

А. С. Ревенко, А. В. Федянин, А. А. Горбачев

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КЛИМАТ-КОНТРОЛЯ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ В ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ

40

Приводятся результаты имитационного моделирования работы автоматизированной системы климат-контроля для выращивания растений в закрытом грунте. Разработаны основные компоненты системы для проектирования и управления аппаратно-программными комплексами с использованием доступных в настоящее время технических средств. Представлены результаты моделирования, позволяющие говорить о слаженном и непротиворечивом взаимодействии основных модулей. Данная модель позволит как проектировать новые, так и управлять существующими программно-аппаратными комплексами систем климат-контроля.

The results of simulation modeling of the automated climate control system for growing plants in closed ground are discussed. Obtained results show the consistent interaction of its all main modules. The presented model is designed both for the designing of the new climate-control systems and for the managing of existing software-hardware complexes on the base of commercially available technical devices and software.

Ключевые слова: имитационное моделирование, системы климат-контроля.

Keywords: simulation modeling, climate control systems.

Введение

Разработка автоматизированных систем климат-контроля для выращивания растений в закрытом грунте в настоящее время получает все большее распространение в связи постоянно расширяющимся кругом доступных аппаратных и программных комплексов [1–5]. На рынке сейчас присутствует ограниченное количество закрытых систем, большинство из которых не предоставляет простого способа изменения модели поведения и требует дополнительных услуг наладки после установки.

Целью работы является разработка имитационной модели работы «умной» теплицы для ее дальнейшего применения в тестировании аппаратного и программного комплекса, обеспечивающего управление фермой. В качестве среды разработки была выбрана графическая среда имитационного моделирования (проектирования) *MATLAB Simulink* [6; 7].



- Основные задачи, поставленные в данной работе:
- разработать модель, отражающую деятельность системы климат-контроля теплицы;
 - смоделировать поведение внешней среды;
 - протестировать модель с простейшим алгоритмом управления подсистемами климат-контроля.

Краткое описание модели

Данная модель описывает состояние теплицы и окружающей среды по трем основным параметрам: температура, влажность воздуха, освещенность.

41

В процессе моделирования имитируются работа и состояние следующих систем: внешняя среда, теплица (внутреннее состояние), поверхность теплицы, система увлажнения воздуха, отопительная система, осветительная система, система затемнения, вентиляционная система.

Обзор модели

На схеме, изображающей общий вид имитационной модели (рис. 1), представлены все основные подсистемы «умной» теплицы и их взаимодействие. Каждая из систем имеет сложную структуру, для примера приведена структура системы управления (рис. 2).

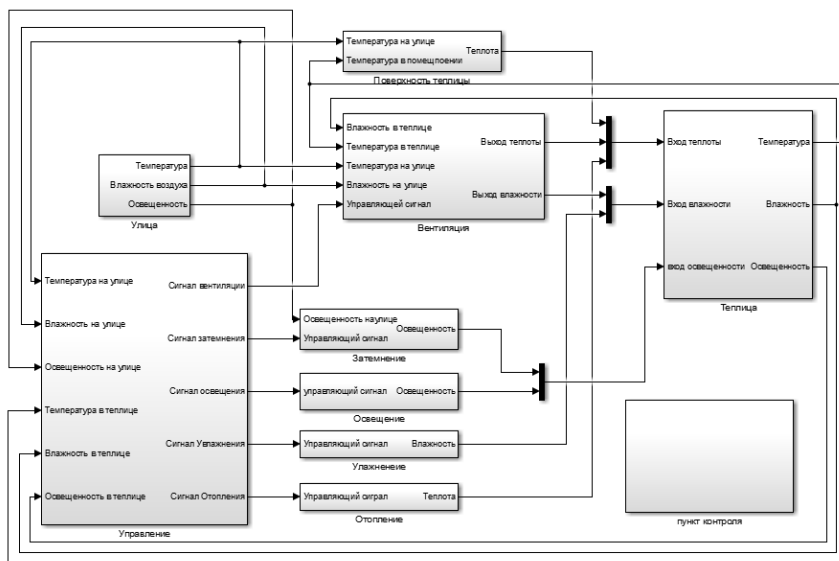


Рис. 1. Общий вид имитационной модели

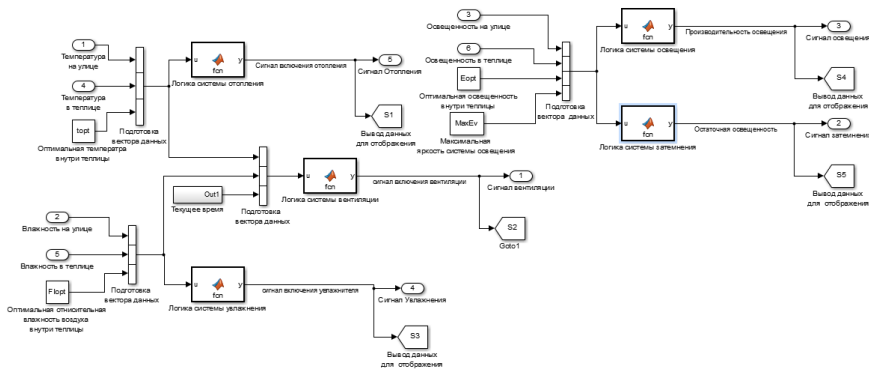


Рис. 2. Структура системы управления

Подсистема **теплица** вычисляет текущее состояние параметров внутри теплицы по следующим формулам [1]:

$$t_i = \frac{Q_{i-1} + Q}{*V * c} \quad (\text{температура}),$$

$$\varphi_i = \frac{(m_{i-1} + m)}{p_0(t_i) * V} \quad (\text{относительная влажность воздуха}),$$

$$E = E_{\text{систем освещения}} + E_{\text{естественное освещение, с учетом затемнения}} \quad (\text{освещенность}),$$

где ΔQ и Δp – сумма взаимодействия других подсистем «умной» теплицы с самой теплицей; ρ – плотность воздуха при нормальных условиях (для упрощения расчетов будем считать, что плотность не меняется); c – удельная теплоемкость воздуха, а максимальная абсолютная влажность воздуха – $p_0(t_i)$ – вычисляется по следующей формуле:

$$p_0(t) = (1,11e - 07)t^5 - (2,09e - 05)t^4 + (1,77e - 3)t^3 - (1,9e - 2)t^2 - (5,00e - 2)t + 5,03.$$

Данная формула получена в результате аппроксимации таблицы максимальной абсолютной влажности воздуха полиномом пятой степени методом наименьших квадратов.

Внешняя среда генерирует состояние окружающей среды следующим образом: на основе текущей итерации вычисляется положение солнца, случайно вычисляются модуль и знак изменения текущего состояния (некоторые параметры влияют друг на друга).

Поверхность теплицы включает в себя процесс обмена тепла с внешней средой по следующей формуле:

$$Q = (t_{\text{внешнее}} - t_{\text{внутреннее}}) * k * s,$$

где k – коэффициент теплопроводности теплицы, а s – площадь теплицы.



Вентиляционная система рассчитывает количество тепла и влаги поступившего / вышедшего в / из теплицы на основе массы воздуха, сменившегося в теплице, по следующим формулам:

$$m_{H_2O} = (\varphi_1 * p_0(t_1) - \varphi_2 * p_0(t_2)) * V,$$

$$Q = (t_1 - t_2) * M * c,$$

где φ_1 и t_1 – относительная влажность и температура снаружи, а φ_2 и t_2 – внутри теплицы; V и M – объем и масса сменившегося в процессе вентиляции воздуха.

Системы затемнения и освещения отвечают за освещенность. При нехватке естественного освещения включается система освещения, доводя его до оптимального значения. Аналогично при избыточном освещении работает система затемнения.

Системы увлажнения и отопления вычисляют количество теплоты и массу воды, которые они приносят в теплицу как произведение их максимальной мощности на текущий КПД.

Блок управления содержит в себе логику управления всеми системами теплицы, а также подготовку данных для работы данной логики.

Система вывода графических данных визуализирует информацию о работе всех управляемых систем теплицы, а также всех отслеживаемых параметров теплицы и окружающей среды.

Результаты моделирования

Среда моделирования *MATLAB Simulink* предоставляет широкий набор для моделирования дискретных событий *SimEvents*, который позволяет не только строить статичные имитационные модели, но и управлять их поведением стандартными средствами программирования в *MATLAB* [8–11].

Проведем моделирование работы системы в течение 10 дней (240 ч реального времени) с шагом 0,5 ч (480 циклов моделирования). В качестве объекта моделирования был выбран вариант большой промышленной теплицы.

Таким образом, данная модель работы теплицы учитывает следующие основные параметры:

- параметры систем: производительность вентиляции, мощность системы отопления, мощность системы увлажнения, максимальная яркость ламп;

- оптимальные условия внутри теплицы: температура, относительная влажность воздуха, освещенность;

- характеристики теплицы: линейные размеры, форма, светопропускание поверхности теплицы, коэффициент теплопроводности поверхности теплицы;

- константы: плотность воздуха при нормальных условиях, теплоемкость воздуха и воды;



— состояние окружающей среды: температура, относительная влажность воздуха, освещенность.

Моделирование работы системы затемнения показывает, какая часть поверхности теплицы пропускает свет на всем интервале моделирования (240 ч). Результаты показывают, что данная система работает только днем, когда естественное освещение превышает оптимальный уровень освещенности для выращиваемой агрокультуры.

Моделирование работы системы освещения отображает текущую яркость ламп системы освещения (относительно их максимальной), при сопоставлении очевиден результат: наибольшие нагрузки данная система испытывает по ночам, днем же она только компенсирует недостаток естественного освещения. При сопоставлении параметров работы системы освещения с системой затемнения результаты моделирования свидетельствуют о том, что они не работают в одно время.

Моделирование системы отопления при выбранных начальных параметрах показывает, что в течение первых 5 дней система работала безостановочно, прогревая теплицу до температур, близких к оптимальным для выбранной агрокультуры. В дальнейшем система работала по мере необходимости и преимущественно ночью.

Также по представленным данным можно сделать следующие выводы: во-первых, система отопления недостаточно производительна для теплицы с ее текущими параметрами, а во-вторых, чтобы снизить частоту переключения состояния системы, необходимо ввести допустимое отклонение от оптимальной температуры.

Из анализа работы модели можно сделать заключение, что при данном наборе физических характеристик комплекса поверхность недостаточно изолирует теплицу от внешней среды.

Сравнение результатов моделирования системы вентиляции с другими системами свидетельствует, что работа данной системы практически не зависит от освещенности и времени суток, но имеет очевидную корреляцию с работой систем отопления.

Моделирование системы увлажнения показывает, что система включается при необходимости компенсировать недостаток влаги внутри теплицы и приостанавливает работу при резком повышении влажности на улице. При сопоставлении с другими системами корреляция не наблюдается.

Исходя из стартовых данных модели, можно отметить, что после прогрева теплицы в первые 5 дней температура колеблется около выбранного оптимального значения.

Модель показывает, что освещенность внутри теплицы постоянно поддерживается на заданном уровне, что свидетельствует о хорошем взаимодействии систем освещения и затемнения.

Моделирование системы демонстрирует сильную зависимость влажности внутри теплицы от влажности снаружи и температуры внутри теплицы. Так, при повышении температуры влажность резко падает и колеблется вблизи оптимальной, но после стабилизации температуры при повышении влажности снаружи теплицы она начинает резко расти.



Заключение

Разработана имитационная модель климат-контроля для «умной» фермы с целью как проектирования новых, так тестирования существующих аппаратно-программных комплексов для «умных» ферм.

Представленные результаты позволяют говорить о согласованности работы основных модулей системы, архитектура которых в совокупности и представляет имитационную модель для управления «умными» теплицами с использованием коммерчески доступных в настоящее время аппаратных и программных комплексов. К ее достоинствам также следует отнести легкость масштабирования.

Таким образом, данная модель позволила сделать следующие выводы относительно работы теплицы с представленными выше параметрами:

- система отопления недостаточно производительна для теплицы с ее текущими параметрами;
- для снижения частоты переключения состояния системы отопления необходимо ввести допустимое отклонение от оптимальной температуры;
- при данном наборе физических характеристик комплекса поверхность недостаточно изолирует теплицу от внешней среды. Другими словами, имеет смысл выбрать покрытие с более высокими теплоизолирующими свойствами (в модели этот параметр отражается в коэффициенте теплопроводности).

Модель требует дальнейшего расширения архитектуры: планируется введение дополнительных систем, входящих в «умную» теплицу, и осуществление перехода к непрерывному времени (или повышению дискретизация времени), будут добавлены возможности работы в реальном времени и получения данных о состоянии окружающей среды и теплицы из внешних источников.

Список литературы

1. Трофимова Т.И. Курс физики : учеб. пособие для вузов. М., 2004.
2. Трофимова Т.И. Физика в таблицах и формулах. М., 2002.
3. Man K.L., Wan K., Krilaviius T. A Practical Student's Guide: Programming in Java and MATLAB. М., 2011.
4. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М., 2007.
5. iFarm Project. Технологии для выращивания натуральных овощей, ягод и зелени : [сайт]. URL: <http://www.ifarmproject.ru> (дата обращения: 10.03.2019).
6. System Design, Modeling, and Simulation Using Ptolemy II / ed. by C. Ptolemaeus. Ptolemy.org, 2014.
7. Eshkavilov S.L. MATLAB & Simulink Essentials: MATLAB & Simulink for Engineering Problem Solving and Numerical Analysis. Lulu Publishing, 2017.
8. Tyagi A.K. MATLAB and Simulink for Engineers. Oxford University Press, 2012.
9. Klee H., Allen R. Simulation of Dynamic Systems with MATLAB and Simulink. CRC Press, 2018.



10. *Giordano A. A., Levesque A. Modeling of Digital Communication Systems Using Simulink.* John Wiley & Sons, 2015.

11. *Jain S., Kapshe S. Modeling and Simulation Using MATLAB – Simulink.* John Wiley & Sons, 2016.

Об авторах

Андрей Сергеевич Ревенко — канд. физ.-мат. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: andy.revenko@gmail.com

Артём Владимирович Федянин — магистрант, Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: fhn93@inbox.ru

Андрей Александрович Горбачев — канд. техн. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: AlGorbachev@kantiana.ru

The authors

Dr Andrey S. Revenko, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: andy.revenko@gmail.com

Artem V. Fedyanin, Master's Student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: fhn93@inbox.ru

Dr Andrey A. Gorbachev, Associate Professor, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: AlGorbachev@kantiana.ru