

УДК 681.5:631.544.45

**ВИБІР СТРУКТУРИ ТА РОЗРОБКА МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
МІКРОКЛІМАТОМ ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТЕПЛИЦІ В КЛАСІ
БІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

В. М. Решетюк, кандидат технічних наук

В. О. Мірошник, кандидат технічних наук

Т. І. Лендел, кандидат технічних наук

*Б. В. Куляк, аспірант**

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: kul10@i.ua

Анотація. *Описано процедуру вибору моделі для системи керування мікрокліматом теплиці. Розглянуто різноманітні модельні структури і проаналізовано їхні переваги та недоліки. У результаті вибрано оптимальну модель, яка враховує інформацію про стан біологічного об'єкту (рослини).*

Метою дослідження є ідентифікація параметрів теплиці при розгляді її в класі біотехнічних систем, необхідних для вибору модельної структури та розробки моделі системи керування мікрокліматом із врахуванням інформації від підсистеми фітомоніторингу.

У результаті дослідження було проведено ідентифікацію параметрів теплиці як біотехнічного об'єкта управління. Це дало змогу описати основні задачі, які виникають при управлінні таким складним об'єктом. Запропоновано МІМО-модель для біотехнічної системи, яка в повній мірі задовольняє функціональні вимоги системи управління мікрокліматом. Визначено модельну структуру (ARX), перевагою якої є найбільш точне подання реального стану технологічних процесів. Вибрано алгоритм управління (PID) системою автоматизації споруд закритого ґрунту, який може працювати в межах вище запропонованих структур. Розроблена МІМО-модель управління мікрокліматом у виробничому приміщенні теплиці. Така модель дає можливість управляти параметрами мікроклімату в теплиці, враховуючи інформацію про стан рослини.

Ключові слова: *теплиця, біотехнічна система, мікроклімат, МІМО-модель, система керування, біологічний об'єкт*

Актуальність. *Останнім часом підвищується технологічний і технічний рівень споруд закритого ґрунту. Проте теперішній рівень енерговитрат.*

необхідних для вирощування продукції у теплицях, що склався в агрокомплексі України, суттєво перевищує показники виробництва у розвинутих країнах світу.

Вирішення цієї проблеми полягає у виконанні двох завдань: зниження енергетичних витрат і підвищення продуктивності рослин.

У зв'язку з високою вартістю енергоресурсів важливе значення має розробка нових комплексних рішень, таких як проектування ефективних систем автоматизації, впровадження нових алгоритмів прийняття рішень, розробка спеціальних моделей для формування оптимальних стратегій керування та інші рішення, які дозволять значно зменшити витрати енергії на вирощування продукції в спорудах закритого ґрунту [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Інтенсифікація виробництва, широке застосування комп'ютерних технологій, створення інтегрованих систем об'єктивно призводить до виділення нового класу об'єктів організаційно-технічних процесів або систем. Організаційно-технологічною (технетичною) системою (ОТС) будемо вважати підмножину (або клас) організаційно-технічних систем, які відрізняються тим, що технологічний процес має ймовірнісний характер, а послідовність технологічних операцій і технологічних режимів для кожної технологічної і транспортної операцій визначається за результатами виконання попередньої (або декількох попередніх) операцій і не може бути точно визначений до її завершення, причому технологічні правила і приписи на вхід-вихідні значення контрольованих параметрів задаються у вигляді діапазонних обмежень [7].

Біотехнічна система (БТС) є підкласом ОТС і вважається одним з конкретних прикладів типового для наших днів практичного результату процесу інтеграції наук. Визначення цього терміну було сформульовано і прийнято першою міжнародною конференцією з біоніки у Варні (Болгарія) у вересні 1975 р. Воно найповніше відображає суть: така система є сукупністю біологічного і технічного об'єктів, об'єднаних в єдину функціональну систему

цілеспрямованої поведінки. Переваги біотехнічних систем перед технічними та біологічними системами полягають у поєднанні позитивних якостей цих систем при взаємній компенсації їх недоліків. Основною властивістю БТС є її суперадаптивність, обумовлена наявністю двох контурів адаптації – зовнішнього і внутрішнього. Зовнішній контур забезпечує БТС можливість виконувати свою цільову функцію в умовах змінних впливів зовнішніх факторів (наприклад, стохастичних умов навколишнього середовища, зміни розташування взаємодіючих з системою динамічних об'єктів і т. п.), внутрішній контур (або багато контурів) дозволяє елементам БТС взаємно адаптуватися до зміни стану один одного, викликаного впливом зовнішніх і внутрішніх факторів. Таким чином, у БТС наявність біологічних ланок дозволяє надати загальним властивостям системи особливу пластичність, поліпшити адаптивні характеристики для зовнішнього контуру адаптації. У той же час якість внутрішньої адаптації істотно залежить від можливості технічних елементів системи стежити за зміною стану біологічних її ланок і, обмінюючись інформацією з біоелементом, відповідно змінювати свої характеристики [2].

За характером основної цільової функції біотехнічні системи можна розділити на три групи [1]:

- 1) біотехнічні системи медичного призначення;
- 2) біотехнічні системи ергатичного типу;
- 3) біотехнічні системи цілеспрямованого управління поведінкою цілісного організму.

Споруди закритого ґрунту відносяться до БТС ергатичного типу.

У поняття біотехнічної системи, стосовно технологічних процесів для створення оптимальних умов вирощування рослин в спорудах закритого ґрунту, входять:

- технічні засоби, за допомогою яких змінюються параметри мікроклімату в теплиці;

- різні конструкції (стелажі), що задають просторове розміщення робочої поверхні;
- особливості біологічного об'єкта (культура, сорт (гібрид), вегетаційна фаза).

Мета дослідження – ідентифікація теплиці в класі біотехнічних систем з метою визначення параметрів, необхідних для вибору модельної структури та розробки моделі системи керування мікрокліматом із врахуванням інформації від підсистеми фітомоніторингу.

Результати досліджень. БТС для вирощування овочевої продукції у повній комплектації є складною системою, що складається з таких елементів: підсистема факторів мікроклімату; підсистема факторів зовнішнього середовища, підсистема чинників економічної ефективності, підсистема управління, підсистема обмежень ресурсів, підсистема прогнозування [4], а також запропонована нами підсистема фітомоніторингу [3, 6].

Кожна із наведених підсистем є важливою складовою БТС теплиці, ідентифікація якої дасть повніше уявлення про всі процеси, які проходять в системі, і можливість ефективного керування ними. Додатковою складовою є підсистема фітомоніторингу, завданням якої є спостереження за біологічним об'єктом.

Біологічний об'єкт (БО) – є відкритою системою, в якій відбуваються процеси самоорганізації та саморегуляції та має місце взаємодія цих систем. При ідентифікації теплиці як БТС БО є рослина. Життєдіяльність кожної системи у БО не є однаковою протягом її існування. У БО постійно експлуатується інстинктивно адаптивна поведінка як реакція на вплив абіотичних факторів.

Отже, перевагою БТС теплиці із застосуванням додаткової підсистеми фітомоніторингу є простеження і врахування реакції рослин на зміну зовнішнього середовища.

Основними задачами, що виникають при управлінні такою складною системою, є такі [7]:

- ідентифікація найбільш ефективних керуючих факторів, їх співвідношення у загальній задачі управління;
- ідентифікація координат системи, часу, величини, форми і знаку для формування управляючих дій;
- ідентифікація сприятливих (несприятливих) керуючих факторів;
- ідентифікація методів і способів реконфігурації системи з метою її адаптації до нових умов функціонування.

Враховуючи велику кількість підсистем та управлінських завдань, що наводяться в теплиці, таку БТС можна представити у вигляді блок-схеми та графа, які відображають її структуру як сукупність виявлених елементів (підсистем) і їх взаємозв'язків (рис. 1).

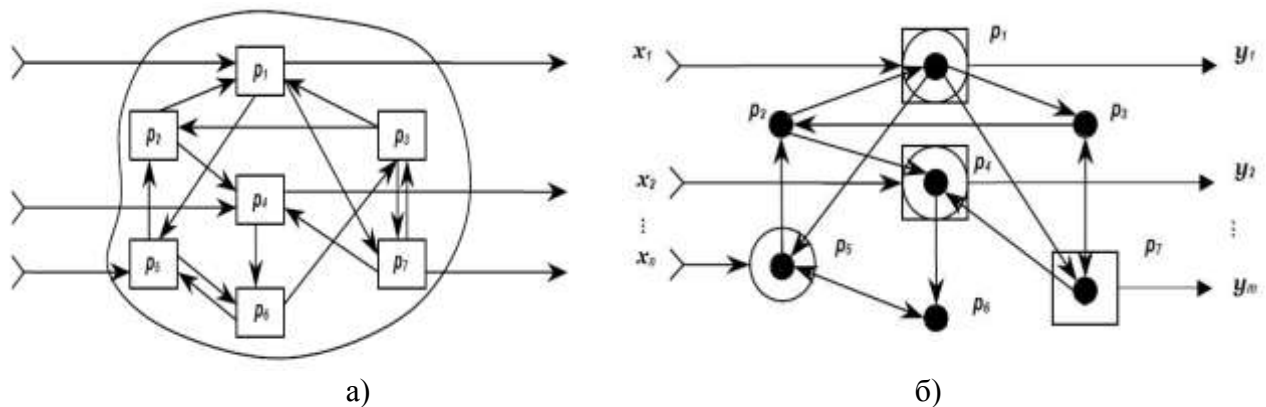


Рис. 1. Зображення структури системи у вигляді блок-схеми (а) і графа (б):

«●» – елементи системи, які мають внутрішні зв'язки; «○» – елементи системи, які мають зовнішні входи; «□» – елементи системи, які мають зовнішні виходи; x_1, x_2, \dots, x_n – вхідні сигнали; $p_1 \dots p_7$ – елементи системи

Наведена БТС характеризується наявністю входів і виходів, елементним складом і структурою, набором параметрів, що описують її внутрішній стан, і законом поведінки, що зв'язує вихідні сигнали (ефекти, відповіді, реакції) з вхідними (причиною, впливом, збуренням) (рис. 2).

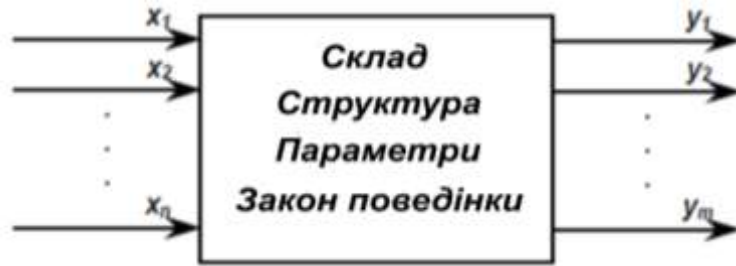


Рис. 2. Загальна схема системи

Закон поведінки системи в загальному випадку виражається нелінійним рівнянням виду:

$$y_j = f_j(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_r),$$

де y_j – вихідний сигнал на j -м виході системи, $j = 1, m$; x_1, \dots, x_n – вхідні сигнали; u_1, \dots, u_r – визначальні параметри системи; f_j – функціонал, що зв'язує сигнал на j -м виході з вхідними сигналами і визначальними параметрами.

При управлінні теплицею основними підсистемами вважаються підсистема факторів мікроклімату та підсистема фітомоніторингу, оскільки вони створюють основний вплив на біологічну ланку, використовуючи технічну ланку БТС. Для аналізу взаємодії з іншими підсистемами необхідно визначити моделі цих підсистем. Отримані знання характеризують мікроклімат у теплиці та фізіологічний стан рослини як єдиний об'єкт управління. Модель БТС розглядається як лінійне поєднання технічного об'єкта, що забезпечує підтримання умов до яких адаптований БО.

Класифікація моделей проведена за специфічними характеристиками:

- тривимірні моделі з одним входом і одним виходом (SISO - Single Input Single Output);
- багатофакторні тривимірні моделі (SIMO - Single Input Multiple Output, MISO - Multiple Input Single Output, MIMO - Multiple Input Multiple Output);
- лінійні і нелінійні моделі;
- параметричні і непараметричні моделі;

- параметри моделі фіксуються в той час і за параметрами тимчасової змінної;
- патерни в тимчасовій області і в частотній області;
- моделі з дискретним часом і безперервним часом;
- детерміновані і стохастичні моделі.

Вибір проводиться таким чином, щоб модель була простою у використанні як частини системи управління і в повній мірі задовольняла функціональні вимоги.

Як видно із загальної схеми (рис. 2), досліджувана система має багато входів і багато виходів. Тому найкращим варіантом є модель МІМО (множинний вхід множинний вихід).

Вибрана модель представлена у вигляді блок-схеми (рис. 3), на якій показано зміну в часі сигналів: вхід $u(t)$, вихід $y(t)$ і збурення $e(t)$. Таким чином, ми провели основну ідентифікацію об'єкта управління БТС методом моделювання.



Рис. 3. Ідентифікація об'єкта управління БТС

Залежно від вибору многочленів моделей наводимо перелік структур: AR (Auto Regressive), MA (Moving-Average), ARMA (Auto Regressive-Moving-Average), FIR (Finite Impuls Response), ARX (AutoRegressive with eXogenous input), ARMAX (Auto Regressive Moving Average with eXogenous input), OE (Output Error), BJ (Box-Jenkins). У попередніх дослідженнях, які стосувалися моделювання мікроклімату приміщень, визначена загальна структура ARX, ARMAX, OE та BJ. Проте особливу увагу заслуговує модель структури ARX,

оскільки вона найбільш широко використовується фахівцями. Перевагою цієї структури є більш точне подання реальних процесів в порівнянні зі структурами типу ARMAX, OE або VJ [8].

Також дуже важливим є вибір правильного режиму управління.

Один з основних критеріїв оцінки біотехнічної системи є якість управління. Всі фактори, що впливають на якість управління, можна розділити на групи, пов'язані з якістю критеріїв управління, з частотою циклів управління, з якістю повідомлювальної інформації та з алгоритмом управління.

Нині найпопулярнішим алгоритмом управління в автоматизації споруд закритого ґрунту є PID-алгоритм. Вибраний алгоритм може працювати в межах різних структур систем управління, а також PID-алгоритм в автоматизації розглядається як простий, оскільки він складається з трьох ланок: пропорційної, інтегральної і диференційної. Відповідно до вибраного алгоритму обираємо PID-регулятор, особливістю якого є можливість вибору трьох заданих значень: пропорційного підсилення, часу інтегрування і диференціювання.

Провівши ідентифікацію параметрів теплиці як БТС, за якими було вибрано модельну структуру та визначено алгоритм керування, розроблена модель системи керування мікрокліматом у теплиці, яка наведена на рис. 4.

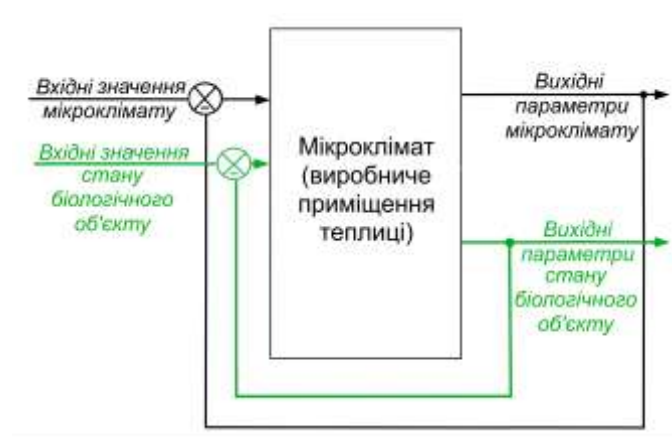


Рис. 4. МІМО-модель системи керування мікрокліматом у теплиці

Наведена МІМО-модель має 2 входи, 2 виходи та 2 зворотні зв'язки, що реалізуються завдяки PID-регулятору. Слід зазначити, що структура МІМО складається з ряду МІСО моделей для кожного параметру (мікроклімату та біометричного стану рослини). Цю модель пропонується використовувати для розробки системи керування мікрокліматом теплиці за наявності підсистеми фітомоніторингу та для тренінгу управління БТС.

Особливістю розробленої моделі є ідентифікація БО як окремої ланки БТС, яка встановлює залежність між вихідними параметрами (реакціями) та вхідними значеннями (впливами).

Висновки і перспективи

У ході дослідження було:

- проведено ідентифікацію параметрів теплиці в класі БТС;
- визначено основні задачі, які виникають при управлінні такою складною системою;
- визначено модельну структуру виду ARX для моделювання системи керування мікрокліматом;
- визначено необхідний алгоритм керування (PID) системою автоматизації теплиці;
- розроблено МІМО-модель для системи керування мікрокліматом із підсистемою фітомоніторингу.

Розроблена модель дає можливість управляти параметрами мікроклімату в теплиці враховуючи інформацію про стан рослини.

Список літератури

1. Акулов С. А. Основи теории биотехнических систем / С. А. Акулов, А. А. Федотов // М.: ФИЗМАЛИТ, 2014. – 259 с.
2. Ахутин В. М. Биотехнические системы: теория и проектирование / В. М. Ахутин, А. П. Немирко, Н. Н. Першин, и др. – ГОУ ОГУ, 2008. – 204 с.
3. Вимірювальний електротехнічний комплекс для моніторингу параметрів біометричного стану рослини та мікроклімату в теплиці / В. М. Решетюк, Т. І. Лендел, Б. В. Куляк // Вісник Харківського національного

технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2016. – Вип. 176. – С. 51–53.

4. Дудник А. О. Особливості побудови системи керування біотехнічним об'єктом з урахуванням природних збурень (на прикладі споруд закритого ґрунту) / А. О. Дудник // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету: Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Кіровоград: Вид-во КНТУ, 2012. – Вип. 25, Ч. 2. – С. 292–297.

5. Лисенко В. П. Моделі для формування оптимальних стратегій керування у спорудах закритого ґрунту / В. П. Лисенко, Т. І. Лендел // Вісник аграрної науки. – 2015. – Вип. 10. – С. 45–48.

6. Лисенко В. П. Програмно-апаратне забезпечення системи фітотестування в теплиці / В. П. Лисенко, І. М. Болбот, Т. І. Лендел, І. І. Чернов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 154. – С. 42–45.

7. Кудрин Б. И. Организационно-технические системы: термины и определения / Кудрин Б. И., Буторин В. К. – М.: Технетика, 2005. – 20 с.

8. Uchida Frausto, H., Pieters, J. G., Deltour, J. M. Modelling Greenhouse Temperature by means of Auto Regressive Models [w:] „Biosystems Engineering” t. 84 nr 2, 2003.

References

1. Akulov, S. A., Fedotov, A. A. (2014). Osnovy teoryy byotekhnicheskikh system [Fundamentals of the theory of biotechnical systems]. Moskva, Russia: FYZMALYT, 259.

2. Akhutyn, V. M., Nemyrko, A. P., Pershyn, N. N. (2008). Byotekhnicheskyye systemy: teoriya y proektyrovanye [Biotechnical systems: theory and design]. Orenburh, Russia: HOU OHU, 204.

3. Reshetiuk, V. M., Lendiel, T. I., Kuliak, B. V. (2016). Vymiriuvalniy elektrotekhnichnyi kompleks dlia monitorynhu parametriv biometrychnoho stanu roslyny ta mikroklimatu v teplytsi [Measuring range of electrical parameters for monitoring the state of biometric plants and microclimate in the greenhouse]. Kharkov, Ukraine: Visnyk KNTUSH im. P. Vasylenka, P. 51–53.

4. Dudnyk, A. O. (2012). Osoblyvosti pobudovy systemy keruvannia biotekhnichnym ob'iektom z urakhuvanniam pryrodnykh zburen (na prykladi sporud zakrytoho gruntu) [Features of the construction of a control system for a biotechnical object with allowance for natural disturbances (for example of enclosed soil)]. Kirovohrad, Ukraine: Zbirnyk naukovykh prats KNTU, Part 2, P. 292 – 297.

5. Lysenko, V. P., Lendiel, T. I., (2015). Modeli dlia formuvannia optymalnykh stratehii keruvannia u sporudakh zakrytoho gruntu [Models for the formation of optimal management strategies in plants under glass]. Kyiv, Ukraine: Visnyk ahrarnoi nauky, P. 45 – 48.

6. Lysenko, V. P., Bolbot, I. M., Lendiel, T. I., Chernov, I. I. (2014). Prohramno-aparatne zabezpechennia systemy fitomonitorynhu v teplytsi [Software and hardware for the phytomonitoring system in the greenhouse]. Kharkov, Ukraine: Visnyk KNTUSH im. P. Vasylenka, P. 42–45.
7. Kudrin, B. I., Butorin, V. K. (2005). Orhanizatsiino-tekhnichni systemy: terminy ta vyznachennia [Organizational and technical systems: terms and definitions]. Moskva, Russia: Tekhnetyka, 20.
8. Uchida Frausto, H., Pieters, J. G., Deltour, J. M. (2003) Modelling Greenhouse Temperature by means of Auto Regressive Models [w:] „Biosystems Engineering” t. 84 nr. 2.

ВЫБОР СТРУКТУРЫ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕПЛИЦЫ В КЛАССЕ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. М. Решетюк, В. А. Мирошник, Т. И. Лендел, Б. В. Куляк

Аннотация. *Описана процедура выбора модели для системы управления микроклиматом теплицы. Рассмотрены различные модельные структуры и проанализированы их преимущества и недостатки. В результате выбрано оптимальную модель, которая учитывает информацию о состоянии биологического объекта (растения).*

Целью исследования является идентификация параметров теплицы, при рассмотрении его в классе биотехнических систем, необходимых для выбора модельной структуры и разработки модели системы управления микроклиматом с учетом информации от подсистемы фитомониторинга.

В результате исследования было проведено идентификацию параметров теплицы как биотехнического объекта управления. Это позволило описать основные задачи, которые возникают при управлении таким сложным объектом. Предложено ММО-модель для биотехнической системы, которая в полной мере удовлетворяет функциональные требования системы управления микроклиматом. Определены модельную структуру (ARX) преимуществом этой структуры является наиболее точное представление реального состояния технологических процессов. Выбрано алгоритм управления (PID) системой автоматизации сооружений закрытого грунта, который может работать в пределах выше предложенных структур. Разработанная ММО-модель управления микроклиматом в производственном помещении теплицы. Такая модель дает возможность управлять параметрами микроклимата в теплице учитывая информацию о состоянии растения.

Ключевые слова: *теплица, биотехническая система, микроклимат, ММО-модель, система управления, биологический объект*

CHOICE OF STRUCTURE AND DEVELOPMENT MODEL OF THE MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM UNDER THE IDENTIFICATION OF THE GREENHOUSE IN THE CLASS OF BIOTECHNICAL SYSTEMS

V. Reshetiuk, V. Miroszhyk, T. Lendiel, B. Kuliak

Abstract. *A procedure is described for synthesizing the control system for technological processes of growing plants in greenhouses from the point of view of an integrated approach to a biotechnical object, taking into account information on both the microclimate in the production room and the state of the biological component (plant).*

The aim of the study is to identify the parameters of a biotechnical object and to determine the method for constructing a system for automatic control of technological processes in structures of enclosed soil, taking into account information on the state of the plant.

As a result of the research, the parameters of the greenhouse were identified as a biotechnical control object. That allowed to describe the main tasks that arise when managing such a complex object. A MIMO model is proposed for the biotechnical system, it fully meets the functional requirements of the climate control system. Defined model structure (ARX) The advantage of this structure is the most accurate representation of the actual state of technological processes. A control algorithm (PID) has been chosen for the automation system of the construction of closed ground, which can operate within the limits of the proposed structures. A MIMO-model of microclimate management in the industrial premises of the greenhouse was developed. Such a model makes it possible to control the microclimate parameters in the greenhouse taking into account information on the state of the plant.

Key words: *greenhouse, biotechnical system, microclimate, MIMO-model, control system, biological component*