

УДК 681.5: 631.34

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ФИТОТРОНЕ

Гусенников Е. Н., Юран С. И.

Удмуртский государственный аграрный университет
Ижевск, Российская Федерация

Аннотация. В статье приводится расчет тепловых процессов системы автоматического поддержания заданной температуры в камере фитотрона с последующим компьютерным моделированием тепловых процессов в контексте разрабатываемого устройства.

Ключевые слова: фитотрон, нагрев камеры, компьютерное моделирование, автоматизированное поддержание микроклимата.

MODELING THERMAL PROCESSES OF THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM IN THE PHYTOTRON

Gusennikov E., Yuran S.

Udmurt State Agrarian University
Izhevsk, Russian Federation

Abstract: The article presents the calculation of thermal processes of the system for automatic maintenance of a given temperature in the phytotron chamber, followed by computer modeling of thermal processes in the context of the device being developed.

Key words: phytotron, chamber heating, computer modeling, automated microclimate maintenance.

Адрес для переписки Юран С.И., 426069, Российская Федерация, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11
e-mail: yuran-49@yandex.ru

Введение. В настоящее время сельское хозяйство движется в сторону повышения эффективности выращивания растений в искусственных условиях, вследствие чего важным направлением исследований является разработка и улучшение различных методов и устройств создания контролируемых условий микроклимата. Одним из ключевых контролируемых факторов при росте растения является температура окружающего воздуха, так как она влияет на фотосинтез, дыхание, транспирацию, поглощение питательных веществ и деление клеток растения [1]. Вследствие этого важно точно поддерживать данный параметр в устройствах искусственного выращивания растений. При проектировании данных устройств требуется проведение расчета тепловых процессов. Ниже представлен пример расчета изменения температуры воздуха в камере выращивания с течением времени.

Определение температуры воздуха. Температура воздуха в камере определяется по следующей формуле (1)

$$T_{\text{внутр}}(t) = T_{\text{внутр.нач}} + \frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt}, \quad (1)$$

где $T_{\text{внутр}}(t)$ – температура внутри камеры в конкретный момент времени t , К; $T_{\text{внутр.нач}}$ – температура внутри камеры в начале работы, К; $\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt}$ – изменение температуры внутри камеры в течение времени t , К/с.

Изменение температуры внутри камеры определяется по следующей формуле (2)

$$\frac{dT_{\text{внутр}}(t)}{dt} = \frac{1}{m_{\text{в}} \cdot c_{p,\text{в}}} \cdot (Q_{\text{нагрев}}(t) + Q_{\text{Т.обмен}}(t) + Q_{\text{пров}}(t) + Q_{\text{раст}}(t)), \quad (2)$$

где $T(t)$ – температура воздуха в камере в момент времени t , К; $m_{\text{в}}$ – масса воздуха в камере, кг; $c_{p,\text{в}}$ – удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг · К; $Q_{\text{нагрев}}(t)$ – количество теплоты от нагрева ТЭНа в момент времени t , Дж; $Q_{\text{Т.обмен}}(t)$ – количество теплоты, теряемой при теплообмене камеры с внешней средой в конкретный момент времени t , Дж; $Q_{\text{пров}}(t)$ – количество теплоты, теряемой при проветривания камеры в конкретный момент времени t , Дж; $Q_{\text{раст}}(t)$ – количество теплоты, излучаемое процессами жизнедеятельности растений в конкретный момент времени t , Дж.

В свою очередь количество теплоты от нагрева ТЭНа определяется по формуле (3)

$$Q_{\text{нагрев}}(t) = P_{\text{ТЭН}}(t) \cdot \eta_{\text{ТЭН}} \cdot k_{\text{т.отд.ТЭН}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{ТЭН}}(t)$ – мощность электронагревателя, изменяемая во времени t , Вт; $\eta_{\text{ТЭН}}$ – КПД электронагревателя; $k_{\text{т.отд.ТЭН}}$ – коэффициент теплоотдачи электронагревателя в воздух.

Количество теплоты, теряемой при теплообмене камеры с внешней средой, определяется по формуле (4)

$$Q_{\text{т.обмен}}(t) = k_{\text{т.отд.корп}} \cdot S_{\text{корп}} \cdot (T_{\text{внеш}} - T_{\text{внутр}}), \quad (4)$$

где $k_{\text{т.отд.корп}}$ – коэффициент теплообмена корпуса камеры с окружающей средой; $S_{\text{корп}}$ – эффективная поверхность теплообмена камеры с воздухом, м²;

$T_{\text{внеш}}$ – температура внешней среды, К;
 $T_{\text{внутр}}$ – температура внутри камеры, К.

Теплообмен камеры за счет проветривания можно найти по формуле (5)

$$Q_{\text{пров}}(t) = v_{\text{пров}}(t) \cdot \rho_{\text{в.внеш}}(T_{\text{внеш}}) \times c_{p,\text{в}} \cdot (T_{\text{внеш}} - T_{\text{внутр}}), \quad (5)$$

где $\rho_{\text{в.внеш}}(T_{\text{внеш}})$ – плотность внешнего (входящего) воздуха, кг/м³; $v_{\text{пров}}(t)$ – объем проходящего воздуха в единицу времени t , м³/с.

Тепловая мощность, излучаемая процессами жизнедеятельности растений $Q_{\text{раст}}(t)$, зависит от таких параметров выращиваемого растения как вид растений, размер, возраст и окружающие условия. Данную информацию следует выбирать по растениеводческим справочникам, разделяя тепловыделение в активной фазе и в фазе сна растения.

Моделирование температуры воздуха в фитотроне. Основываясь на данном алгоритме определения текущей температуры воздуха в камере $T_{\text{внутр}}(t)$, было проведено компьютерное моделирование тепловых процессов.

В качестве объекта моделирования был выбран разрабатываемый прототип бытового фитотрона [2, 3], приблизительный внешний вид которого представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Вид разрабатываемого устройства

Моделируемый фитотрон обладает следующими параметрами: высота, ширина и глубина камеры выращивания $B \times \text{Ш} \times \Gamma = 0,3 \times 0,3 \times 0,24$ м (объем камеры $V_{\text{кам}} = 0,0216$ м³, эффективная поверхность теплообмена камеры $S_{\text{корп}} = 0,392$ м²); коэффициент теплообмена корпуса камеры с окружающей средой $k_{\text{т.отд.корп}} = 5,5$ Вт/К · м² (листовая крашенная сталь); мощность электронагревателя $P_{\text{ТЭН}}(t) = 30$ Вт; КПД электронагревателя $\eta_{\text{ТЭН}} = 0,9$ коэффициент теплоотдачи электронагревателя в воздух $k_{\text{т.отд.ТЭН}} = 0,95$.

Заданные условия автоматического управления для выращивания растений: заданная температура внутри камеры $T_{\text{внутр}}(t) = 27$ °С, температура внутри камеры в начале моделирования $T_{\text{внутр.нач}} = 19$ °С, температура внешней среды

$T_{\text{внеш}} = 19$ °С, заданный объем двухамого воздуха в единицу времени вентилятором $v_{\text{пров}}(t) = 1,2 \cdot 10^{-6}$ м³/с.

Результат компьютерного моделирования отражает график зависимости температуры воздуха от времени, представленный на рисунке 2.

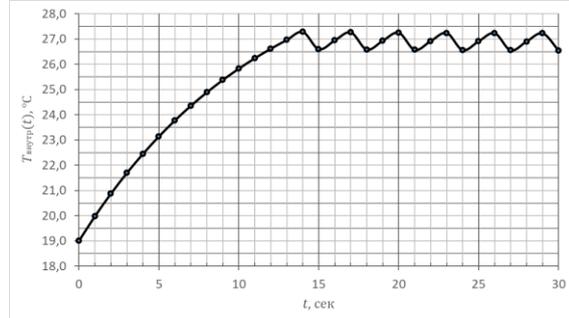


Рисунок 2 – График изменения температуры воздуха в моделируемой камере фитотрона от времени

Проведенное моделирование ограничено периодом времени $t = 30$ с, так как из-за низкой степени колебаний САР график относительно быстро стабилизируется. В результате моделирования установилась температура в камере $T_{\text{уст}} = 26,9$ °С, со временем регулирования $t_{\text{рег}} = 12$ с. Перерегулирование системы автоматики составило $\sigma = 1$ %, с установившейся погрешностью $\epsilon_0 = -0,1$ °С.

Вывод. В ходе моделирования был получен прогноз изменения температуры в камере выращивания. В дальнейших работах планируется провести сравнительный эксперимент компьютерной модели с разработанным прототипом.

Литература

1. Гусенников, Е. Н. Пути создания благоприятных условий для роста рассады в условиях закрытого грунта / Е. Н. Гусенников, С. И. Юран // Наука и молодежь: новые идеи и решения в АПК : Материалы Национальной научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ, Ижевск, 28 ноября – 01 2023 года. – Ижевск: Удмуртский государственный аграрный университет, 2023. – С. 175–184.
2. Гусенников, Е. Н. Концепт комбинированного устройства контролируемого выращивания растений для бытового применения / Е. Н. Гусенников, С. И. Юран // Современные тенденции технологического развития АПК: материалы Международной научно-практической конференции, Ижевск, УдГАУ, 2024. – С 253–256.
3. Гусенников? Е. Н., Система контролируемого выращивания растений для бытового применения / Е. Н. Гусенников, С. И. // Материалы 17-й Международной НТ конференции молодых ученых и студентов. – Минск: БНТУ, 2024. – С. 73.