

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ В МАЛОЙ КРЫШНОЙ ТЕПЛИЦЕ

Гамалева Е.И., Гамалеев Д.О.

*Донской государственный технический  
университет, Ростов-на-Дону, e-mail: kate\_  
gamaleeva@icloud.com*

Поддержание заданных климатических параметров в теплице – задача, которая неоднократно решалась в области растениеводства. Представленные технические решения для управления микроклиматом в теплице стандартно включают в себя несколько подсистем управления: подсистему контроллера, блок управления, подсистему измерений и мониторинга. В данной структуре подсистемы ввода и вывода информационных потоков о состоянии объекта управления обладают известными способами аппаратной реализации, изменяющимися только в части масштабирования их логики в случае возрастания необходимого количества управляемых величин, но не изменяющими качество динамики процессов в системе. Однако блок управления представляет собой последовательность математических операций, эффективность совокупности которых определяется применяемым методом управления. В связи с этим актуальной темой для проектной и исследовательской деятельности является анализ и синтез систем управления на основе современных методов управления динамическими процессами.

Рассматривая малую крышную теплицу в качестве объекта управления, подобным процессом выступает стабилизация температуры и влаги внутри теплицы. Контроль температуры и влажности в теплице необходимо осуществлять круглосуточно, потому что в разное время суток и фазы развития растений требуются различные параметры микроклимата. При этом возмущающим воздействием на атмосферу в теплице оказывают внешние условия ее содержания, которые также сильно меняются в течение дня.

В период прорастания семян, а также в период цветения растения становятся особенно чувствительными к низким параметрам влажности и температуры. Отклонение параметров от нормы приводит к нарушению вегетационного периода растений, появлению болезней, плоды и листья будут маленькими что приведет к уменьшению фотосинтеза, лечение таких болезней почти невозможно, растение подвергается риску гибели, что ведет за собой экономические потери. Повышенная влажность и температура влечет за собой уменьшение транспирации и потребление воды растением, что тоже негативно влияет на его развитие, это приводит к появлению грибков и плесени, дефициту минералов.

Взаимосвязь этих параметров позволяет нам рассматривать влажность среды, как следствие

изменения температуры, тем выше становится потребность в мониторинге температурного режима в теплице. Для стабилизации температуры в теплице при стандартном суточном изменении тепла в окружающей внешней среде или иных хаотических воздействиях, влекущих за собой колебания микроклимата в теплице, традиционно используются методы подчиненного регулирования, например, ПИД-регулятор. В статье рассмотрено проектирование в среде Matlab, Simulink ПИД-регулятора, а также проведено сравнение его с синергетическим методом управления аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) [1].

Основной целью является – разработка системы управления в малой крышной теплице для регулирования температурно-влажностного режима и анализ эффективности двух методов управления. В качестве критерия эффективности выбрано быстродействие управления, то есть снижение инерционности установления требуемой температуры в теплице при возмущающих внешних воздействиях.

#### Математическое описание объекта управления

В основе рассматриваемой математической модели динамики процесса изменения теплового-влажностного режима в малой крышной теплице лежит несколько допущений. Прирост тепла в системе происходит с помощью теплового электрического нагревателя. Теплица не имеет внутренних перегородок, рассеиванием тепла в пространстве теплицы можно пренебречь, так как она малой площади. В связи с этим полагаем, что температура в теплице основным образом зависит от температуры нагревательного элемента и условий внешней среды. Влажность зависит от количества воды, которую можно нагревать в резервуаре теплицы, тем самым будет происходить испарение воды, то есть увлажнение воздуха. Для мониторинга системы использованы погружной датчик измерения объема воды в резервуаре и датчик влажности и температуры. Регулирование объема воды будет происходить с помощью насоса. Тогда изменение температуры воздуха в теплице можно представить следующим уравнением

$$T^2 \frac{d^2 Q}{dt^2} + T \frac{dQ}{dt} + Q = k_p Q_p + k_b Q_b - k_s Q_s, \quad (1)$$

где  $T$  – время установления температуры в теплице при изменении внешних возмущающих и управляющих воздействиях, измеряется в сек,  $Q$  – температура в теплице,  $Q_p$  – температура теплового электронагревателя,  $Q_b$  – температура внешней окружающей среды,  $Q_s$  – разница между температурой внешней среды и температуры теплицы,  $k_p, k_b, k_s$  – коэффициенты передачи контуров управления температурой.

Из выражения (1) температура в помещении определяется коэффициентом  $k_s$ , который характеризует степень теплостойкости теплицы, то есть способ организации материала покрывающего крышу.

Система уравнений, описывающая взаимосвязь динамики нарастания температуры выдаваемой от теплового электронагревателя и внешней среды:

$$\begin{cases} T_1 \frac{dQ_p}{dt} + Q_p = k_1 U \\ T_2 \frac{dQ_b}{dt} + Q_b = k_2 V \end{cases}, \quad (2)$$

где  $T_1$  и  $T_2$  постоянные времени, определяющие скорость установления температуры в соответствующих подсистемах при изменении внешних условий,  $K_1$  и  $K_2$  коэффициенты передачи подсистем,  $U$  напряжение питания теплового электронагревателя,  $V$  – объем сжигаемого природного газа в котле отапливаемого дома, который отапливается газом. Таким образом, уравнение (1) и подсистема уравнений (2) полностью описывают динамику процессов нагрева и охлаждения малой крышной теплицы в частном доме.

#### Моделирования системы управления

Проектирование динамики процессов в теплице и системы управления температурного режима осуществляется в программном пакете Matlab и его приложении Simulink [2]. Реализация ПИД-регулятора осуществляется с помощью стандартной библиотеки Simulink – PID-Tune. С ее помощью в структурной схеме симуляционной модели теплицы установить

блок ПИД-регулятора и перейти к настройке его параметров. Первичное определение параметров ПИД-регулятора выполнялось с помощью методов Зиглера-Никольса и CHR (Chien, Hrones и Reswick) [3, 4]. Однако рассчитанные параметры являются не оптимальными и требуют уточнения. Для этого параметры регулятора варьировались таким образом, чтобы добиться желаемого вида переходной характеристики объекта управления и хорошего запаса устойчивости [5, 6]. Технологические требования к системе автоматического управления зададим следующими показателями качества: время регулирования не более 10 минут при трубке регулирования 3%, желаемый вид переходной характеристики – апериодический, целевое значение температуры в теплице 30°C. В процессе моделирования были достигнуты значения, представленные на рисунке 1, но как видно из графиков, показатели температурно-влажностного режима не достигают нужных значений.

После корректировки коэффициентов ПИД-регулятора (рис. 2) были достигнуты требуемые режимы регулирования.

Исследовательский интерес представляет сравнение результатов управления с помощью подчиненного регулирования в виде ПИД-регулятора и синергетического метода АКАР. Использование метода АКАР при синтезе управления обосновывается тем, что его применение может быть предложено для любых объектов, главным образом для нелинейных, а при взаимодействии со средой даже хорошо изученные линейные системы становятся существенно нелинейными.

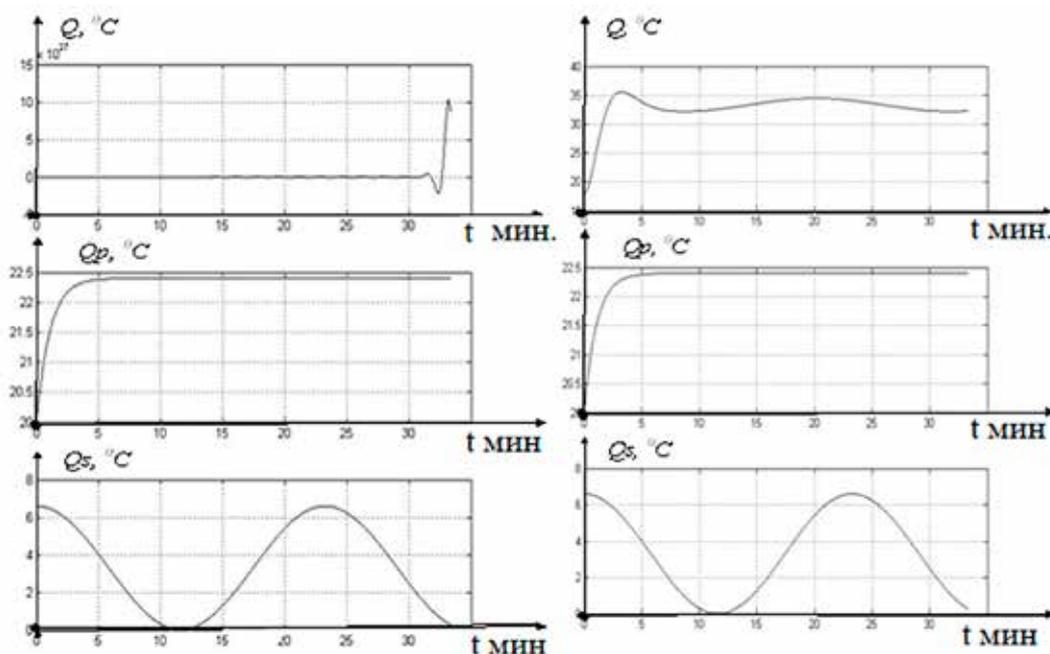


Рис. 1. Температурно-влажностный режим с ПИД-регулятором

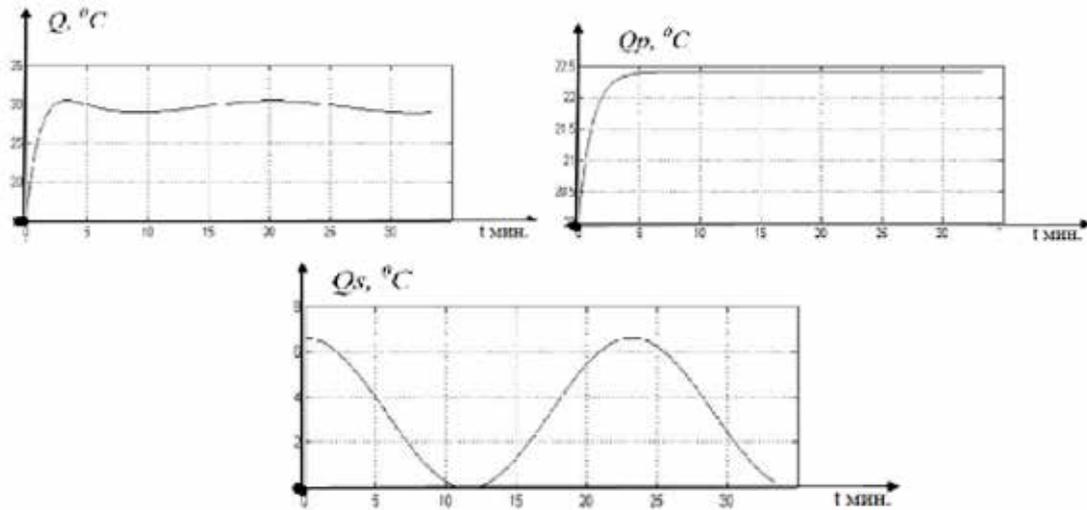


Рис. 2. Оптимальный температурно-влажностный режим с ПИД-регулятором

Еще одним преимуществом метода является синтезированный закон управления, представленный в аналитической форме, который учитывает влияние возмущающих воздействий и адаптируется к их изменениям и к изменяющимся параметрам объекта [1, 7].

Для проектирования закона управления рассмотрим в качестве управляющего воздействия напряжение  $U$ , подаваемое на тепловой электронагреватель, которое устанавливает температурный режим в теплице. В качестве координат состояния системы обозначим  $Q = x_1$ ,  $Q_p = x_2$ . Тогда (1, 2) можно представить в виде

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2 - f(x_1) \\ \frac{dx_2}{dt} = \frac{1}{T}(-x_2 - x_1 + k * U) \end{cases} \quad (3)$$

где  $f(x_1)$  – это внешнее возмущение.

Согласно методу АКАР в математическое описание управления необходимо внести технологические инварианты управления или макропеременные  $\psi_1$  и  $\psi_2$ , которые отображают стабилизацию температуры внутри теплицы при изменяющихся внешних условиях

$$\begin{cases} \psi_1 = x_1 - x_{10} \\ \psi_2 = x_2 - \varphi_2(x_1). \end{cases} \quad (4)$$

где  $x_{10}$  – стационарное требуемое значение температуры внутри теплицы,  $\varphi_2(x_1)$  – промежуточное многообразие, выражающее связь между  $x_1$  и  $x_2$  в силу уравнения (3). Для обеспечения технологических требований необходимо, чтобы введенные макропеременные удовлетворяли функциональным требованиям к системе, а именно аperiodическому типу характеристики переходного процесса

$$\begin{cases} T_1 \dot{\psi}_1 + \psi_1 = 0 \\ T_2 \dot{\psi}_2 + \psi_2 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Параметры  $T_1, T_2$ , определяющие время попадания изображающей точки на пересечение многообразий  $\psi_1 = 0, \psi_2 = 0, \eta_1 = 0, \eta_2 = 0$ , выбираются из условия асимптотической устойчивости системы (5), то есть  $T_1, T_2 > 0$ . Решение (5) с учетом (3), (4)

$$T_1(x_2 - f(x_1)) + x_1 - x_{10} = 0, \quad (6)$$

$$x_2 = \frac{-x_1 + x_{10}}{T_1} + f(x_1) = \varphi_2(x_1). \quad (7)$$

Аналогично решению уравнения с первой макропеременной для  $\psi_2$  с учетом (3), (7) будет

$$T_2 \left[ \frac{dx_2}{dt} + \frac{d\varphi_2(x_1)}{dt} \right] + x_2 - \varphi_2(x_1) = 0, \quad (8)$$

$$T_2 \left( \frac{k}{T_1} U - x_2 - x_1 \right) + T_2 \left( -\frac{1}{T_1} [x_2 - f(x_1)] \right) + \frac{df(x_1)}{dt} + x_2 + \frac{x_1 - x_{10}}{T_1} - f(x_1) = 0 \quad (9)$$

Для удобства дальнейших преобразований обозначим константы в уравнении (9)

$$a_1 = T_2, a_2 = \frac{k}{T_1}, a_3 = \frac{1}{T_1} \text{ и, подставив (3) и (7), выразим искомое управление}$$

$$U = \frac{1}{a_1 a_2} \left[ (a_1 + a_1 a_3 - 1) x_2 + a_1 x_1 - (a_1 a_3 + 1) f(x_1) - a_1 \frac{df(x_1)}{dt} - a_3 (x_1 - x_{10}) \right] \quad (10)$$

Рассмотрим динамику системы с синтезированным законом управления. На рисунке 3 и 4 изображены переходные процессы с учетом влияния внешних неуправляемых возмущений.

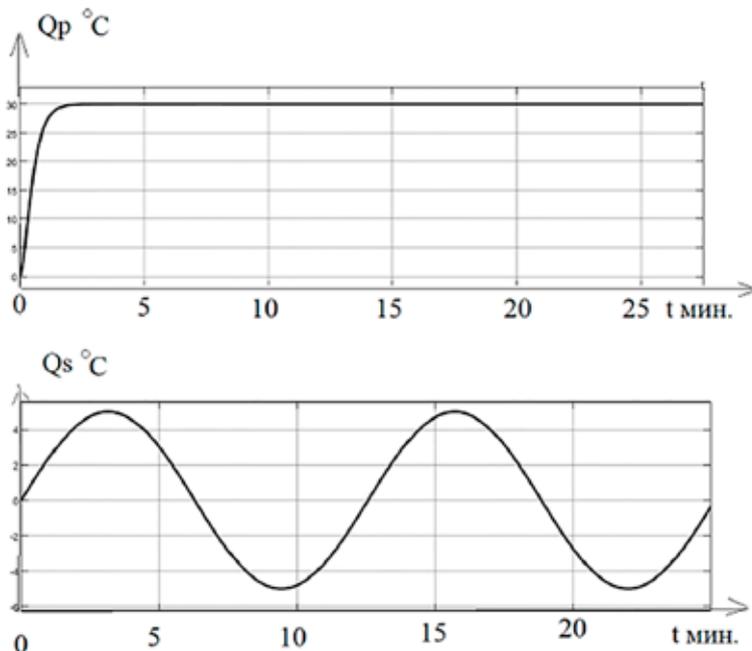


Рис. 3. Температурно-влажностный режим в теплице с синтезированным управлением методом АКАР при синусоидальном возмущающем воздействии

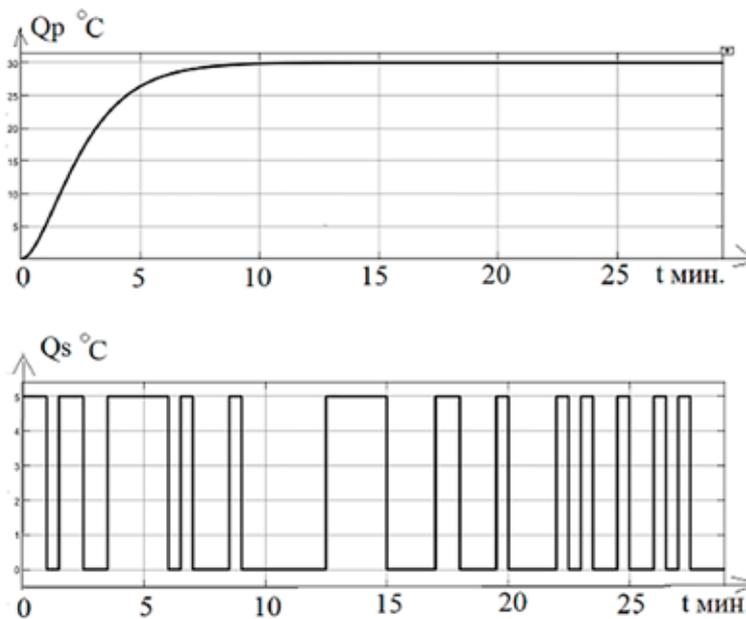


Рис. 4. Температурно-влажностный режим в теплице с синтезированным управлением методом АКАР при возмущающем воздействии в виде прямоугольных импульсов

Полученный закон управления также обеспечивает выполнение технологического требования к работе системы. Более того является оптимальным по параметру быстродействия системы, так как время установления процесса не превышает 7 минут.

#### Выводы

Модель системы была реализована с помощью пакета прикладных программ MATLAB, для анализа динамики изменения влажности в теплице. С помощью анализа системы доказали адекватность выведенной динамической системы уравнений, математически описывающей температурный режим в теплице. Проведена серия экспериментов, в том числе и цифровых, по оценке работы модели, а также по определению оптимальных режимов температуры и влажности. Анализ двух методов управления показал, что недорогим и эффективным способом регулирования, является реализация управления с помощью введения в цепь обратной связи ПИД-регулятора. Однако наиболее устойчивым к внешним амплитудным воздействиям и оптимальным по быстродействию оказывается управление, реализованное методом АКАР. В результате проведения исследования разработали модель управления с оптимальными режимами регулирования влажности в крышной теплице.

#### Список литературы

1. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994. 344 с.
2. Кудинов Ю.И., Пашенко Ф.Ф. Теория автоматического управления (с использованием Matlab и Simulink): учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 312 с.
3. Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers. Trans. ASME. 1942. Vol. 64. P. 759-768.
4. Chien K.L., Hrones J.A., Reswick J.B. On automatic control of generalized passive systems. Trans. ASME. № 74. P. 175-185.
5. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. М.: Наука, 1984. 320 с.
6. Красовской А.А. Справочник по теории автоматического управления. М.: Наука, 1987. 712 с.
7. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами (теория системного синтеза). М.: Едиториал УРСС, 2005. 229 с.

#### ПРОБЛЕМА ПЕРЕОБУЧЕНИЯ В НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ

Губанова А.А., Курган Н.С., Сеницын В.В.

ФГБОУ ВО «Донской государственный  
технический университет», Ростов-на-Дону,  
e-mail: anatoliya81@mail.ru

Переобучение в машинном обучении в нейронных сетях (НС) представляет собой реальную проблему, которую в настоящее время нельзя полностью избежать. К факторам, образующим эффект переобучения можно отнести такие, как: 1) ограничение размера выборки обучающих данных, возможность их «очистки» от шумов;

2) сложность классификаторов; 3) сложность и многопараметричность обучающих алгоритмов.

Рассмотрим популярные стратегии, которые позволяют действенно устранять явление переобучения:

- стратегия сокращения – сокращает размер заключительных классификаторов в реляционном обучении, за счёт неприменения менее важных и неподходящих данных. Данная стратегия предотвращает явление переобучения и позволяет повысить точность классификаторов;

- стратегия ранней остановки- позволяет предотвратить переобучение путём прекращения обучения за счёт нахождения контрольной точки остановки обучения после определения того, что точность пробных данных перестала улучшаться;

- стратегия расширения данных, заключающаяся в подавлении явления переобучения за счёт грамотной настройки гиперпараметров модели, её адекватной сбалансированностью между точностью и регулярностью обучения. Данная стратегия подразумевает более точно производить настройку параметров при достаточном больших объёмах данных;

- стратегия регуляризации, заключается в конечном выборе только «нужных» функций, влияющих на конечный результат;

- стратегия прореживания (отсева) наиболее популярная стратегия против переобучения в НС [1-3]. Рассмотрим её более детально.

Принцип стратегии прореживания заключается в том, что обучается не одна глубокая нейронная сеть, а целый набор, после чего берутся усреднённые результаты (рис. 1). Из сети выключаются нейроны с такой вероятностью  $P$ , что вероятность включения нейрона должна соответствовать условию  $d = 1 - P$ . Последнее означает, что исключение хотя бы одного из нейронов будет соответствовать обучению новой НС, а исключённый нейрон на входе всегда возвращает значение ноль [4,5].

Таким образом, распределение вероятностей (1):

$$F(P) = \begin{cases} P, & \text{при } \rightarrow k = 1 \\ 1 - P, & \text{при } \rightarrow k = 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $k$  – вероятностные выходные значения.

Из рис. 2. видно, что слои  $x_1, \dots, x_n$  НС из  $N$  нейронов на каждой итерации этапа обучения можно считать как совокупность распределения Бернулли с вероятностью  $P$ . Тогда на выходном слое мы получаем значение исключённых нейронов (2):

$$Y = \sum_{i=1}^N (1 - X_i), \quad (2)$$

где  $X_i$  – вектор случайных величин.