

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ

С. В. Фролов, Т. А. Фролова✉, В. О. Лычагина, Д. Е. Судаков

*Кафедра «Биомедицинская техника», frolova2000@gmail.com;
ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия*

Ключевые слова: аппроксимация; биотехническая система; динамические режимы; микроклиматические параметры; моделирование; позиционная система управления; программное управление.

Аннотация: Представлена система управления биотехнической системой для выращивания растений. Управление осуществляется на основе сложнопозиционной системы с отрицательной обратной связью и прямым программным управлением. Проанализированы динамические режимы работы биотехнической системы для выращивания растений (БТС-Р). Получены передаточные функции объекта и дано описание схемы сложнопозиционного регулирования микроклиматическими параметрами в БТС-Р. Проведено имитационное моделирование процесса управления в среде MATLAB Simulink с последующим анализом результатов.

Введение

Биотехнические системы (БТС) – особый класс технических систем, представляющих собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления. Контур управления определяет и описывает границы регулирования работы объекта управления [1].

В работе [2] представлена новая группа БТС, отличающаяся по характеру целевой функции – биотехническая система для выращивания растений (БТС-Р). Изделие БТС-Р рассмотрено как инновационное устройство, которое объединяет в себе элементы автоматизации и методы оптимизации процесса выращивания растений. Система БТС-Р оснащена современной системой управления, которая контролирует и регулирует влажность, температуру, освещение и другие параметры, необходимые для роста и развития растений.

Управление разработанной БТС-Р основано на принципах отрицательной обратной связи и прямого управления.

Анализ существующих технических решений по управлению БТС-Р

Микроклиматическая среда в теплицах и тепличных комплексах – сложная динамическая система. К примеру, изменения температуры происходят быстро и варьируются в широких пределах в зависимости от температуры наружного воздуха и влажности, скорости и направления циркуляции воздуха, количества растительного материала в теплице, режима полива и др. Поэтому система управления должна в полной мере управлять микроклиматическими параметрами в теплицах.

Известен ряд подходов по реализации систем управления теплицами для выращивания растений. В работе [3] показана эффективность разработки автоматизированной системы управления в теплицах с прогнозированием возмущений. В исследовании [4] ученые представили надежную систему RL (обучение с подкреплением) для автономного управления теплицами, которая отвечает требованиям эффективности и безопасности отбора. Авторами [5] разработана система мониторинга влажности в теплице с применением искусственных нейронных сетей. Китайские ученые предложили интеллектуальную систему управления сельскохозяйственными теплицами на основе IoT (*англ.* Internet of Things (интернет вещей)) [6]. Техническим решением стала работа ученых из Ирана [7], которые спроектировали гидропонную теплицу с системой нечеткого управления. Авторы [8] разработали трехуровневое иерархическое управление, которое предназначено для обеспечения наилучшего синергетического эффекта при условии соблюдения требуемых климатических условий в теплице. Исследование [9] направлено на интеграцию IoT и солнечной энергии для мониторинга и управления теплицами. Использование фотоэлектрических модулей в данной системе позволяет повысить уровень самообеспечения и снизить производственные затраты. В работе [10] показан новый подход CEP (*англ.* Complex Event Processing) к управлению, учитывающий уникальные характеристики теплиц. Предлагаемый метод потенциально может повысить точность и эффективность распознавания событий в теплицах. В статье [11] представлен проект комплексной системы управления для интеллектуальной теплицы на базе микроконтроллеров Mitsubishi. Система разработана с учетом конкретных требований к росту растений и состоит из двух основных компонентов: аппаратного и программного обеспечения. Авторы [12] предложили неклассический подход к управлению тепличным хозяйством на основе биоинспирированного алгоритма. В исследовании рассмотрено ПИД-управление и нечеткая логика в сочетании с биомиметической системой управления. Для решения проблем управления в работе [13] представлена стратегия поддержки принятия решений, позволяющая в режиме онлайн генерировать задающие воздействия для управления парниковым климатом. Данный подход использует многоцелевую оптимизацию в режиме реального времени для максимизации урожайности и минимизации энергопотребления, что приводит к оптимальным среднесуточным температурам на каждый день.

Структура системы управления в БТС-Р

Разработанное изделие БТС-Р представляет собой каркасную конструкцию, оснащенную датчиками и исполнительными устройствами, соединенными с контроллером [2]. Биотехническая система собрана на основе электронного конструктора Arduino. Для контроля за микроклиматическими параметрами используется пять различных датчиков: температуры почвы; влажности почвы, часы реального времени, температуры и влажности воздуха, уровня жидкости в емкости для полива. Для воздействия на микроклиматические параметры применяется несколько систем: лазерной досветки, искусственного освещения, проветривания, отопления и капельного полива.

Для управления параметрами микроклимата в БТС-Р используется метод позиционного регулирования и прямого управления. Структура системы управления представлена на рис. 1.

К входным параметрам БТС-Р относятся: $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ – параметры, управляющие соответственно нагревательным элементом, работой систем проветривания и капельного полива; $x_4(t)$, $x_5(t)$, $x_6(t)$ – параметры, обеспечивающие

соответственно интенсивность освещенности, спектральный состав света, работу системы лазерной досветки.

Параметры $x_1(t) - x_4(t)$ являются логическими переменными, принимающими значения 1, 0, что соответствует включению или выключению исполнительного элемента, например, нагревателя. Параметр $x_5(t)$ – четырехзначная логическая переменная, принимающая значения 0, 1, 2, 3, каждое из которых соответствует определенному спектру света, а именно длине волны. При $x_5(t) = 0$ светодиодная лента выключена; при $x_5(t) = 1$ – лента излучает красный свет ($\lambda \sim 650$ нм); при $x_5(t) = 2$ – лента излучает свет в комбинации синего, зеленого и красного в соотношении 3 : 2 : 5 ($\lambda \sim 570$ нм); при $x_5(t) = 3$ – лента излучает свет в комбинации синего, красного и фиолетового в соотношении 2 : 5 : 3 ($\lambda \sim 540$ нм).

К выходным параметрам БТС-Р относятся: $y_1(t)$ – температура воздушного пространства, °С; $y_2(t)$ – относительная влажность воздуха, %; $y_3(t)$ – влажность почвы, усл. ед. изм. К возмущающим воздействиям БТС-Р относятся: z_1 – температура окружающей среды (внешняя температура); z_2 – влажность окружающей среды; z_3 – метаболизм растений.

Температура и влажность воздуха, а также влажность почвы управляются с помощью позиционного регулятора с отрицательной обратной связью (ПР1, ПР2, ПР3), а интенсивность освещенности, спектр света и лазерная досветка – прямым программным управлением (ПрУ1, ПрУ2, ПрУ3).

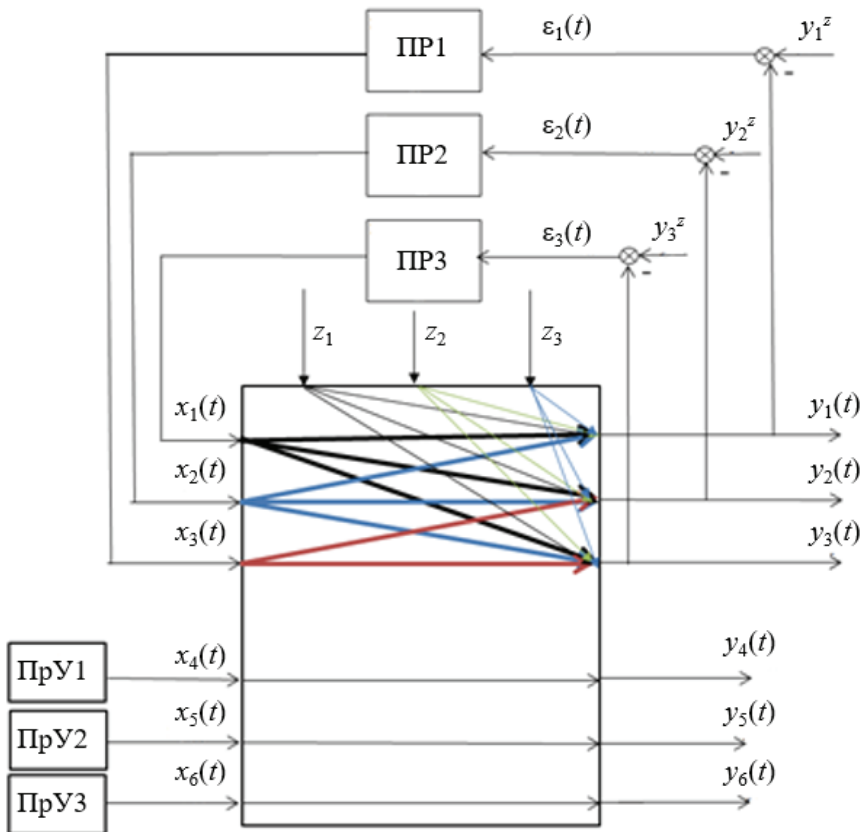


Рис. 1. Структурная схема системы управления в БТС-Р

Получение экспериментальных динамических характеристик БТС-Р

Процесс идентификации объекта состоит из четырех основных этапов: планирования и подготовки эксперимента; его проведения; обработки результатов эксперимента, которая заключается в сглаживании полученной переходной характеристики и ее аппроксимации, формировании придаточной функции, и проверки адекватности полученной модели реальному объекту [14].

Цель идентификации – получение математического описания объекта в виде его передаточной функции на основе эксперимента.

Для проведения успешного эксперимента в БТС-Р проведена определенная подготовка, а именно определение входных, выходных параметров и неконтролируемых возмущающих воздействий и их зависимости друг от друга, а также разработан дополнительный режим работы БТС-Р, в котором испытатель может вручную изменить каждый микроклиматический параметр.

Суть эксперимента заключается в получении переходных характеристик по каналам: « $x_1(t) - y_1(t)$ », « $x_1(t) - y_2(t)$ », « $x_1(t) - y_3(t)$ », « $x_2(t) - y_1(t)$ », « $x_2(t) - y_2(t)$ », « $x_2(t) - y_3(t)$ », « $x_3(t) - y_2(t)$ », « $x_3(t) - y_3(t)$ ».

Единичными ступенчатыми воздействиями являлись включения нагревательного элемента $x_1(t) = 1$, актуатора (работа системы проветривания) $x_2(t) = 1$, системы полива (подача воды) $x_3(t) = 1$.

В диапазоне изменения значений входных и выходных параметров при проведении эксперимента принималось допущение о том, что исследуемая динамическая система является линейной и подчиняется принципу суперпозиции.

Эксперимент проводился при внешней температуре воздуха 24 °С и влажности воздуха 36 %.

Следующий этап – обработка результатов эксперимента, которая заключается в сглаживании полученной переходной характеристики и получении на ее основе переходной функции. Для этого выбрана методика аппроксимации [14]. Модель объекта может быть представлена в виде

$$W_{об}(S) = \frac{K_{об} e^{-\tau_y S}}{T_{эк} S + 1} . \quad (1)$$

где $T_{эк}$ – эквивалентное время.

Рассмотрим аппроксимацию переходной функции на примере графика изменения влажности почвы от времени проветривания. На вход подавалось скачкообразное воздействие величиной $\Delta x_1 = 1$ (включение системы проветривания), на выходе была снята кривая разгона переходной функции $y(t)$.

На рисунке 2 показана аппроксимация кривой разгона, которая представляет собой апериодическое звено 1-го порядка с запаздыванием [14]. Первый шаг – определение коэффициента усиления объекта $K_{об}$ по формуле

$$K_{об} = \frac{\Delta y}{\Delta x} . \quad (2)$$

По графику определен прямолинейный участок кривой разгона $[a; b]$, его середина c . Также из графика можно выделить время запаздывания, время до выхода кривой на насыщение, эквивалентное время.

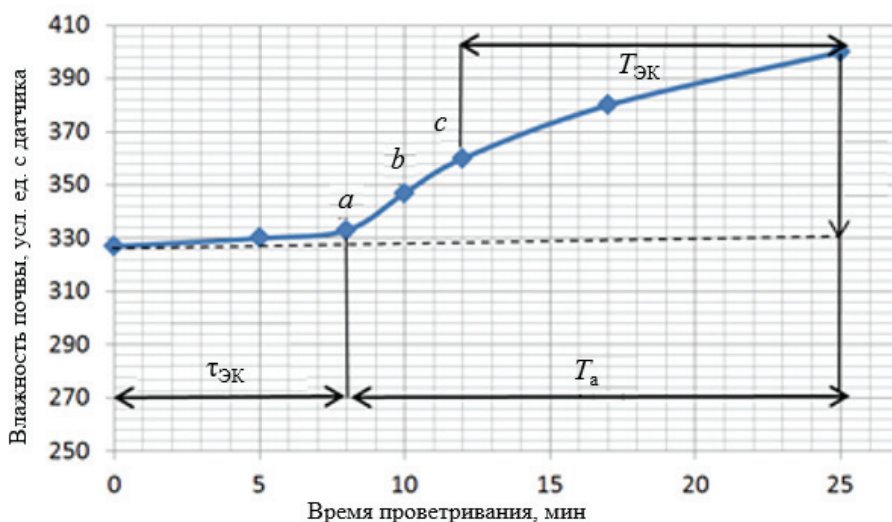


Рис. 2. Определение экспресс-методом коэффициентов расчетной модели объекта

Для получения модели объекта необходимо также найти большую T_6 и малую T_M постоянные времени и условное запаздывание τ_y :

$$\begin{aligned} T_M &= 0,105 T_a ; \\ T_6 &= T_{эк} - T_M ; \\ \tau_y &= \tau_{об} - T_M , \end{aligned} \quad (3)$$

где T_a – определяется из рис. 2.

Рассматриваемый график является звеном 1-го порядка с запаздыванием, соответственно $\tau_y > 0$, тогда коэффициенты T_1 и T_2 определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} T_1 &= T_{эк} ; \\ T_2 &= \tau_y . \end{aligned} \quad (4)$$

Определив коэффициенты, можем записать передаточную функцию

$$W_{об}(S) = \frac{K_{об} e^{-\tau_y S}}{(T_1 S + 1)(T_2 S + 1)} . \quad (5)$$

Переходную функцию, соответствующую передаточной, запишем в следующем виде:

$$h(t) = K_{об} \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right) \Delta x . \quad (6)$$

С использованием представленной методики по экспериментальным данным получены переходные характеристики с использованием среды MATLAB (рис. 3).

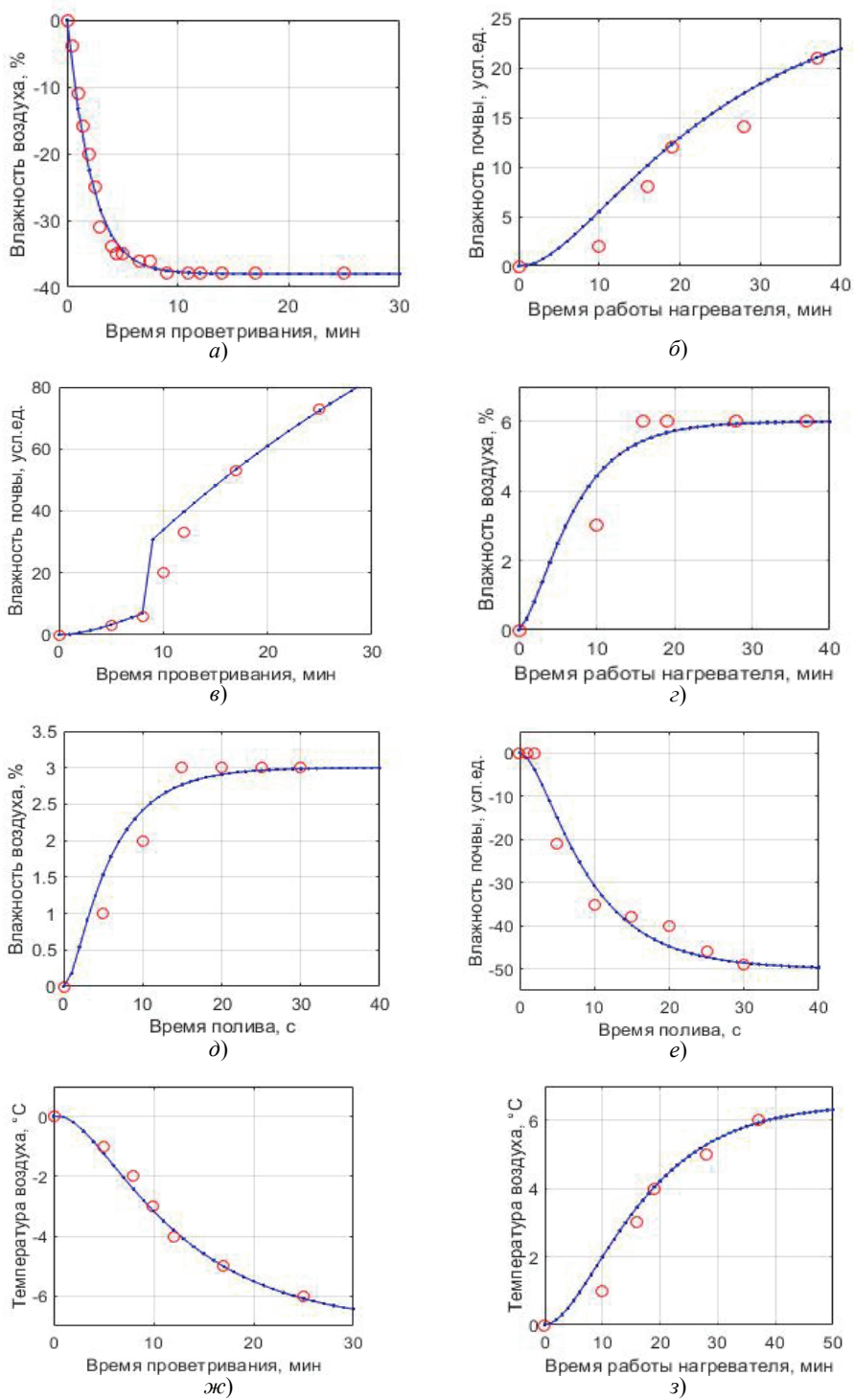


Рис. 3. Переходные характеристики по каналам:

a – $\langle \alpha_2(t) - y_2(t) \rangle$; *б* – $\langle \alpha_1(t) - y_3(t) \rangle$; *в* – $\langle \alpha_2(t) - y_3(t) \rangle$; *г* – $\langle \alpha_1(t) - y_2(t) \rangle$; *д* – $\langle \alpha_3(t) - y_2(t) \rangle$;
е – $\langle \alpha_3(t) - y_3(t) \rangle$; *ж* – $\langle \alpha_2(t) - y_1(t) \rangle$; *з* – $\langle \alpha_1(t) - y_1(t) \rangle$

Исследование разработанной системы управления в БТС-Р

Большое распространение для управления техническими средствами в биологии и медицине получили системы позиционного регулирования. В позиционных системах регулятор устанавливает регулирующее воздействие в одну или несколько фиксированных позиций: или сигнал управления имеет значение 1, или 0. Согласно количеству позиций регулятора, выделяют двухпозиционные, трехпозиционные и многопозиционные системы [15 – 17].

Управление микроклиматическими параметрами в БТС-Р осуществляется сложнопозиционной системой с тремя контурами. Внутри контура регулирование осуществляется через переключатель, имеющий только два значения: 0 – выключено, 1 – включено.

На рисунке 4 представлен многосвязный объект управления, соответствующий исследуемой БТС-Р. Передаточные функции W_{ji} получены из переходных характеристик (см. рис. 3) на основе использованной методики аппроксимации (2) – (6) и данных таблицы 1.

Имитационное моделирование процесса регулирования сложнопозиционной системы, выполненное в программной среде MATLAB Simulink, позволило создать модель БТС-Р и проанализировать ее поведение, а также сравнить модель с реальной работой системы. С помощью моделирования проанализировано взаимодействие влияния нагрева воздушных масс в комплексе с системами проветривания и капельного полива в БТС-Р.

В результате определены переходные процессы для каждого контура.

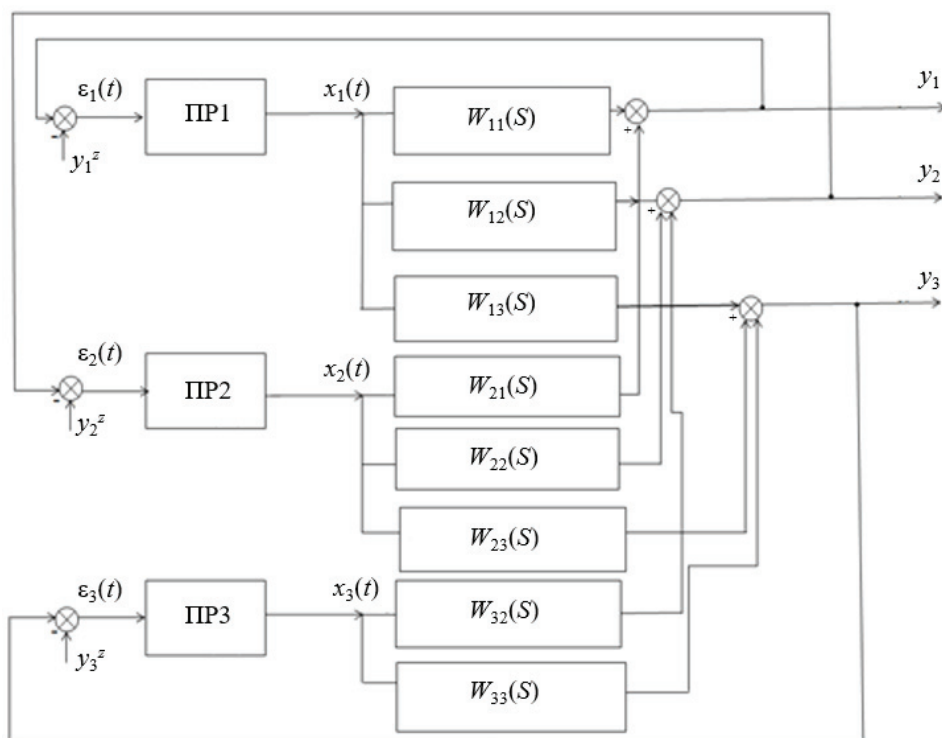


Рис. 4. Структурная схема сложнопозиционной системы управления:

ε – ошибка регулирования; y_3 – задание;

x – регулирующее воздействие; y – выходной параметр; Δ – зона возврата реле

Таблица 1

Передаточные функции W_{ji}

Индекс	Формула
11	$W_{11}(S) = \frac{-6e^{-7,1653}}{(11S - 1)(7,165S - 1)}$
12	$W_{12}(S) = \frac{6}{(3,635S - 1)(1,365S - 1)}$
13	$W_{13}(S) = \frac{21e^{-7,1653}}{(25S - 1)(7,165S - 1)}$
21	$W_{21}(S) = \frac{6}{(5,215S - 1)(1,785S - 1)}$
22	$W_{22}(S) = \frac{-38}{(5,555S - 1)(0,945S - 1)}$
23	$W_{23}(S) = \frac{60e^{-6,2155}}{(11S - 1)(7,165S - 1)}$
32	$W_{32}(S) = \frac{3}{(8,425S - 1)(1,575S - 1)}$
33	$W_{33}(S) = \frac{-49e^{0,4153}}{(7,585S - 1)(2,415S - 1)}$

Заключение

Анализ результатов исследования динамических режимов БТС-Р показал корректную работу сложнопозиционной системы регулирования. Системой БТС-Р удается поддерживать заданные температуру воздуха, влажность воздуха, влажность почвы при условии взаимодействия входных и выходных параметров, что позволяет обеспечить быстрое и точное управление микроклиматическими параметрами. Успешная непрерывная эксплуатация разработанной БТС-Р в течение более шести месяцев подтвердила правильность предложенных технических решений и эффективность сложнопозиционной системы управления.

Исследование выполнено в рамках гранта на организацию акселерационных программ поддержки проектных команд и студенческих инициатив для формирования инновационных продуктов в рамках реализации федерального проекта «Платформы университетского технологического предпринимательства» государственной программы РФ «Научно-технологическое развитие РФ».

Список литературы

1. Биотехнические системы. Теория и проектирование : учеб. пособие / В. М. Ахутин, А. П. Немирко, Н. Н. Першин [и др.]. – Липецк : ЛГУ, 1981. – 220 с.

2. Биотехническая система для выращивания растений / С. В. Фролов, Т. А. Фролова, В. О. Лычагина [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 85 – 94. doi: 10.17277/vestnik.2024.01.pp.085-094
3. Dudnyk, A. Automated Control System in Greenhouse With Neural Network Predictions of External Disturbances / A. Dudnyk // Energy and Automation. – 2015. – No. 1(23). – P. 37 – 44.
5. Leekul, P. Development of humidity monitoring system in greenhouse with electromagnetic X band and artificial neural networks / P. Leekul, P. Wongsiritorn, P. Chaisaeng // Progress in Electromagnetics Research M. – 2021. – No. 100. – P. 93 – 103. doi: 10.2528/PIERM20112202
6. Design of an Intelligent Management System for Agricultural Greenhouses Based on the Internet of Things / Z. Li, J. Wang, R. Higgs, L. Zhou, W. Yuan // IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC). – Guangzhou, China, 2017. – P. 154 – 160. doi: 10.1109/CSE-EUC.2017.212
7. Extraction of FAO Growth Model in a Fuzzy Control Hydroponic Greenhouse / A. Banakar, H. Khafajeh, S. Minaei, M. Delavar // ICROPM 2020: Second International Crop Modelling Symposium. – Montpellier, France, 2020. URL: <https://inria.hal.science/hal-02950327/document> (дата обращения: 25.01.2025).
8. Multi-flow Optimization of a Greenhouse System: A Hierarchical Control Approach / P. C. Bland, P. A. Haurant, P. Chevrel, F. Claveau, A. Mouraud // Applied Energy. – 2023. – Vol. 351. – P. 121840. doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121840
9. Hattarak1, S. A Solar-Powered IoT System to Monitor and Control Greenhouses-SPISMCG / S. Hattarak1, N. C. Jayashree // In book: Computational Intelligence for Engineering and Management Applications. – 2023. – P. 457 – 471. doi: 10.1007/978-981-19-8493-8_35
10. Jia, Y. Complex Event Processing Methods for Greenhouse Control / Y. Jia, X. Li // Agriculture. – 2021. – Vol. 11, No. 9. – P. 811. doi: 10.3390/agriculture11090811
11. Huang, M. Design of Intelligent Greenhouse Control System based on MCGS and PLC / M. Huang // Journal of Physics: Conference Series. – 2023. – Vol. 2510, No. 1. – P. 012022. doi: 10.1088/1742-6596/2510/1/012022
12. Revathi, S. Enhancement in Smart Operation of Greenhouse Environment Using Intelligent Biomimetic Control Framework / S. Revathi, N. Sivakumaran, T. K. Hadhkrishnan // SN COMPUT. SCI. – 2024. – Vol. 5, No. 287. doi: 10.1007/s42979-024-02611-z
13. Su, Y. Setpoint Decision Support Strategy and Adaptive Hybrid Control of Greenhouse Climate: A Simulation Study / Y. Su, L. Xu // International Journal of Control Automation and Systems. – 2022. – Vol. 20, No. 1. doi: 10.1007/s12555-021-0638-3
14. Матвейкин, В. Г. Автоматизация технологических процессов и производств : лабор. работы / В. Г. Матвейкин, С. В. Фролов, А. В. Лагутин. – Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 1995. – 48 с.
15. Клюев, А. С. Проектирование систем автоматизации технологических процессов : справ. пособие / А. С. Клюев, Б. В. Глазов, А. Х. Дубровский. – 2-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
16. Первозванский, А. А. Курс теории автоматического управления : учеб. пособие / А. А. Первозванский. – СПб. : Лань, 2015. – 624 с.
17. Использование эффективных систем позиционного регулирования для задач медицинской техники / С. В. Фролов, К. С. Савинова, А. Ю. Куликов, И. А. Суконкин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2022. – № 2(42). – С. 50 – 62. doi: 10.21685/2227-8486-2022-2-4

Research on Dynamic Modes of Biotechnical System for Growing Plants

S. V. Frolov, T. A. Frolova✉, V. O. Lychagina, D. E. Sudakov

*Department of Biomedical Technology, bmt@tstu.ru;
TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: approximation; biotechnical system; dynamic modes; microclimatic parameters; modeling; positional control system; program control.

Abstract: A control system for a biotechnical system for growing plants is presented. The control is carried out on the basis of a complex positional system with negative feedback and direct program control. The analysis of dynamic modes of operation of a biotechnical system for growing plants (BTS-R) is carried out. The transfer functions of the object are obtained and the scheme of complex regulation of microclimatic parameters in BTS-R is described. A simulation of the control process in the MATLAB Simulink environment was carried out, followed by an analysis of the results.

References

1. Akhutin V.M., Nemirko A.P., Pershin N.N. [et al.] *Biotehnicheskiye sistemy. Teoriya i proyektirovaniye: uchebnoe posobiye* [Biotechnical Systems. Theory and Design], Lipetsk: Leningrad State University, 1981, 220 p. (In Russ.)
2. Frolov S.V., Frolova T.A., Lychagina V.O. [et al.] [Biotechnical system for growing plants], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2024, vol. 30, no. 1, pp. 85-94. doi: 10.17277/vestnik.2024.01.pp.085-094 (In Russ., abstract in Eng.)
3. Dudnyk A. Automated Control System in Greenhouse With Neural Network Predictions of External Disturbances, *Energy and Automation*, 2015, no. 1(23), pp. 37-44.
5. Leekul P., Wongsiritor P., Chaisaeng P. Development of humidity monitoring system in greenhouse with electromagnetic X band and artificial neural networks, *Progress in Electromagnetics Research M.*, 2021, no. 100, pp. 93-103. doi: 10.2528/PIERM20112202
6. Li Z., Wang J., Higgs R., Zhou L., Yuan W. Design of an Intelligent Management System for Agricultural Greenhouses Based on the Internet of Things, *IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)*, Guangzhou, China, 2017, pp. 154-160. doi: 10.1109/CSE-EUC.2017.212
7. Banakar A., Khafajeh H., Minaei S., Delavar M. Extraction of FAO Growth Model in a Fuzzy Control Hydroponic Greenhouse, *ICROPM 2020: Second International Crop Modelling Symposium*, Montpellier, France, 2020, available at: <https://inria.hal.science/hal-02950327/document> (accessed 25 January 2025).
8. Blaud P.C., Haurant P.A., Chevrel P., Claveau F., Mouraud A. Multi-flow Optimization of a Greenhouse System: A Hierarchical Control Approach, *Applied Energy*, 2023, vol. 351, pp. 121840. doi: 10.1016/j.apenergy.2023.121840
9. Hattarakl S., Jayashree N.C. A Solar-Powered IoT System to Monitor and Control Greenhouses-SPISMCG, In book: *Computational Intelligence for Engineering and Management Applications*, 2023, pp. 457-471. doi: 10.1007/978-981-19-8493-8_35
10. Jia Y., Li X. Complex Event Processing Methods for Greenhouse Control, *Agriculture*, 2021, vol. 11, no. 9, pp. 811. doi: 10.3390/agriculture11090811
11. Huang M. Design of Intelligent Greenhouse Control System based on MCGS and PLC, *Journal of Physics: Conference Series*, 2023, vol. 2510, no. 1, pp. 012022. doi: 10.1088/1742-6596/2510/1/012022

12. Revathi S., Sivakumaran N., Hadhakrishnan T.K. Enhancement in Smart Operation of Greenhouse Environment Using Intelligent Biomimetic Control Framework, *SN COMPUT. SCI*, 2024, vol. 5, no. 287. doi: 10.1007/s42979-024-02611-z

13. Su Y., Xu L. Setpoint Decision Support Strategy and Adaptive Hybrid Control of Greenhouse Climate: A Simulation Study, *International Journal of Control Automation and Systems*, 2022, vol. 20, no. 1. doi: 10.1007/s12555-021-0638-3

14. Matveikin V.G., Frolov S.V., Lagutin A.V. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv: labor. raboty* [Automation of technological processes and production: laboratory work], Tambov: Tambov State Tech. University, 1995, 48 p. (In Russ.)

15. Klyuev A.S., Glazov B.V., Dubrovsky A.Kh. *Proyektirovaniye sistem avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov: sprav. posobiye* [Design of process automation systems: a reference guide], Moscow: Energoatomizdat, 1990, 464 p. (In Russ.)

16. Pervozvansky A.A. *Kurs teorii avtomaticheskogo upravleniya: uchebnoe posobiye* [Course of automatic control theory: textbook], St. Petersburg: Lan, 2015, 624 p. (In Russ.)

17. Frolov S.V., Savinova K.S., Kulikov A.Yu., Sukonkin I.A. [The use of effective positional control systems for medical technology tasks], *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* [Models, systems, networks in economics, technology, nature and society], 2022, no. 2(42), pp. 50-62. doi: 10.21685/2227-8486-2022-2-4 (In Russ., abstract in Eng.)

Untersuchung der dynamischen Modi des biotechnischen Systems für den Pflanzenanbau

Zusammenfassung: Es ist ein Steuerungssystem für das biotechnische System zur Pflanzenzucht vorgestellt. Die Steuerung basiert auf einem komplexen Positionssystem mit negativer Rückkopplung und direkter Programmsteuerung. Die dynamischen Betriebsarten des biotechnischen Systems für den Pflanzenanbau (BTS-R) sind analysiert. Die Übertragungsfunktionen des Objekts sind ermittelt und das Schema der komplexen Lageregelung der mikroklimatischen Parameter im BTS-R ist beschrieben. Es ist eine Simulationsmodellierung des Steuerungsprozesses in der MATLAB Simulink-Umgebung mit anschließender Analyse der Ergebnisse durchgeführt.

Étude des modes dynamiques du système biotechnologique pour la croissance des plantes

Résumé: Est présenté le système de la gestion de la biotechnologie pour la culture de plantes. Le contrôle est effectué à la base d'un système de positionnement complexe avec une rétroaction négative et un contrôle de programme direct. Sont analysés les modes de fonctionnement dynamiques du système biotechnologique pour la culture de plantes (bssr). Sont obtenues les fonctions de transfert de l'objet; est décrit un schéma de régulation de position complexe avec des paramètres microclimatiques dans BTS-R. Est réalisée une simulation du processus de contrôle dans l'environnement MATLAB Simulink, suivie d'une analyse des résultats.

Авторы: *Фролов Сергей Владимирович* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Биомедицинская техника»; *Фролова Татьяна Анатольевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Биомедицинская техника», *Лычагина Виолетта Олеговна* – студент, *Судаков Дмитрий Евгеньевич* – ассистент кафедры «Биомедицинская техника», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.