

УДК 631.589 : 631.234

**АВТОМАТИЗАЦІЯ СПОРУДИ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ ЯК  
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ З ФУНКЦІЄЮ МОНІТОРИНГУ**

*А. А. Волошина, доктор технічних наук*

*А. О. Кашкар'ов, кандидат технічних наук*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*e-mail: anton.kashkarov@tsatu.edu.ua*

**Анотація.** *Обґрунтована необхідність удосконалення та впровадження систем керування спорудами захищеного ґрунту малих господарств. Розглянуті напрями розширення інформативності датчиків за рахунок алгоритмів оцінки на основі передатної функції.*

**Ключові слова:** *теплиця, керування, електротехнічний комплекс, передатна функція, моніторинг*

З метою покращення продовольчого кошику значної частини населення України та забезпечення переробних виробництв сировиною необхідно відновлювати національне рослинництво. Враховуючи важливу роль сільського господарства в економіці України (11,9 % загального обсягу валової доданої вартості всіх галузей економіки за результатами 2015 р. [7]), питання ефективності виробництва та підвищення конкурентоспроможності виробників стають особливо актуальними.

У господарствах населення виробляється понад 85 % овочів (88 % - 2013 рік; 86 % - 2014 р. та 2015 р.). Значну долю займають овочі, які вирощені у спорудах закритого ґрунту (29,7 %, 30,8 % та 20,3 % відповідно). Серед них у спорудах закритого ґрунту у 2015 році було вирощено 26,6 % огірків та 12,9 % томатів від загального врожаю огірків і томатів по Україні. Збільшення вартості енергоресурсів призвело до зменшення площі овочевих культур у закритому ґрунті з 9,8 % до 6,9 %,

що також можна побачити у тенденції зменшення загального врожаю овочів у господарствах до 20,3 % у 2015 р. [7].

У Концепції Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року зазначений поступовий перехід до нової системи оподаткування діяльності у аграрному секторі економіки, яка стимулюватиме розвиток сільськогосподарського виробництва суб'єктами господарювання різних форм власності. При розв'язанні поставлених завдань головним стримуючим фактором є розрізненість результатів досліджень.

Необхідно відзначити, що сьогодні активно розвивається ринок дорадчих послуг, проблемою якого є своєчасне отримання інформації від спостережуваного об'єкту та стан технологічного процесу (ТП). Завдяки централізації цих послуг стає можливим узагальнення отриманої інформації та її надання фахівцям різних галузей знань. На основі їх рішення та рекомендацій керівники малих господарств зможуть приймати управлінські дії.

Ускладнює розвиток рослинництва закритого ґрунту у господарствах складність ТП, велика вартість впровадження сучасних засобів і алгоритмів керування, орієнтованість наукових технологій на великі тепличні комплекси. Відомо багато робіт, в яких представлені електротехнології, які забезпечують підвищення показників врожайності та забезпечують ефективний ТП, але в умовах малих господарств складно прогнозувати ефект від впровадження. Ця складність обумовлена не тільки відсутністю висококваліфікованого персоналу, який займається впровадженням інновацій, а ще й великою часткою людського фактору у реалізації ТП рослинництва, консерватизмом власників, вартістю технічних засобів та інтелектуальної власності.

Пропонована концепція віддаленого моніторингу рослинництва дозволить зменшити собівартість супроводу ТП, суттєво спростити впровадження моніторингу та знизити собівартість дорадчих послуг. Такий підхід дозволить реалізовувати як пасивні так і активні експерименти впровадження експериментальних

електротехнологій в умовах малих господарств, а накопичена база знань забезпечить підвищення достовірності отриманих висновків.

**Мета досліджень** - зменшення вартості автоматизації технологічного процесу рослинництва закритого ґрунту, моніторингу його протікання та впровадження заходів та засобів підвищення показників на основі електротехнологій, в умовах малих господарств за рахунок підвищення інформативності датчиків.

**Матеріали та методика досліджень.** Виходячи з аналізу джерел інформації, необхідно відзначити, що керування окремими режимами технологічного обладнання та параметрами розглянуто достатньо повно. При цьому використовуються сучасні алгоритми керування на основі нечіткої логіки, нейронних мереж, генетичних алгоритмів тощо. Аналогічно можна сказати про результати досліджень при розробці та впровадженні електротехнологічних методів підвищення ефективності та якості ТП рослинництва закритого ґрунту (режими опромінення; обробка води, повітря, ґрунтів, насіння; опалення та ін.) Необхідно зазначити, що у розглянутих роботах не приділена увага питанням діагностики біотехнічної системи або стану ТП в цілому. Переважна більшість вивченого матеріалу орієнтована на великі тепличні комбінати, що пояснюється їх готовністю фінансувати індивідуальні проекти та наявність персоналу відповідної кваліфікації для впровадження та підтримки інновацій .

У роботах І. Ф. Бородіна було приділено увагу автоматизації ТП у сільському господарстві, у тому числі й у спорудах закритого ґрунту [1]. Роботи були орієнтовані на контроль певних технологічних параметрів та автоматизації допоміжних операцій (підготовка води, обробка ґрунту).

Здобутки школи В. П. Лисенка дозволяють впроваджувати та розробляти мобільні комплекси, які забезпечать збір даних та їх передачу до сучасних систем керування. Кінцевою метою є максимізація прибутку, що можливо за рахунок використання сучасних технічних засобів автоматизації та інформаційних технологій [2].

Регулювання параметрів мікроклімату достатньо повно розглядається у роботах Л. Ю. Юферева, в яких детально розглядається опромінення рослин та керування газовим складом повітря [3].

Закордонні вчені розглядають фізичні і технічні процеси, які протікають у теплицях, вивчають алгоритми керування використання електротехнологій у закритому ґрунті (Francisco Rodríguez, Manuel Berenguel та ін.) [9], розробляють системи віддаленого моніторингу та збору даних (Dae-Heon Park, Jang-Woo Park, Nemanja Radojević, Danka Kostadinović та ін.) [8, 10].

Зазначені роботи та більшість розглянутого матеріалу, автори якого не наведені в огляді, вітчизняних та закордонних колег об'єднує орієнтація на промислові теплиці.

На початку статті доведено важливість розвитку приватного овочівництва закритого ґрунту для економіки України, який здебільшого відбувається у малих господарствах. Крім того, під час вивчення стану робіт, спрямованих на досягнення поставленої авторами мети, відзначається поодинокі публікації з питання симбіозу впровадження електротехнологій, моніторинг параметрів, автоматизацію технологічного процесу рослинництва закритого ґрунту. Отже, розробка технологія діагностування технологічного процесу рослинництва закритого ґрунту в умовах інтенсивних технологій малих підприємств є актуальною задачею.

**Результати досліджень.** Як вже було відзначено раніше, переважна більшість проаналізованих наукових робіт орієнтована на забезпечення оптимального перебігу або інтенсифікація ТП рослинництва у великих тепличних комплексах, що пов'язано із зацікавленістю у підвищенні економічної ефективності діяльності та спроможністю сплатити за наукову продукцію. Такий підхід дозволяє використовувати індивідуальні інжинірингові та агротехнологічні рішення. Отримані результати досліджень не можливо у повній мірі впровадити у малих тепличних господарствах, які вирощують близько 85 % продукції овочівництва закритого ґрунту. Для підвищення ефективності діяльності таких господарств пропонується розробити методики віддаленого моніторингу для надання дорадчих

функцій фахівцями різного профілю та накопичення експериментальної бази для побудови автоматичних систем супроводу технологічного процесу. Зменшення загальногосподарських та адміністративних витрат можливо за рахунок впровадження віддаленого моніторингу технологічного процесу рослинництва.

Новизна роботи полягає у розробці методик віддаленого моніторингу, отриманні залежностей узагальнених показників реакції рослин на відхилення ТП та впроваджених електротехнологій, які забезпечать спостережність об'єкту, як споруди закритого ґрунту так і рослин окремо.

Задача віддаленого моніторингу ТП рослинництва в умовах малих господарств полягає в тому, щоб за отриманими вхідними даними про технологію вирощування, засоби підвищення якості ТП та стан технологічної і технічної системи, розробити систему децентралізованого збору даних та систему підтримки прийняття рішень, що забезпечить розширення функцій спостереження. Розв'язання поставленої задачі здійснюється шляхом технологічних новацій у рослинництві закритого ґрунту, використання «хмарних технологій», відомої концепції «стримінгового» та «абонентського» сервісу.

Особливістю реалізації такого підходу є розосередженість виробників, які складають цільову аудиторію кінцевих споживачів, їх рівень компетенції, різні зовнішні та внутрішні фактори реалізації технологічного процесу. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки засобів і заходів з нормалізації вхідних даних. Нормалізація даних та сучасні реалії вимагають швидкого накопичення бази знань, для формування системи підтримки прийняття рішень, алгоритми створення якої є відомими та відпрацьованими. Тому представлені концепції реалізації досліджень та впровадження результатів досліджень є як ускладнюючими факторами, так і науковими складовими.

Споруда захищеного ґрунту є стійким об'єктом, в якому відбуваються неперервні технологічні процеси під впливом зовнішніх та внутрішніх електротехнологічних збурень, які можуть бути важко прогнозованими та майже не контрольованими. При цьому не слід забувати про параметри оточуючого

середовища – напрямок вітру, опади, хмарність та ін. Ці збурення можуть бути контрольованими, не контрольованими, прогнозованими та не прогнозованими, а також з різною вагомістю. Об'єкт достатньо інерційний. У динамічному відношенні являє собою фільтри низьких частот зі смугою пропускання від нуля до десятої, сотої а у деяких випадках, тисячної частки герца. Відомо, що залежність зміни вихідних координат від зміни вхідних параметрів може бути описана математичною моделлю, в яку входять рівняння статички і динаміки. В умовах споруди захищеного ґрунту найбільш складними є рівняння динаміки, що пов'язано з розглядом об'єкта як «чорного ящика». Саме тому пошук рівняння динаміки здійснюється експериментальними методами. Отриманні рівняння, як правило використовуються на етапі проектних робіт при плануванні витрат або визначенні ефективності прийнятих рішень. У деяких випадках використовуються для настроювання системи керування.

Відповідно до прийнятої авторами концепції досягнення поставленої мети пропонується моніторинг параметрів динамічних характеристик на кожному етапі ТП, що дозволить своєчасно приймати певні управлінські та технологічні рішення. Перевага даного підходу полягає у тому, отримане одне рівняння, дозволяє перейти до інших математичних видів її опису (рис. 1.). У свою чергу, отримані дані можливо проаналізувати математичним апаратом гармонійного аналізу.

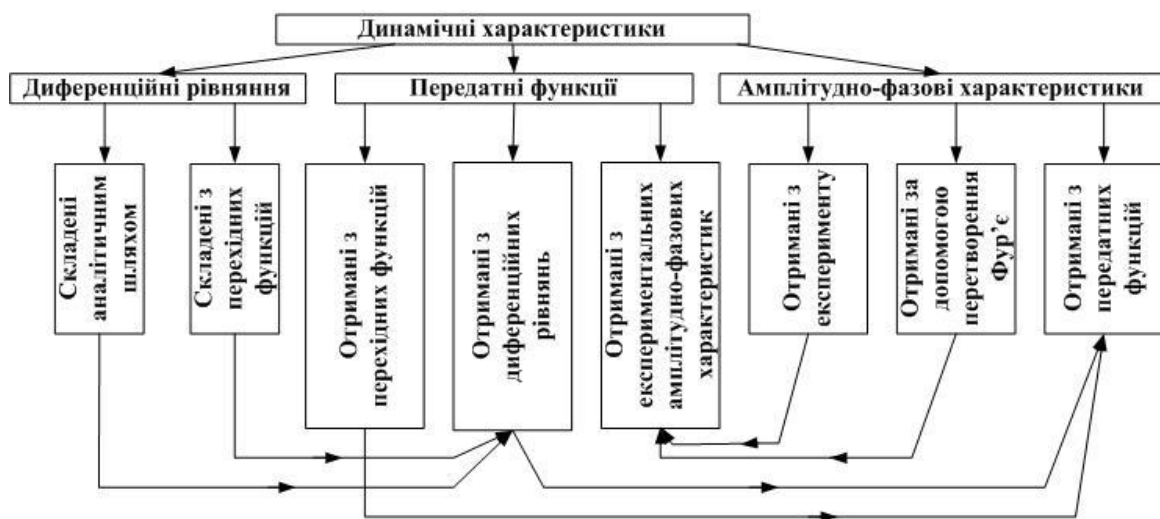


Рис. 1. Класифікація динамічних характеристик

Для повноцінного керування ТП рослинництва у спорудах захищеного ґрунту доцільно контролювати наступні параметри [1-3]:

- температура (повітря зовнішнє та внутрішнє, поверхня укритого матеріалу, ґрунту, листа, води у системі зрошення та опалення);
- тиск теплоносія;
- вологість внутрішнього та зовнішнього повітря, а також ґрунту;
- швидкість та напрям вітру;
- інтенсивність радіації сонячного випромінювання;
- якісні показники ґрунтів, живильних розчинів, повітря та освітлення (кислотність води, розчинні солі, концентрація CO<sub>2</sub>, спектр та ін).

Вказані вище параметри необхідні для реалізації ТП, при цьому не вказано параметри, котрі доцільні для контролю роботи за технологічним обладнанням та здійснення економічної діяльності.

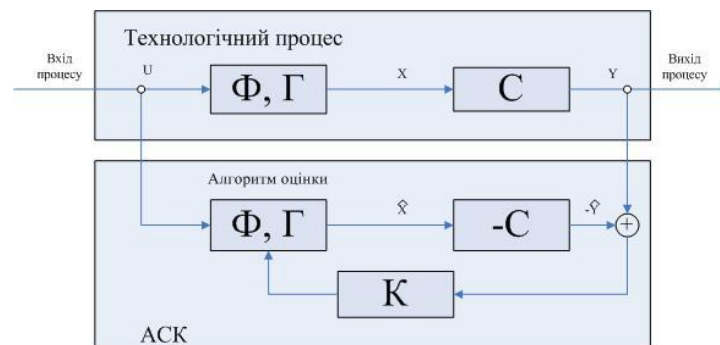
Ряд методик розрахунку параметрів АСК ТП базується на припущенні, що ТП складається із стаціонарних процесів, котрі виконуються при постійних умовах. У зв'язку із складністю прогнозування збурюючі впливи на об'єкт та ТП такі методики не отримали тривалого розвитку. Саме тому математичний апарат проектування та керування процесом розвивається та використовує нові методи моніторингу та керування. Але задача проектних робіт ускладнюється тим, що деякі конструктивні елементи та технологічне обладнання стандартизоване [1, 6], тому у дослідженнях велике значення приділяється апаратної та програмної організації АСК ТП. Це пов'язано з тим, що підбір обладнання та розробка алгоритмів обробки даних дозволяють враховувати випадкові процеси, які пов'язані із взаємодією обладнання, споруди захищеного ґрунту, рослин та зовнішнього середовища.

У більшості випадків стан системи не вимірюється повністю – кількість датчиків менша за кількість змінних стану [4]. Однак часто важливо знати повний вектор стану  $X$ , навіть якщо адекватні датчики не існують або занадто дорогі. При певних умовах можна розрахувати вектор стану  $X$  на основі вимірювань  $Y$  (рис. 2).



**Рис. 2. Загальна блок-схема використання алгоритму оцінки АСК на основі рівнянь станів**

Стан  $X$  можна представити як вектор, компоненти якого – змінні стану. Безпосередньо виміряти усі змінні стану можна у рідких випадках, тобто існують внутрішні змінні, стан яких спостерігати за допомогою датчиків неможливо або вартість датчиків не відповідає його техніко-економічному ефекту. Для визначення цих змінних використовують алгоритми оцінки за відомими параметрами технічної системи (рис. 3), де показано, як вихід моделі  $C \cdot \hat{x}$  постійно коректується обмірюваними значеннями  $Y$ . Якщо вектор або матриця  $K$  складена вірно, то  $\hat{x}$  наближається до  $X$  і може відрізнитись від реального [4].



**Рис. 3. Блок-схема реалізації алгоритму оцінки стану в АСК ТП**

Іншими словами, оцінка є ніщо інше, як комп'ютерна модель технічного процесу, котра регулярно корегується на основі поточних вимірювань. Для перевірки збіжності використовуватимемо величину - похибка оцінки

$$\tilde{X}(kh) = X(kh) - \hat{X}(kh). \quad (1)$$

Якщо  $K$  можна обрати так щоб  $\tilde{X}(kh)$  прямувала б до значення 0 достатньо швидко, то оцінка була б задовільною. Це означає, що  $\hat{X}(kh)$  буде наближатись до  $X(kh)$  незалежно від початкових умов. Більш того,  $K$  можна підібрати таким чином,



що похибка буде збігатись значно швидше, ніж початкова апроксимація, яка визначається матрицею  $\Phi$ .

Можливість обрати матрицю  $K$  таким чином, щоб оцінка була задовільною, залежить від можливості спостереження за системою, котра визначається тільки матрицями  $\Phi$ ,  $\Gamma$  та  $C$ . Інакше кажучи, можливість спостереження характеризує можливість отримання інформації про всі стани системи  $X$  на основі вхідних сигналів  $Y$ . Можливість спостереження також гарантує, що можна знайти необхідну матрицю  $K$  таку, що  $\tilde{X}(kh)$  прямує до 0 як завгодно швидко. Якщо можливість спостереження відсутня, то це означає, що деякі стани або частини системи фізично відокремлені від виходу процесу і тому не відбивається у вимірюваннях та система не є керованою за висунутими вимогами.

Для визначення змінних стану які не можна розрахувати використовують процедуру оцінки, причому як для неперервних змінних, так і для дискретних моделей. Оцінка стану фактично є описом технічного процесу різницевиими рівняннями, в які уведений додатковий член для коректування оцінювання змінних на основі вимірювання  $Y$  [4] (рис. 3):

$$\hat{X} \big|_{k+1} h \bar{=} \Phi \cdot \hat{X}(kh) + \Gamma \cdot U(kh) + K \big|_{(kh)} - C \cdot \hat{X}(kh) \bar{.} \quad (2)$$

Якщо система має тільки один датчик, тоді  $K$  є вектор, у протилежному випадку – матрицею. В ідеальному випадку оцінки  $X$  та  $\hat{X}$  співпадають і останній доданок у рівнянні дорівнює нулю, оскільки  $Y=C \cdot X$ . У випадку відмінності  $\hat{X}$  від  $X$ , останній доданок, тобто різниця між реальним вимірюванням  $Y$  та його оцінкою  $C \cdot \hat{X}$ , використовується для коректування помилки або похибки. Матриця  $K$  є ваговим коефіцієнтом і визначає якість оцінки.

Необхідно відзначити, споруда захищеного ґрунту як об'єкт автоматизації є складною, багатоконтурною та багато параметричною технічною системою. Розглядаючи її як «чорну скриню», що обумовлено складністю процесів, які відбуваються у ТП та їх взаємодію, доцільно використовувати сучасні інформаційні технології (нейроні мережі, нечітка логіка, генетичні алгоритми, мережні моделі та ін.).

### **Висновки**

Досягнення поставленої мети може бути забезпечено при підвищенні інформативності датчиків за рахунок аналізу передатних функцій контрольованих параметрів.

Вказані у статті пропозиції технічно та економічно не можливо реалізувати у рамках однієї системи керування малого господарства. Саме тому доцільно приділити увагу віддаленому моніторингу та дорадництву. Впровадження функцій віддаленого моніторингу забезпечує накопичення бази знань та багатокористувацьку роботу.

### **Список літератури**

1. Бородин И. Ф. Автоматизация технологических процессов / И. Ф. Бородин, Ю. А. Судник. – М.: Колос, 2004. – 344 с.
2. Лисенко В. П. Наукові основи керування електротехнічними комплексами для виробництва сільськогосподарської продукції: дис. ... д.т.н.: 05.09.03 / Лисенко Віталій Пилипович. – К., 2014. – 415 с.
3. Лотонов А. В. Система мониторинга и автоматического регулирования содержания CO<sub>2</sub> в защищенном грунте / А. В. Лотонов, Л. Ю. Юферев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2012. – №1. – С. 25-31.
4. Олссон Густав. Цифровые системы автоматизации и управления / Густав Олссон, Джангуидо Пиани. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.
5. Оськин С. В. Электротехнология в сельском хозяйстве: учебник для студентов вузов / С. В. Оськин. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 501 с.
6. Пособие по проектированию теплиц и парников: (к СНиП 2.10.04-85) / Разраб. Гипронисельпром Госагропрома ССР: Н.А. Нестругин, В.И. Костенецкий, В.З. Павлов и др. – М.:Стройиздат, 1988. – 72 с.
7. Статистичний щорічник України за 2015 рік. Державна служба статистики / за редакцією О.Г. Осауленка. – К.: Державна служба статистики, 2016. – 534 с.

8. Dae-Heon P. Wireless Sensor Network-Based Greenhouse Environment Monitoring and Automatic Control System for Dew Condensation Prevention / Dae-Heon Park, Jang-Woo Park // Sensors 2011, 11 .

9. Francisco Rodríguez. Modeling and Control of Greenhouse Crop Growth / Francisco Rodríguez, Manuel Berenguel, José Luis Guzmán, Armando Ramírez-Arias.- Springer, 2015. – 275 p.

10. Nemanja R. Microclimate Control in Greenhouses / Nemanja Radojević, Danka Kostadinović, Hristina Vljaković, Emil Veg // FME Transactions. 2014. – 42. – P. 167-171

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СООРУЖЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА КАК  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ФУНКЦИЕЙ  
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПЕРЕДАТОЧНЫХ  
ФУНКЦИЙ НАБЛЮДАЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ**

*А. А. Волошина, А. А. Кашкарёв*

**Аннотация.** *Обоснована необходимость усовершенствования и внедрения систем управления сооружений защищенного грунта в условиях хозяйств. Рассмотрены направления расширения информативности датчиков за счет алгоритмов оценки, в основе которых лежит передаточная функция контролируемого параметра.*

**Ключевые слова:** *теплица, управление, электротехнический комплекс, передаточная функция, мониторинг*

**AUTOMATION OF GREENHOUSE AS ELECTRICAL COMPLEX  
FUNCTION WITH DIAGNOSIS BASED ON ANALYSIS TRANSFER FUNCTION  
OBSERVED PARAMETERS**

*A. Voloshin, A. Kashkarev*

**Annotation.** *The necessity of improving and imple-rhenium protected ground facilities management systems in a ho-farms. The directions of the expansion of*

*informativeness of the sensors due to estimation algorithms, which are based on the transfer function of the controlled parameter.*

**Keywords:** *greenhouse, control, electrical engineering complex, the transfer function, monitoring*