bar{\Theta} = \bar{\Theta}_x \cdot \bar{\Theta}_y. \quad (1)$$

Соответственно для параллелепипеда:

$$\bar{\Theta} = \bar{\Theta}_x \cdot \bar{\Theta}_y \cdot \bar{\Theta}_z. \quad (2)$$

Основываясь на результатах других исследователей, примем, к вниманию, тот факт, что охлаждение оказывает на температурное поле существенное влияние и, следовательно, температурное поле в теплице можно описать телом вращения полиномиальной кривой второго порядка – эллипсоидом, вписанным в геометрические размеры объекта защищенного грунта.

Таким образом, температурное поле в защищенном грунте можно описать как пересечение двух неограниченных пластин по осям x и y , а по оси z эллипсоидом. На основании этого, а также учитывая, что теплица находится в условиях охлаждения, т.е. $t_{не} < t_0$ формула (2) может быть преобразована:

$$\bar{\Theta} = \bar{\Theta}_x \cdot \bar{\Theta}_y \cdot \bar{\Theta}_z = \left[\frac{t_0 - t(x, \tau)}{t_0 - t_{не}} \right] \cdot \left[\frac{t_0 - t(y, \tau)}{t_0 - t_{не}} \right] \cdot \left[\frac{t_0 - t(z, \tau)}{t_0 - t_{не}} \right], \quad (3)$$

где $t_{не}$ – температура наружного воздуха, т.е. окружающей среды;

t_0 – температура воздуха в теплице в момент времени $\tau=0$, которая может быть измерена датчиком, установленным в наиболее теплом месте.

Таким образом, для определения общего температурного поля в защищенном грунте нам необходимо определить температурные поля по каждой оси. Так, по оси x температурное поле можно представить как температурное поле в неограниченной плоской пластине, находящейся в условиях охлаждения, которое можно определить, используя дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности, которое имеет вид:

$$a \cdot \Delta t + \frac{Q_V}{c \cdot \rho} = \frac{\partial t}{\partial \tau}, \quad (4)$$

где a – коэффициент температуропроводности, m^2/c ;

Δt – разность температур, $^{\circ}C$;

Q_V – объемная плотность источников теплоты, $Вт/m^3$;

c – теплоемкость, $Дж/(кг \cdot K)$;

ρ – плотность, $кг/m^3$.

Решение уравнения (4) в учебниках по теплотехнике [6] проводится методом одномерной нестационарной теплопроводности без внутренних источников теплоты, следовательно, выражение (4) преобразуем в:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (5)$$

Для решения уравнения (5) используют метод разделения переменных. Сумма частных решений дает общее в следующем виде:

$$\bar{\Theta}_x = \left[\frac{t_\delta - t(x, \tau)}{t_\delta - t_{нв}} \right] = \sum_{i=1}^{\infty} C_i \cdot \cos(\mu_i^* \cdot \bar{x}) \cdot e^{-\mu_i^{*2} \cdot F_0} \quad (15)$$

Значения постоянных C_i определяют из начальных условий ($\tau=0$; $t_\delta=t_0$):

$$C_i = (t_{нв} - t_0) \cdot \frac{2 \cdot \sin \mu_i^*}{\mu_i^* + \sin \mu_i^* \cdot \cos \mu_i^*}. \quad (16)$$

Подставляя значения постоянных C_i в уравнение (15), можем получить окончательное выражение для поля температур по оси x :

$$\bar{\Theta}_x = \left[\frac{t_\delta - t(x, \tau)}{t_\delta - t_{нв}} \right] = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2 \cdot \sin \mu_i^* \cdot \cos(\mu_i^* \cdot \bar{x})}{\mu_i^* + \sin \mu_i^* \cdot \cos \mu_i^*} \cdot e^{-\mu_i^{*2} \cdot F_0} \quad (17)$$

Будет целесообразно теплицу в сечении по оси x представить, как неограниченную пластину с граничными условиями третьего рода.

Ряд, для определения температурного поля по оси x , является сходящимся. Это значит, что с определенного значения $F_0 \geq 0,3$ все последующие члены ряда по сравнению с первым ничтожно малы. Следовательно, при $F_0 \geq 0,3$ можно ограничиться только первым членом ряда, тогда мы получим:

$$\bar{\Theta}_x = \left[\frac{t_\delta - t(x, \tau)}{t_\delta - t_{нв}} \right] = \frac{2 \cdot \sin \mu_1^* \cdot \cos(\mu_1^* \cdot \bar{x})}{\mu_1^* + \sin \mu_1^* \cdot \cos \mu_1^*} \cdot e^{-\mu_1^{*2} \cdot F_0}. \quad (18)$$

В конкретной точке пластины, а, следовательно, и теплицы по оси x , ее температура зависит только от критериев подобия, принятым выше, Bi и F_0 .

Поскольку, внутреннее термическое сопротивление теплицы по сравнению с внешним термическим сопротивлением окружающей среды велико, т.е. $Bi \rightarrow \infty$, то в этой задаче, граничные условия третьего рода переходят в граничные условия первого рода. При этих условиях из уравнения (18) получим ($\mu_1^* = \frac{\pi}{2}$, $\cos \mu_1^* = 0$, $\sin \mu_1^* = 1$):

$$\bar{\Theta}_x = \left[\frac{t_\delta - t(x, \tau)}{t_\delta - t_{нв}} \right] = \frac{4}{\pi} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \bar{x}\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{4} F_0} \quad (19)$$

Проводя аналогичные вычисления, температурное поле в теплице по оси y можно представить как:

$$\bar{\Theta}_y = \left[\frac{t_\delta - t(y, \tau)}{t_\delta - t_{нв}} \right] = \frac{4}{\pi} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \bar{y}\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{4} F_0} \quad (20)$$

Поскольку эллипсоид – это сложная фигура, дальнейшие вычисления можно упростить, и по оси z температурное поле можно описать аналогично процессам нагрева в половине цилиндра, т.е. аналитическим выражением:

$$\bar{\Theta}_z = \left[\frac{t_\delta - t(z, \tau)}{t_\delta - t_{нв}} \right] = 1 - \frac{2 \cdot a \cdot \alpha \cdot \tau}{\lambda_w \cdot r} \cdot e^{-\frac{1}{4} F_0}, \quad (21)$$

где a – коэффициент изобарной теплопроводности, для воздуха составляет $18,88 \cdot 10^6 \left[\frac{M^2}{c} \right]$;

$\lambda_w = 0,027 \left[\frac{Bm}{m \cdot K} \right]$ – коэффициент теплопроводности воздуха;

α – коэффициент конвективной отдачи равен $500 \left[\frac{Bm}{m^2 \cdot K} \right]$;

τ – текущий момент времени, с;

r – радиус цилиндра, равный высоте z от поверхности земли до точки в которой необходимо определить температуру.

Далее можно от безразмерных величин температурного поля перейти к конкретным значениям температуры в какой-либо точке рабочего объема защищенного грунта:

$$\frac{(t_\delta - t)}{(t_\delta - t_{нв})} = \bar{\Theta} \quad (22)$$

Умножая и левую и правую части выражения (22) на $(t_\delta - t_{нв})$ получим:

$$(t_\delta - t) = \bar{\Theta} \cdot (t_\delta - t_{нв}).$$

Следовательно, t равно:

$$t = t_\delta - \bar{\Theta} \cdot (t_\delta - t_{нв}).$$

Учитывая, что $\bar{\Theta} = \bar{\Theta}_x \cdot \bar{\Theta}_y \cdot \bar{\Theta}_z$, получим:

$$t = t_\delta - \left[\frac{4}{\pi} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \bar{x}\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{4} F_0} \right] \cdot \left[\frac{4}{\pi} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \bar{y}\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{4} F_0} \right] \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot a \cdot \alpha \cdot \tau}{\lambda_w \cdot z} \cdot e^{-\frac{1}{4} F_0} \right] \cdot (t_\delta - t_{нв}) \quad (23)$$

Проведя ряд математических преобразований, принимая, что радиус r , вписанного в теплицу цилиндра, равен высоте по координате z , а также переводя относительные величины $\bar{x} = \frac{x}{l}$ и $\bar{y} = \frac{y}{l}$ в реальные, где l – длина теплицы, м. Из выражения (25) получим:

$$t = t_d - \left[\frac{16}{\pi^2} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot x}{2 \cdot \delta}\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot y}{2 \cdot l}\right) \cdot e^{-\frac{\pi^2}{2} \cdot F_0} \right] \cdot \left[1 - \frac{2 \cdot a \cdot \alpha \cdot \tau}{\lambda_w \cdot z} \cdot e^{-\frac{1}{4 \cdot F_0}} \right] \cdot (t_d - t_{нв}) \quad (24)$$

Система управления, использующая модель, представленную выражением (24), при успешном доказательстве её адекватности, позволяет решать следующие задачи:

- Учитывать температуру в любой точке рабочего объема защищенного грунта, получая данные лишь с датчика, установленного в геометрическом центре теплицы t_d ;
- Работать во взаимосвязанном режиме с учетом освещенности биологических объектов в теплице. При этом выполнять функции энергосбережения, закрывая экран зашторивания;
- Принимать решения о повышении температуры в теплицы для удаления чрезмерного снежного покрова на коньках теплицы, снижающего освещенность биологических объектов ниже допустимого.

Литература

1. *Vladykin I., Loginov V., Kochurova O.* Mathematical model of temperature field in a greenhouse. Yale review of education and science, 2015. Т. 5. № 1. P. 157-164.
 2. *Vladykin I., Elesin I. S., Kochurova O.* The investigation of energy efficient technologies of carbon dioxide of biological objects in greenhouses. Yale review of education and science, 2015. Т. 5. № 1. P. 736-742.
 3. *Vladykin I., Loginov V., Kochurova O.* The thermovision inspection of protective structures of greenhouses. Westwood, 2014. P. 30-34.
 4. *Vladykin I., Loginov V.* Повышение качества энергосберегающих режимов работы отопительно-вентиляционных электроустановок в защищенном грунте. Москва, 2012. С. 177-182.
 5. *Kondrateva N., Sterkhova T., Vladykin I.* Progressive technologies for protected ground on pre-enterprises of the agroindustrial complex of the Udmurt Republic. New York, 2013. P. 103-106.
 6. *Vladykin I., Elesin I.* Алгоритмы работы отопительно-вентиляционных установок защищенного грунта. Ижевск, 2013. С. 7-12.
-