

УДК 004.032.26:634.1-13

І.С. Лактіонов (канд. техн. наук)

Державний вищий навчальний заклад

«Донецький національний технічний університет», м. Покровськ

кафедра електронної техніки

E-mail: ivan.laktionov@donntu.edu.ua

ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ БАГАТОФАКТОРНОЇ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЯКОСТІ ВИРОЩУВАННЯ КУЛЬТУР НА ЗАХИЩЕНОМУ ҐРУНТІ

Розроблено модель оцінки та прогнозування інтегрального впливу регламентованих до вимірювального контролю параметрів мікроклімату промислових теплиць на врожайність рослин із використанням математичного апарату штучних нейронних мереж. Оцінено відносно значення с.к.в. похибки симуляційного прогнозування вимірювальної інформації, яке не перевищує $\pm 0,5\%$. Обґрунтовано структурні схеми процесу обробки потоків аналітичної вимірювальної інформації та апаратно-програмних засобів, що її реалізують. Поставлено вимоги до апаратного та програмного забезпечення комп'ютеризованої підсистеми, що реалізує розроблену модель оцінки та прогнозування в складі системи комплексної автоматизації промислових тепличних господарств із виробництва овочевої продукції. Встановлено сукупність пріоритетних перспективних напрямків подальших досліджень комп'ютеризованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових аграрних виробництв із захищеними ґрунтами.

Ключові слова: модель, прогнозування, вимірювання, мікроклімат, теплиця, штучна нейронна мережа, апаратно-програмна реалізація.

Загальна постановка задачі дослідження. Успішний розвиток агропромислового сектору та національної економіки будь-якої країни світу в теперішній час у цілому залежить не стільки від кліматичних умов та продуктивності ґрунтів, скільки від темпів і об'ємів впровадження інноваційних прогресивних технологій до сільськогосподарського (с/г) сегменту. В останній час вирішенню проблеми підвищення продуктивності агропромислового комплексу України приділяється значна увага з боку уряду держави. Однією з головних причин недостатньої ефективності с/г підприємств із виробництва тепличної овочевої продукції України є низький ступінь освоєння сучасних інформаційних і комп'ютерних технологій із автоматизації технологічних процесів вирощування культур на захищених ґрунтах.

На підставі аналізу показників технологій вирощування рослин у тепличних умовах встановлено, що особливої уваги потребує вирішення питань щодо отримання та дослідження закономірностей інтегрального впливу фізико-хімічних параметрів мікроклімату штучних екосистем на показники селекції, акліматизації та темпів зростання інтродукованих культур. Це дозволить виробити науково-обґрунтовану стратегію до розробки та впровадження ефективних агротехнічних прийомів щодо оптимізації технологічних процесів із вирощування тепличної флори. Більшість відомих на теперішній час систем комплексної автоматизації промислових теплиць характеризується загальним вагомим недоліком, який полягає у відсутності можливості інтегральної багатофакторної оцінки та прогнозування впливу фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць на якість вирощування культур на захищених ґрунтах. Одним із необхідних етапів щодо вирішення цієї науково-прикладної задачі є обґрунтування моделі оцінки та прогнозування якісних і кількісних показників темпів та об'ємів вирощування тепличних рослин з її подальшою апаратно-програмною реалізацією із використанням сучасних мікропроцесорних та інфокомунікаційних технологій

щодо автоматизації промислових теплиць.

Формалізація задачі дослідження. Мета статті полягає в розробці математичної моделі багатofакторної оцінки та екстраполяції інтегрального впливу фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць на показники якості вирощування культур на захищеному ґрунті, а також обґрунтуванні вимог до апаратно-програмного забезпечення комп'ютеризованої системи її реалізації задля покращення ефективності технологічних процесів вирощування інтродукованої флори в умовах штучних екосистем.

Задля досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено такі задачі:

- аналіз характеристик існуючих апаратно-програмних рішень із оцінки та прогнозування аналітичної вимірювальної інформації щодо показників технологічних процесів вирощування тепличних культур;

- розробка та тестування моделі оцінки та прогнозування інтегрального впливу регламентованих до вимірювального контролю параметрів мікроклімату теплиць на якість вирощування рослин;

- обґрунтування сукупності вимог до апаратного та програмного забезпечення комп'ютеризованої підсистеми, що реалізує розроблену модель оцінки та прогнозування в складі системи комплексної автоматизації промислових тепличних господарств із виробництва овочевої продукції;

- розробка рекомендацій щодо пріоритетних напрямків подальших досліджень комп'ютеризованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць на базі моделі оцінки та прогнозування показників якості вирощування тепличних культур на захищених ґрунтах.

Результати досліджень. Одним із найбільш ефективних та перспективних підходів до вирішення задачі побудови моделі інтегральної оцінки та прогнозування аналітичної вимірювальної інформації щодо динаміки фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць є використання теоретичного апарату штучних нейронних мереж (ШНМ) [1, 2]. Шляхом порівняльного аналізу основних характеристик відомих архітектур побудови ШНМ у якості базового типу обрано багатoshаровий персептрон, який реалізує функції апроксимації, згладжування та прогнозування інформації [3, 4].

Отже, під час розробки моделі оцінки та прогнозування параметрів якості вирощування культур на захищених ґрунтах виникає необхідність обґрунтування структури конкретної ШНМ типу багатoshаровий персептрон. В якості вхідного шару ШНМ обрано десять найбільш інформативних параметрів мікроклімату промислових теплиць [5] серед тих, які рекомендовано до вимірювального контролю нормативними документами [6, 7], а саме:

- кислотність поливної води (pH_{water}) у діапазоні зміни від 5 до 7 од.;
- електропровідність поливної води (σ_{water}) у діапазоні зміни від 1,5 до 2,5 мСм/см;
- температура поливної води (t_{water}) у діапазоні зміни від 14 до 25 °С;
- концентрація двоокису вуглецю (C_{CO_2}) в зоні вирощування рослин у діапазоні зміни від 0,05 до 0,33 об.%;

- рівень освітленості зони вирощування рослин із урахуванням фізіологічно значущих зон фотосинтетично активної радіації (E_{light}) у діапазоні зміни від 150 до 300 Вт/м²;

- температура ґрунту (t_{soil}) в діапазоні зміни від 15 до 25 °С;

- вологість ґрунту (W_{soil}) в діапазоні зміни від 30 до 90 %;

- температура повітря в зоні вирощування рослини (t_{air}) у діапазоні зміни від 14 до 26 °С;

- вологість повітря в зоні вирощування рослин (W_{air}) у діапазоні зміни від 30 до 90 %;

- швидкість руху потоків повітря (V_{air}) у діапазоні зміни від 0,25 до 1 м/с.

У ролі вихідного шару розроблюваної ШНМ для оцінки та прогнозування якості вирощування тепличних культур виступають нормовані значення врожайності (Y , кг/м²), які приводяться до максимально можливого значення (Y_{max} , кг/м²). Отже, вихідне значення розроблюваної ШНМ може змінюватись в діапазоні від 0 до 1.

Кількість нейронів прихованого шару визначається за формулою, що є наслідком із теореми Арнольда–Колмогорова–Хехт–Нільсена [8]:

$$N_{HL} = \frac{W}{N_{IL} + N_{OL}}, \quad (1)$$

де N_{HL} – кількість нейронів прихованого шару; W – необхідна кількість синоптичних вагових коефіцієнтів; N_{IL} – розмірність вхідного шару; N_{OL} – розмірність вихідного шару.

Необхідне для розрахунку кількості нейронів прихованого шару (N_{HL}) число синоптичних вагових коефіцієнтів (W) визначається за наступною формулою [9]:

$$\frac{N_{OL} \cdot M}{1 + \log_2(M)} \leq W \leq N_{OL} \cdot \left(\frac{M}{N_{IL}} + 1 \right) \cdot (N_{IL} + N_{OL} + 1) + N_{OL}, \quad (2)$$

де M – об'єм вибірки даних, що використовується для навчання розроблюваної ШНМ.

У досліджуваному випадку отримане значення кількості нейронів прихованого шару (N_{HL}) змінюється в діапазоні від 3 до 37, за наступних вихідних даних для розрахунків: $N_{IL}=10$; $N_{OL}=1$; $M=20$. Об'єм вибірки даних, що використовується для навчання розроблюваної ШНМ (M) було отримано шляхом лабораторних випробувань розроблених вимірювальних каналів комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи параметрів мікроклімату промислових теплиць [10–12] та запозичення із наукового джерела [13] для технологічних процесів із вирощування тепличних огірків. Отже, число нейронів прихованого шару ШНМ (N_{HL}) обрано рівним 20, що відповідає середньому арифметичному отриманого допустимого діапазону.

Загальний вигляд структури розробленої ШНМ для оцінки та прогнозування інтегрального впливу фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць на нормоване значення врожайності інтродукованих культур наведено на рис. 1.

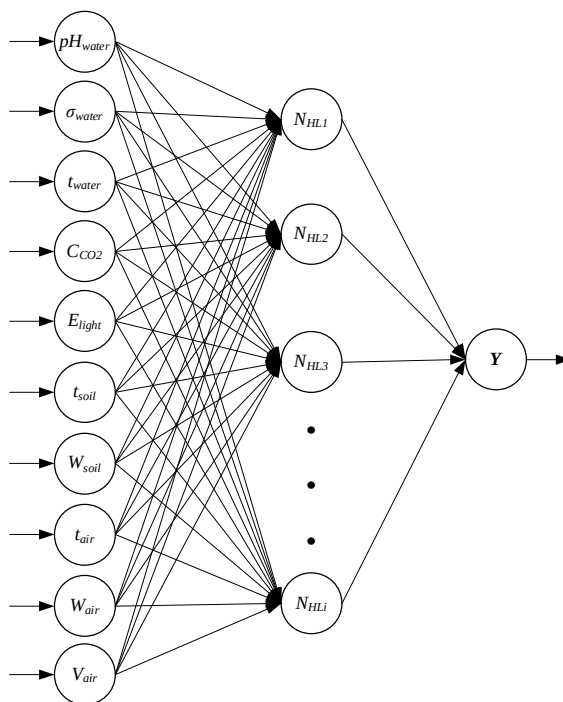


Рисунок 1 – Структура розробленої ШНМ для оцінки та прогнозування врожайності тепличних культур

Таким чином, розроблено модель ШНМ із наступною архітектурою 10:20:1, яка включає 10 входів (вимірювані параметри мікроклімату теплиць), 20 нейронів прихованого шару та 1 нейрон вихідного шару (нормоване значення врожайності). Моделювання досліджуваної моделі виконано із використанням сервісу Neural Network Matlab. Вихідні дані, які було закладено у модель: тип вирощуваних тепличних культур – огірок; пропорція даних для тренування (train) – перевірки (validation) – тестування (test) становить 70 – 15 – 15 % від загальної вибірки експериментальних даних [10–13]; функція активації нейронів – сигмоїдальна; алгоритм оптимізації параметрів моделі – Левенберга-Маркварда зі зворотнім розповсюдженням помилки. Результати моделювання розробленої ШНМ оцінки та прогнозування якості вирощування тепличних культур щодо статистики її навчання наведено на рис. 2 у вигляді логарифму зміни середнього квадратичного відхилення (с.к.в.) похибок у процесі навчання системи.

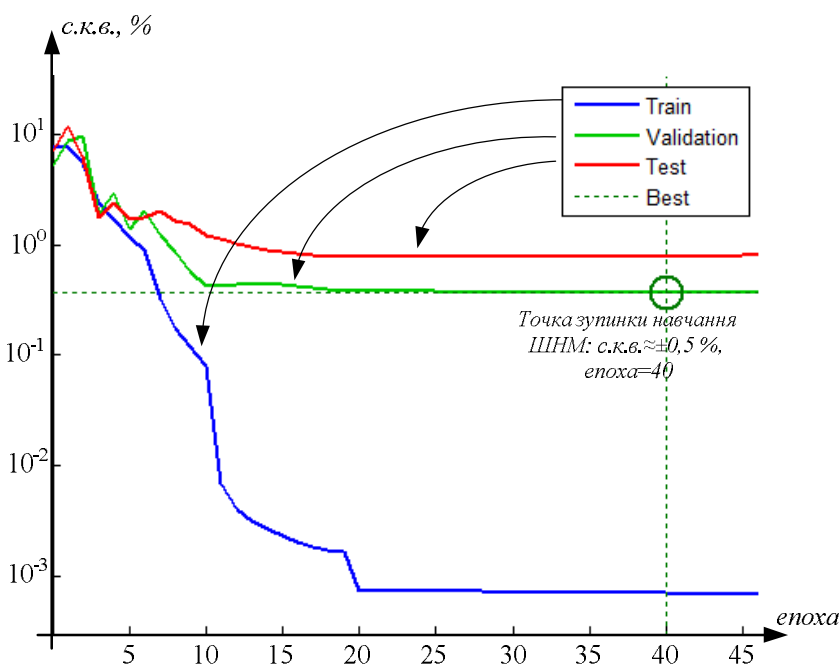


Рисунок 2 – Динаміка с.к.в. похибки навчання розробленої ШНМ

Із аналізу отриманих результатів моделювання, які наведено на рис. 2, можна зробити наступні висновки щодо задовільної адекватності розробленої ШНМ оцінки та прогнозування інтегрального впливу фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць на показник врожайності інтродукованих культур:

- похибки перевірного (validation) та тестового (test) наборів вихідних даних мають аналогічну динаміку, а також не спостерігається їх збільшення зі зростанням кількості епох навчання розробленої ШНМ;

- відносне значення с.к.в. похибки симуляційного прогнозування вимірювальної інформації не перевищує $\pm 0,5\%$.

Таким чином, у випадку, коли відомі діапазони та допустимі значення похибок вимірювання фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць із використанням розробленої моделі можна вирішувати задачі статистичного контролю та прогнозування показника врожайності інтродукованих тепличних культур. Задля вирішення задачі апаратно-програмної реалізації розробленої моделі оцінки та прогнозування якості вирощування тепличних рослин проведено аналіз обов'язкових етапів обробки вимірювальної аналітичної інформації [2] та їх групування за логічними рівнями та відповідними функціональними зв'язками. На підставі цього обґрунтовано структурні схеми процесу

обробки потоків вимірювальної інформації та апаратно-програмних засобів, що реалізують алгоритми автоматичного моніторингу та управління параметрами мікроклімату теплиць із використанням запропонованої ШНМ (див. рис. 1), які відповідно наведено на рис. 3а, б.

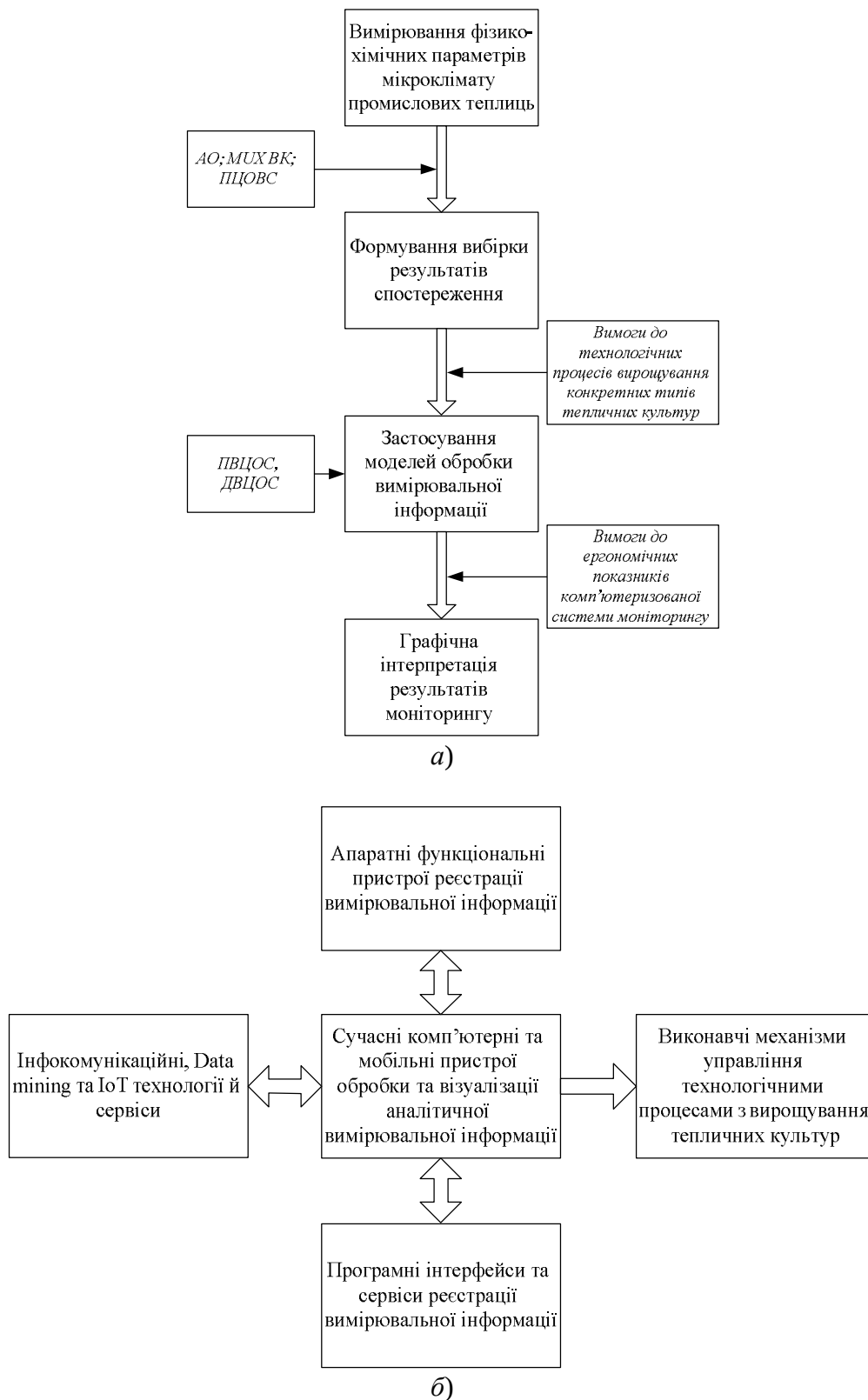


Рисунок 3 – Структурні схеми процесу обробки потоків аналітичної вимірювальної інформації (а) та апаратно-програмних засобів, що її реалізують (б)

На рис. 3а, б введено такі позначення:

- АО – аналогова обробка електричних сигналів, яка полягає у фільтрації та масштабуванні вихідних струмів та е.р.с. відповідних сенсорів;
- MUX ВК – мультиплексування вимірювальних каналів системи;
- ПЦОВС – первинна цифрова обробка вихідних сигналів, а саме: перетворення аналогових сигналів у цифрові, виявлення й зменшення імпульсних завад та усереднення в часі пакетів кодових комбінацій.
- ПВЦОС – перший рівень вторинної цифрової обробки сигналів, яка полягає в обчисленні значень цифрових сигналів у одиницях вимірювання фізичних величин, що підлягають моніторингу, обчислення виправлень щодо результатів вимірювань та функціональна корекція отриманих результатів.
- ДВЦОС – другий рівень вторинної цифрової обробки, який полягає у визначенні оціночного та прогнозованого значень інтегрального стану мікроклімату промислових теплиць, а також у екстраполяції результатів якості вирощування конкретних типів тепличних культур із урахуванням результатів моніторингу та обробки аналітичної вимірювальної інформації зі застосуванням розробленої ШНМ (див. рис. 1).

Таким чином, задля забезпечення вимоги комплексності розробки та реалізації моделі та комп'ютеризованих засобів багатофакторної оцінки та прогнозування параметрів якості вирощування культур на захищеному ґрунті, необхідно провести теоретичні та експериментальні дослідження за наступними пріоритетними напрямками:

- накопичення значних об'ємів результатів вимірювання фізико-хімічних параметрів мікроклімату промислових теплиць у реальних умовах вирощування культур;
- кореляційний аналіз результатів вимірювального контролю з подальшим ітераційним перенавчанням ШНМ оцінки та прогнозування якості вирощування тепличної флори із урахуванням її типів та фаз зростання;
- розробка способів та засобів із підвищення точності та метрологічної надійності мережної реєстрації, обробки та зберігання результатів вимірювального контролю параметрів мікроклімату штучних екосистем із захищеними ґрунтами;
- синтез апаратно-програмних засобів, які забезпечать ефективний адаптивний моніторинг та керування технологічними процесами з вирощування культур на захищених ґрунтах.

Висновки

1. Проведено якісний і кількісний аналіз характеристик існуючих апаратно-програмних рішень із оцінки та прогнозування аналітичної вимірювальної інформації щодо показників технологічних процесів вирощування тепличних культур.

2. Розроблено модель оцінки та прогнозування інтегрального впливу регламентованих до вимірювального контролю параметрів мікроклімату теплиць на якість вирощування рослин із використанням математичного апарату штучних нейронних мереж. У результаті моделювання розробленої ШНМ встановлено, що відносне значення с.к.в. похибки симуляційного прогнозування вимірювальної інформації не перевищує $\pm 0,5\%$, це свідчить про її задовільний рівень адекватності.

3. Обґрунтовано структурні схеми процесу обробки потоків аналітичної вимірювальної інформації та апаратно-програмних засобів, що її реалізують, а також вимоги до апаратного та програмного забезпечення комп'ютеризованої підсистеми, що реалізує розроблену модель оцінки та прогнозування в складі системи комплексної автоматизації промислових тепличних господарств із виробництва овочевої продукції.

4. Встановлено сукупність пріоритетних перспективних напрямків подальших досліджень комп'ютеризованої системи моніторингу та керування параметрами мікроклімату промислових теплиць на базі розробленої моделі оцінки та прогнозування показників якості вирощування тепличних культур на захищених ґрунтах.

Перелік використаної літератури

1. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин; [пер. с англ.]. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
2. Хабурзания, Т.З. Нейросетевое моделирование при решении обратных задач обработки аналитической информации / Т.З. Хабурзания // Штучний інтелект. – К., 2010. – № 4. – С. 688 – 696.
3. Федоров, Е.Е. Искусственные нейронные сети: монография / Е.Е. Федоров. – Красноармейск: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 338 с.
4. Гулаков, К.В. Выбор архитектуры нейронной сети для решения задач аппроксимации и регрессионного анализа экспериментальных данных / К.В. Гулаков // Вестник Брянского нац. техн. ун-та. – Брянск, 2013. – № 2 (38). – С. 95 – 105.
5. Лактіонов, І.С. Комп'ютеризовані вимірювачі комплексу фізичних параметрів ґрунтів та мікроклімату промислових теплиць: монографія / І.С. Лактіонов, О.В. Вовна, А.А. Зорі. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – 212 с.
6. ВНТП АПК–19–07. Тепличні і оранжерейні підприємства. Споруди захищеного ґрунту для фермерських (селянських) господарств: Відомчі норми технологічного проектування / М-во аграр. політ. України. – К.: «ХІК», 2007. – 140 с.
7. НТП АПК 1.10.09.001-02. Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц: Ведомственные нормы технологического проектирования / Минсельхоз РФ. – М.: Гипронисельпром, 2003. – 24 с.
8. Ясницкий, Л.Н. Введение в искусственный интеллект: учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений / Л.Н. Ясницкий. – 3-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 176 с.
9. Федин, С.С. Многофакторное прогнозирование качества изготовления неразъемных соединений / С.С. Федин, Н.А. Зубрецкая // Системи обробки інформації. – Харків, 2011. – Вип. 8 (98). – С. 130 – 134.
10. Лактіонов, І.С. Результати експериментальних досліджень комп'ютеризованого вимірювача фізичних параметрів тепличних ґрунтів з компенсацією дестабілізуючих впливів / І.С. Лактіонов // Наук. пр. Донецьк. нац. техн. ун-ту. Сер.: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – м. Покровськ (Красноармійськ), 2016. – Вип. 1 (29)' 2016. – С. 124 – 135.
11. Вовна, О.В. Апаратно-програмна реалізація комп'ютеризованого вимірювача концентрацій вуглецю для аграрних та вуглевидобувних підприємств / О.В. Вовна, І.С. Лактіонов, Р.Н. Ахмедов // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference «Science and Education – Our Future», November 29 – 30, 2016. – Ajman (UAE), 2016. – № 12 (16). – Vol. 1. – С. 10 – 15.
12. Лактіонов, І.С. Комп'ютеризованная система контроля микроклимата теплиц с использованием инфокоммуникационных технологий / И.С. Лактіонов, И.А. Михайлюта, В.А. Лебедев и др. / 36. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології, 29 – 30 лист. 2016. – Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. – С. 165 – 167.
13. Юрина, А.В. Теоретическое обоснование приемов повышения урожайности огурца в теплицах: автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. с.-х. наук: спец. 06.01.06 «Овощеводство» / Юрина Анна Васильевна; Санкт-Петербургский государственный университет. – СПб, 1995. – 46 с.

References

1. Haykin, S. (2006), *Neyronnyie seti: polnyi kurs* [Neural networks: a complete course], Izdatelskiy dom «Vilyams», Moscow, Russian Federation.
2. Haburzaniya, T.Z. (2010), «Neural network modeling for solving of the inverse problems

- processing of the analytical information», *Shtuchniy intelekt*, no. 4, pp. 688 – 696.
3. Fedorov, E.E. (2016), *Iskusstvennyie neyronnyie seti: monografiya* [Artificial neural networks: a monograph], SHEE «DonNTU», Krasnoarmeysk, Ukraine.
 4. Gulakov, K.V. (2013), «The neural network architecture choice for the solving problems of the experimental data approximation and regression analysis», *Vestnik Bryanskogo nats. tehn. un-ta*, no. 2 (38), pp. 95 – 105.
 5. Laktionov, I.S., Vovna O.V. and Zori A.A. (2016), *Komp'yuteryzovani vymiryuvachi kompleksu fizychnykh parametriv gruntiv ta mikroklimatu promyslovykh teplyts': monohrafiya* [The computerized meters of the physical parameters complex of the industrial greenhouses soils and microclimate: a monograph], SHEE «DonNTU», Pokrovs'k, Ukraine.
 6. Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine (2007), *VNTP APK–19–07. Teplychni i oranzhereyni pidpryyemstva. Sporudy zakhyshchenoho gruntu dlya fermers'kykh (selyans'kykh) hospodarstv: Vidomchi normy tekhnologichnoho proektuvannya* [VNTP APK–19–07. Greenhouse and orangery companies. Protected soil structures for farming (rural) farms: Standards for technological designing], Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, Kiev, Ukraine.
 7. Ministry of Agriculture RF (2003), *NTP APK 1.10.09.001-02. Normyi tekhnologicheskogo proektirovaniya selektsionnykh kompleksov i reproduktsionnykh teplits: Vedomstvennyie normyi tekhnologicheskogo proektirovaniya* [Norms of the technological designing breeding complexes and reproduction greenhouses: Departmental rules of the technological designing], Ministry of Agriculture RF, Moscow, Russian Federation.
 8. Yasnitskiy, L.N. (2005), *Vvedenie v iskusstvenniy intellekt: ucheb. posob. dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy: 3-e izd.* [Introduction to artificial intelligence: a tutorial for university students: 3rd ed.], Izdatelskiy tsentr «Akademiya», Moscow, Russian Federation.
 9. Fedin, S.S. and Zubretskaya N.A. (2011), «Multifactorial prediction of the permanent connections manufacturing quality», *Sistemy obrobky informatsiyi*, no. 8 (98), pp. 130 – 134.
 10. Laktionov, I.S. (2016), «The experimental studies results of the computerized meter of the greenhouse soils physical parameters with destabilizing influences compensation», *Nauk. pr. DonNTU. Ser.: «Obchyslyval'na tekhnika ta avtomatyzatsiya»*, no. 1 (29)' 2016, pp. 124 – 135.
 11. Vovna, O.V., Laktionov I.S. and Akhmedov R.N. (2016), «The hardware and software implementation of the carbon concentration computerized meter for the agricultural and mining enterprises», *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference «Science and Education – Our Future»*, no. 12 (16) Vol. 1, pp. 10 – 15.
 12. Laktionov, I.S., Mikhaylyuta I.A., Lebedev V.A. etc (2016), «Computerized monitoring system of the greenhouses microclimate using information and communication technologies», *Zb. dopovidey Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh «TAK»: telekomunikatsiyi, avtomatyka, komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi*, pp. 165 – 167.
 13. Jurina, A.V. (1995), *Teoreticheskoe obosnovanie priemov povysheniya urozhajnosti ogurca v teplicah* [The theoretical substantiation of the increasing methods of greenhouses cucumber productivity], Abstract of Doctor of Science dissertation, Ovoshhevodstvo, Sankt-Peterburgskij gos. un-t, Saint Petersburg, Russian Federation

Надійшла до редакції:
27.02.2017

Рецензент:
д-р техн. наук, доц. Вовна О.В.

И.С. Лактионов

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

Обоснование модели многофакторной оценки и прогнозирования параметров качества выращивания культур на защищенном грунте. Разработана модель оценки и прогнозирования интегрального воздействия регламентированных к измерительному контролю

параметров микроклимата промышленных теплиц на урожайность растений с использованием математического аппарата искусственных нейронных сетей. Выполнена оценка относительного значения с.к.о. погрешности симуляционного прогнозирования измерительной информации, не превышает $\pm 0,5\%$. Обоснованы структурные схемы процесса обработки потоков аналитической измерительной информации и аппаратно-программных средств, которые ее реализуют. Поставлены требования к аппаратному и программному обеспечению компьютеризированной подсистемы, которая реализует разработанную модель оценки и прогнозирования в составе системы комплексной автоматизации тепличных хозяйств по производству овощной продукции. Установлена совокупность приоритетных перспективных направлений дальнейших исследований компьютеризированной системы мониторинга и управления параметрами микроклимата промышленных аграрных производств с защищенными грунтами.

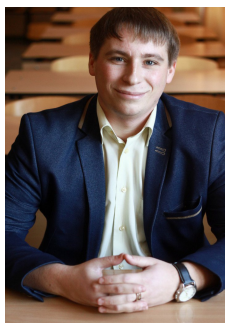
Ключевые слова: модель, прогнозирование, измерение, микроклимат, теплица, искусственная нейронная сеть, аппаратно-программная реализация.

I. Laktionov

Donetsk National Technical University

Substantiation of the multivariate estimation and predictive model of the crop cultivation quality parameters on the protected ground. Qualitative and quantitative analysis of the existing hardware and software solutions for the evaluation and predictive of the analytical measuring data has been performed. The estimation and predictive model of the greenhouses plants growing quality has been developed. This model takes into account the integrated impact of the industrial greenhouses microclimate measured parameters into plant productivity. The model has been designed using the mathematical apparatus of the artificial neural networks. Evaluation of the relative mean square deviation of measurement information simulation prediction error has been performed. It was found that this error doesn't exceed $\pm 0.5\%$. This fact indicates a satisfactory adequacy level of the developed model. The error dynamics of test, training and validation data samples has been investigated. It has been established that they have a similar trend. The developed model research has been performed for greenhouse cucumbers. The block diagram of the analytical measuring information flow processing has been developed. The block diagram of the hardware and software for the data processing has been designed. Requirements to hardware and software subsystems of the computerized monitoring and control device have been established. These subsystems implement developed estimation and predictive model as part of the overall greenhouses automation system for the vegetable production. Set of the priority areas for further perspective research of the computerized monitoring and control system of the microclimate parameters of the industrial agricultural production with protected ground has been established.

Keywords: model, prediction, measurement, microclimate, greenhouse, artificial neural network, hardware and software implementation.



Лактіонов Іван Сергійович, Україна, закінчив ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», кандидат технічних наук, доцент кафедри електронної техніки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85301, Україна). Основний напрямок наукової діяльності – прогресивні технології з підвищення ефективності комп'ютеризованих вимірювачів фізико-хімічних параметрів мікроклімату штучних екосистем.