

УДК 631.589

## ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ КАРКАСНОЇ ТЕПЛИЦІ

**А.О. Кашкар'юв**, кандидат технічних наук, доцент

*Таврійський державний агротехнологічний університет,*

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

**Анотація.** *В умовах України овочівництво закритого ґрунту в умовах малих підприємств та домогосподарств здійснюється в каркасних теплицях, які здебільшого вкриті плівкою. Впровадження вимірвальних електротехнічних комплексів в умовах таких підприємств ускладнено їх високою вартістю, особливостями ведення бізнесу та кваліфікацією персоналу. Метою досліджень є методи підвищення інформативності вимірвальних електротехнічних комплексів за умови збільшення кількості параметрів моніторингу при обмеженій кількості фактично вимірюваних фізичних величин. Досягнення поставленої мети здійснюється через розв'язання таких завдань: дослідження параметрів каркасу теплиці при зміні параметрів температури; вибір технічних засобів електротехнічних комплексів для моніторингу параметрів мікроклімату каркасної теплиці в умовах малих господарств. Пропонований вимірвальний комплекс в якості інформативного показника використовує опір каркасу. Досліджено вплив температури оточуючого середовища на моделі та макеті каркасу – матриця опорів. Показана інформативність методу. Запропоновані мінімальні вимоги до АЦП вимірального комплексу. Акцентована увага на можливості вимірювання розосередженої температури у теплиці та можливість визначення напрямку вітру на основі використання нечіткої логіки. Наведені напрями подальших досліджень, проблеми практичного впровадження в Україні та закордоном.*

**Ключові слова:** *каркасна теплиця, активний опір, нечітка логіка, температура*

**Актуальність.** Для економіки України розвиток приватного овочівництва закритого ґрунту, який здебільшого відбувається у малих господарствах, є важливим, оскільки сприяє підвищенню зайнятості населення, росту його добробуту та забезпечує продовольчу безпеку на місцях. Аналіз даних державної служби статистики, свідчить про те, що у господарствах населення виробляється понад 85% овочів. Такий показник тримається вже три роки поспіль (2014 р.,

2015 р. та 2016 р). Серед них у спорудах закритого ґрунту у 2016 році було вирощено 87 % огірків та 79% томатів від загального врожаю тепличних огірків і томатів по Україні [1]. Необхідно відзначити, що, порівняно із фермерськими господарствами, які мають кваліфікований персонал та використовують сучасні технології, нестача кваліфікованих кадрів серед населення призводить до зниження врожайності основних культур у господарствах населення (у 2016 році врожайність огірків була меншою на 5%, а томатів на 20%).

Поліпшення стану питання можливе за рахунок впровадження у бізнес процес сучасних інформаційних технологій, які сприятимуть підвищенню інформативності об'єкта керування (каркасної теплиці), за умови низької вартості впровадження та експлуатації. Пошук інформативних показників, які забезпечують спостережність об'єкту керування в умовах розподіленості параметрів, невизначеності та випадковості зовнішніх впливів – актуальне питання. Особливої актуальності питання набуває в умовах каркасних теплиць малих підприємств та домогосподарств. Малі об'єми виробництва, кваліфікаційний рівень на місцях, культура праці та вагомий вплив людського фактору створюють несприятливі умови для впровадження сучасних вимірювальних електротехнічних комплексів (ВЕК).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сьогодні можна виділити два напрями моніторингу параметрів мікроклімату: створення сенсорних мереж на основі бездротового зв'язку [5, 8], створення мобільного вимірювального комплексу [3, 4]. Дані напрями представлені вітчизняними та закордонними дослідниками, які використовують елементи робототехніки, дронів, системи машинного зору, а для аналізу даних та прийняття рішень – алгоритмічні мови, нейронні мережі та нечітку логіку [6, 7]. Відомі ВЕК реалізуються в умовах тепличних комбінатів або у малих підприємствах за індивідуальними рішеннями, які «прив'язані до розробника» або мають, на думку автора, іміджевий характер. В умовах тепличних комбінатів використовують

інформаційні технології та сучасні засоби збору і передачі інформації [3, 8]. На практиці в умовах малих підприємств здебільшого використовують побутові термометри розширення та побутові метеостанції.

Поліпшення стану питання та поетапне впровадження функцій моніторингу і керування можливо за рахунок розробки ВЕК з мінімізацією кількості датчиків. Інформативність та достовірність висновків такого вимірювального комплексу повинна забезпечуватись відповідними математичними моделями об'єкту керування. Для реалізації такого підходу пропонується використовувати каркас теплиці в якості чутливого елемента [2], який реагує на зміну зовнішніх та внутрішніх параметрів мікроклімату та дозволяє абстрагуватись від технології монтажу каркасу та матеріалу укріття. Такий підхід надасть можливість компенсувати особливості умов малих господарств простотою, серійністю та доступністю ВЕК.

**Мета дослідження** полягає в підвищенні інформативності ВЕК за умови зменшення кількості фактично вимірюваних фізичних величин. Досягнення поставленої мети здійснюється через розв'язання таких завдань: дослідження параметрів каркасу теплиці при зміні параметрів температури внутрішнього та оточуючого середовища; вибір технічних засобів ВЕК для моніторингу параметрів мікроклімату каркасної теплиці в умовах малих господарств.

**Матеріали і методи дослідження.** Задачею є дослідження параметрів каркасу теплиці при зміні параметрів температури та вибір технічних засобів вимірювального електротехнічного комплексу для моніторингу параметрів мікроклімату каркасної теплиці в умовах малих господарств, методи підвищення інформативності ВЕК. Для розв'язання задачі розглянуто активний опір каркасу теплиці, а саме його динаміку під впливом температури зовнішнього та внутрішнього середовища. Загально відомо, що активний опір провідника залежить від температури

$$R = R_{cm} \cdot [1 + \alpha(T - T_{cm})] \quad (1)$$

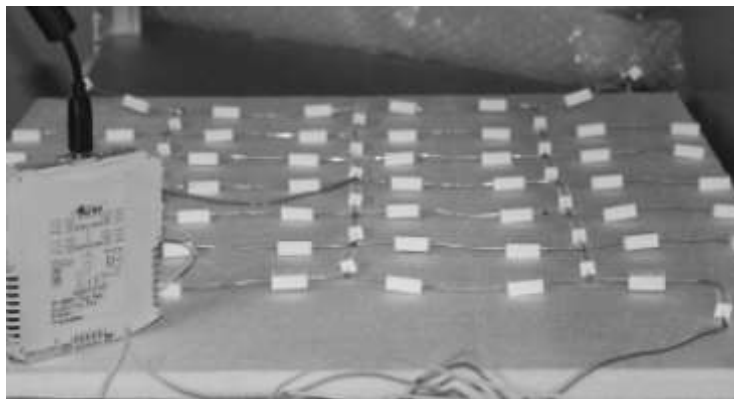
де  $R$  – опір матеріалу при заданій температурі  $T$ , Ом;  $R_{ct}$  – довідковий або стандартний опір матеріалу, Ом (при температурі  $20^\circ\text{C}$  або  $0^\circ\text{C}$ );  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору матеріалу, Ом/ $^\circ\text{C}$ ;  $T$  – температура матеріалу,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_{ct}$  – стандартне значення температури, при якому визначено  $\alpha$ ,  $^\circ\text{C}$ .

В умовах малих підприємств найбільш поширений матеріал каркасу теплиць – сталь різних марок та профілю ( $\alpha \approx 6 \cdot 10^{-3}$  Ом/ $^\circ\text{C}$ ). Омічний опір матеріалу наводять у довідниках з електротехнічних матеріалів. Площа поперечного перетину матеріалу визначається на практиці або виходячі із геометричних параметрів матеріалу каркасу (ДСТУ 3760:2006 «Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій», ДСТУ 4200:2006 «Труби сталеві з гладкими кінцями, зварні та безшовні», ГОСТ 8734-75 «Трубы стальные безшовные холоднодеформированные»).

Сьогодні використовуються конструкції каркасів теплиці, які розв'язують різні будівельні, експлуатаційні та дизайнерські задачі. Для дослідження параметрів каркасу теплиці при зміні температури розглянемо каркасну теплицю на 7 дуг (рис. 1, а) та її макет (рис. 1, б). Для складання імітаційної моделі сітки опорів першу і останню дугу не враховуємо, оскільки вони мають більшу поверхню контакту із оточуючим середовищем (рис. 2). Теплиця складається з сталевих труб безшовних холоднодеформованих. Враховуючи матеріал та геометричний розмір труб розраховано омічний опір сегментів дуги (2,553 мОм) та з'єднувальних ребер (4,065 мОм).



а



б

**Рис. 1. Зовнішній вигляд дослідної каркасної теплиці, яка вкрита плівкою, (а) та її макет (б)**

**Результати досліджень та їх обговорення.** Визначені опори ділянок каркасу відповідно до його конструктивних характеристик (рис. 2). Вузли відповідають місцям з'єднань дуг та ребер. При нормальних умовах розрахунковий еквівалентний опір каркасу  $R=0,00813$  Ом. Припустимо, що температура каркасу теплиці збільшилась на  $1^{\circ}\text{C}$ . Розглянемо два варіанти: половина каркасу по довжині теплиці ( $R_1=0,00812$  Ом); нагріється весь каркас ( $R_2=0,0201$  Ом).

Розроблено макет, для дослідження роботи вимірювального електротехнічного комплексу (рис. 1., б), дозволив дослідити чутливість «каркасу» до зміни температури оточуючого середовища. «Каркас» теплиці представляє собою сітку опорів (опір сегментів дуги  $0,075$  Ом, опір з'єднувальних ребер  $0,15$  Ом). Розрахунковий опір відповідних ділянок при температурі  $16^{\circ}\text{C}$  складає  $R=0,3$  Ом. Фактично значення опору ділянки складає  $0,7$  Ом. При нагріві та охолодженні моделі каркасу у діапазоні температур  $13^{\circ}\text{C}$  та  $16^{\circ}\text{C}$  відповідно за час  $t=30$ хв, коливання значення опору мають випадковий характер і не містять грубих помилок (рис. 3), що обумовлено параметрами АЦП ( $1\text{кОм}$ , розрядність  $24\text{bit}$ ).

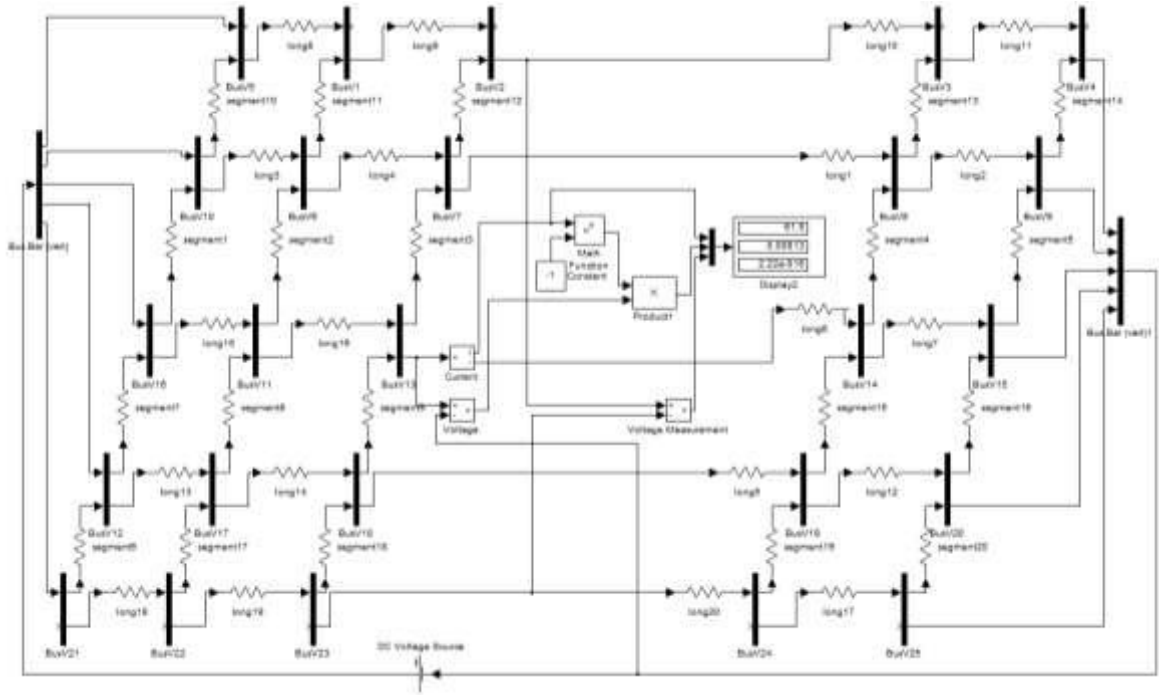


Рис. 2. Імітаційна модель дослідження впливу температури на параметри каркасу теплиці

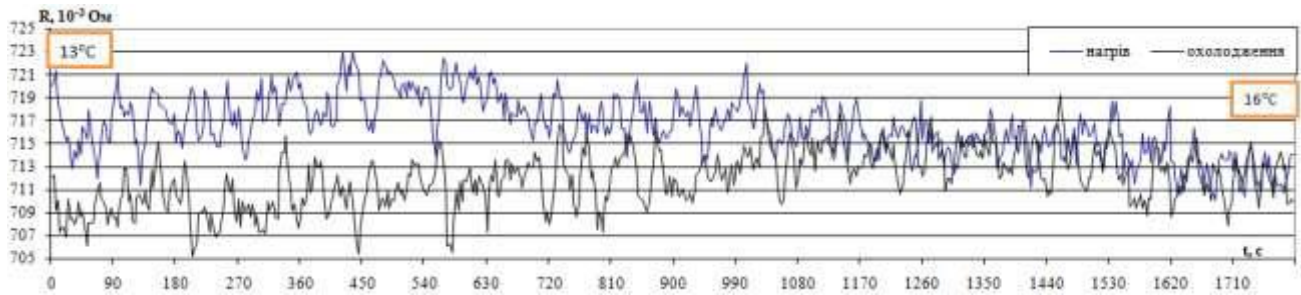


Рис. 3. Коливання значень опору досліджуваної ділянки каркасу

Розбіжність між розрахунковими і експериментальними значеннями пояснюється перехідним опором з'єднань резисторів лабораторного стенду. Отже, не дивлячись на простоту визначення активного опору його використання як інформативного показника на практиці ускладнено особливостями монтажу каркасу, дотриманням технології зварювання на місцях, що обумовлено значеннями перехідних опорів. У першу чергу це пов'язано із порушенням технології зварювання каркасу, ерозійними процесами, вібраціями з'єднань.

В основі ВЕК повинен знаходитись мікроомметр з широким діапазон вимірювання опору. Використання програмованих логічних комплексів, які мають виходи для підключення термометрів опору, є недоцільним – опір датчика менше за 30 Ом сигналізується як аварійна ситуація. У свою чергу вимірювання малих сигналів струму та напруги вимагає додаткових джерел живлення, що ускладнює схему вимірювального комплексу. У дослідженнях використано аналогово-цифрові перетворювачі компанії «Акон» (WAD-AIK-BUS, діапазон вимірювання опору 0-10 Ом, розрядність АЦП 24bit, поканальна гальванічна розв'язка 1,5кВ). Пропоноване обладнання забезпечить чутливість вимірювань, достатню для реєстрації відхилень опору окремих ділянок каркасу, що дозволить ідентифікувати реакцію каркасної теплиці на збурення та ідентифікувати розподілені параметри температури, вологості, надходження сонячної радіації, стану каркасу теплиці та експлуатаційних характеристик матеріалу укриття.

Враховуючи, що для реалізації таких вимірювань на практиці побудувати точну математичну модель каркасної теплиці й застосувати жорстку однозначну процедуру прийняття рішень в умовах малих підприємств не можливо. В умовах невизначеності доцільно використовувати теорію нечітких множин (фазі-логіка). Функціонування й методологія побудови системи прийняття рішень на основі нечітких множин (рис. 4) поширене для керування температурою об'єктів керування (ОК) даного класу [4, 5, 6] та на основі кількох вимірних параметрів [5].

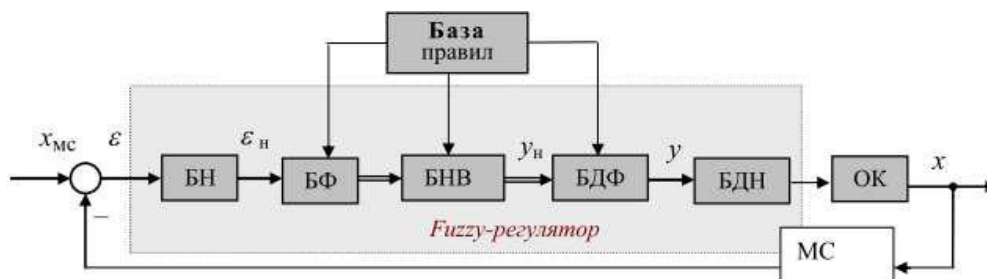


Рис. 4. Структура fuzzy-регулятора системи прийняття рішень

Вихідна інформація про стратегію прийняття рішення зберігається в базі

правил, які формулюються на основі ретельного вивчення ОК та складання термножин (рис. 5, а). Блок нечіткого виводу (БНВ), у якому на основі нечіткої інформації про виміряні значення, які складають масив стану (МС), здійснюється висновок про відповідну нечітку множину значень висновку  $y$ . У блоці нормування (БН) різниця  $\varepsilon$  між МС ОК та еталонними значеннями  $x_{мс}$  приводиться до обмеженого інтервалу. Блок фазифікації (БФ) визначає значення функції приналежності, відповідне до нормованого значення  $\varepsilon_n$ . Блоки дефазифікації (БДФ) і денормування (БДН) виконують зворотні процедури: по кільком «усіченим» функціям приналежності обчислюється чітке значення нормованого керуючого впливу  $y_n$  і відповідне йому ненормоване значення  $y$ .

Функція приналежності (ФП) базової змінної  $x$  (опір каркасу теплиці), яка кожному її значенню ставить у відповідність число з інтервалу  $[0, 1]$  (рис. 5, б), позначається  $\mu(x)$ . ФП  $\mu_i(x)$ , визначає терм «нормальна температура в теплиці»

$$\mu(x, m, \sigma) = \exp \left[ - (x - R_n)^2 / 2\sigma^2 \right], \quad (2)$$

де  $R_n$  – нормоване значення опору каркасу теплиці при базовій температурі, Ом;  $\sigma$  - припустима похибка ВЕК.

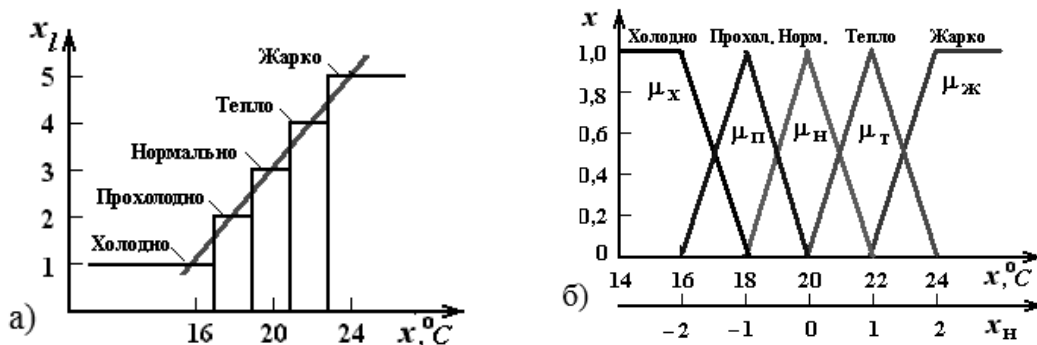


Рис. 5. Терм-множини бази правил fuzzy-регулятора

Нечітка множина  $A$  - сукупність усіх пар виду  $(x, \mu_A(x))$ , яка утворена зі значень базової змінної  $x \in X$  та з функцій приналежності  $\mu_A(x)$ . Для наведеного прикладу з тепловим режимом у теплиці (рис. 3) використовуємо п'ять фазімножин, які характеризуються функціями  $\mu_i(x)$ :  $\mu_n(x)$  – «прохолодно»,  $\mu_т(x)$  –



«тепло» і т.д. При наповненні бази правил (рис. 4) значеннями  $R_n=f(t_z, t_b)$ , з урахуванням значень зовнішньої температури та температури у теплиці, забезпечується визначення напрямку вітрового потоку. Для використання нормованого значення  $x_n$  (рис. 6) необхідно формалізувати методику нормування вхідних сигналів.

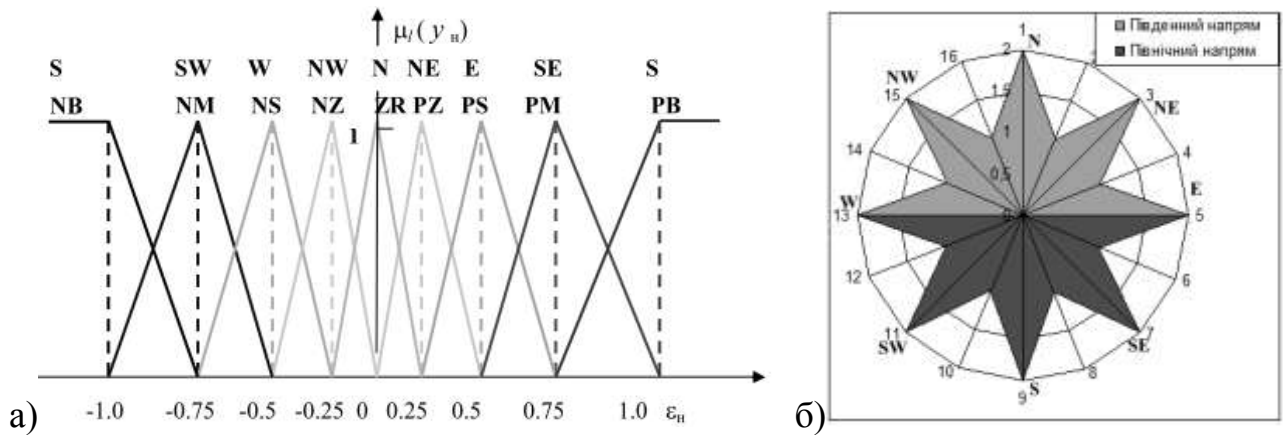


Рис. 6. Терм-множин бази правил визначення напрямку вітру

Акцентуємо увагу на системі із дев'яти ФП (рис. 6. а), яка охоплює наступні універсальні лінгвістичні значення: *negative big* (NB), *negative medium* (NM), *negative small* (NS), *negative zero* (NZ), *zero* (ZR), *positive zero* (PZ), *positive small* (PS), *positive medium* (PM), *positive big* (PB). Такий підхід відповідає формуванню рози вітрів (рис. 6, б).

### Висновки і перспективи.

1. При використанні опору каркасу, як інформаційного показника, необхідно враховувати перехідний опір з'єднань. Розрахунковий і вимірний опір макету каркасу відрізняється у більш ніж 2 рази.

2. Вплив перехідного опору з'єднань каркасу призводить до необхідності використання адаптивних або нечітких систем підтримки прийняття рішень.

3. Мінімальні вимоги до ВЕК: діапазон вимірювання опору 0-10 Ом, розрядність АЦП 24bit, щонайменше наявність спільної гальванічної розв'язки.

4. Для практичної реалізації ВЕК необхідно дослідити динаміку

перехідного опору вузлів з'єднань каркасу теплиці в залежності від зовнішніх та внутрішніх факторів (температура, волога, вібрації та ін.). При подальшому дослідженні перехідних опорів різних способів монтажу каркасу стає ймовірним впровадження додаткових критерії оцінки стану каркасної теплиці.

5. Результати досліджень можуть бути використані на міжнародному рівні серед виробників, які використовують каркасні теплиці в овочівництві закритого ґрунту: Туреччина, Іспанія, Ізраїль, Марокко та ін.

### **Список літератури**

1. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]: - Режим доступу: <http://ukrstat.gov.ua>

2. Кашкар'юв А.О. Визначення розподілених параметрів температури каркасних телиць / Кашкар'юв А.О., Діордієв В.Т., Діордієв О.О. // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2017. - №1 (6). – С. 91-95

3. Решетюк В. М. 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. Goran Martinovic Greenhouse microclimatic environment controlled by a mobile measuring station / Goran Martinovic, Janos Simon // NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences 70-71 (2014). – P. 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2014.05.007>

5. Jawad H.M. Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture / Jawad H.M., Nordin R., Gharghan S.K., Jawad A.M., Ismail M. // Review. Sensors 2017, 17, 1781. DOI: 10.3390/s17081781

6. Nicolosi G., Volpe R., Messineo A. An Innovative Adaptive Control System to Regulate Microclimatic Conditions in a Greenhouse. Energies 2017, 10, 722. DOI: 10.3390/en10050722

7. Robles Algarín C., Callejas Cabarcas J., Polo Llanos A. Low-Cost Fuzzy Logic Control for Greenhouse Environments with Web Monitoring. Electronics 2017, 6, 71. DOI: 10.3390/electronics6040071, WOS:000419206400002

8. Wang J.N. Wireless Mid-Infrared Spectroscopy Sensor Network for Automatic Carbon Dioxide Fertilization in a Greenhouse Environment / Wang J.N., Niu X.T., Zheng L.J., Zheng C.T., Wang Y.D. // SENSORS. – Vol. 16, Issue 11. – 2016. - № 1941. DOI: 10.3390/s16111941, WOS:000389641700174

### **References**

1. Derzhavna sluzhba statystryky Ukrainy [Elektronnyi resurs]: -Available at: <http://ukrstat.gov.ua>
2. Kashkarov, A.O., Diordiiev, V.T., Diordiiev, O.O. (2017). Vyznachennia rozpodilenykh parametriv temperatury karkasnykh telyts [Determination of the distributed parameters of the temperature of the carcass heifers]. Enerhetyka ta komp'uterno-intehrovani tekhnolohii v APK, №1 (6), 91-95.
3. Reshetiuk, V.M., Lendiel, T.I., Kuliak, B.V. (2016). Vymiriualnyi elektrotekhnichniy kompleks dlia monitorynhu parametriv biometrychnoho stanu roslyny ta mikroklimatu v teplytsi [Electrical measuring system for monitoring parameters of biometric state of the plant and the microclimate in the greenhouse]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka, 176, 51-53.
4. Martinovic , G., Simon, J. (2014). Greenhouse microclimatic environment controlled by a mobile measuring station. Njas-wageningen journal of life sciences, 70-71, 61-70. DOI: 10.1016/j.njas.2014.05.007
5. Jawad, H.M., Nordin, R., Gharghan, S.K., Jawad, A.M., Ismail, M. (2017). Energy-Efficient Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture. Review. Sensors 2017, 17, 1781. DOI: 10.3390/s17081781
6. Nicolosi, G., Volpe, R., Messineo, A. (2017). An Innovative Adaptive Control System to Regulate Microclimatic Conditions in a Greenhouse. Energies, 10, 722. DOI: 10.3390/en10050722
7. Robles Algarín C., Callejas Cabarcas J., Polo Llanos A. (2017). Low-Cost Fuzzy Logic Control for Greenhouse Environments with Web Monitoring. Electronics, 6, 71. DOI: 10.3390/electronics6040071, WOS:000419206400002
8. Wang, J.N., Niu, X.T., Zheng ,L.J., Zheng, C.T., Wang, Y.D. (2016). Wireless Mid-Infrared Spectroscopy Sensor Network for Automatic Carbon Dioxide Fertilization in a Greenhouse Environment. SENSORS, 16 (11), № 1941. DOI: 10.3390/s16111941, WOS:000389641700174

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА КАРКАСНОЙ ТЕПЛИЦЫ**

*А. А. Кашкарёв*

*Аннотация. В Украине овощеводство закрытого грунта в условиях малых предприятий и домохозяйств осуществляется в каркасных теплицах, которые в основном покрытые пленкой. В таких условиях внедрение измерительных электротехнических комплексов (ИЭК) затруднено из-за их высокой стоимости, особенностей ведения бизнеса и квалификации персонала. Целью исследований являются методы повышения информативности ИЭК при условии увеличения количества параметров мониторинга при ограниченном количестве измеренных физических величин. Решаются следующие задачи: исследование параметров каркаса теплицы при изменении параметров температуры; выбор технических средств ИЭК для мониторинга параметров микроклимата*

каркасной теплицы. Предлагаемый комплекс в качестве информативного показателя использует сопротивление каркаса. Исследовано влияние температуры окружающей среды на модели и макете каркаса - матрица сопротивлений. Показана информативность метода. Акцентировано внимание на возможности измерения распределенной температуры в теплице и возможности определения направления ветра на основе использования нечеткой логики.

**Ключевые слова:** *каркасная теплица, активное сопротивление, нечеткая логика, температура*

## **ELECTRICAL MEASURING COMPLEX FOR THE FRAME GREENHOUSE MICROCLIMATE PARAMETER MONITORING**

*A. Kashkarov*

**Abstract.** *The frame greenhouses are the main small architectural form for the vegetable growing in the conditions of small enterprises of Ukraine. Such a construction of greenhouses is also common (Turkey, Spain, Israel, Morocco) at the international level. The introduction of the electrical measuring system for small enterprises is complicated by their high cost, personnel qualification and peculiarities of doing business. The proposed measuring system uses the frame resistance as an informative index. The influence of the ambient temperature was investigated on the model and the framework of the frame (as matrix of resistances). The informative value of the method is shown. An attention was focused on the possibility of the dispersed temperature measuring in the greenhouse and the ability to determine the wind direction based on the use of fuzzy logic. Proposed serial technical means for implementation of the electrical measuring system. The selected technical means and the algorithm can be adapted to the individual enterprise conditions without taking into account the material of the framework, its shape, the material of the shelter, etc. It is possible to reduce the sensor quantity after some clarification of the decision-making algorithm.*

**Key words:** *frame greenhouse, resistance, fuzzy logic, temperature*