

METHOD FOR PLANNING THE ROUTES OF UNMANNED HARVESTING VEHICLES USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

S. Shvorov, D. Komarchuk, V. Lukin, D. Chyrchenko

Abstract. *The current trends in the use of unmanned vehicles in the agriculture of Western countries are analyzed. Prospective innovative technologies and the method of planning routes for unmanned harvesting equipment are considered depending on the availability of crops and obstacles on their way of travel. The main tasks for the integrated use of unmanned aerial vehicles and unmanned harvesting equipment for effective planning and harvesting are formulated.*

Keywords: *technology, unmanned aerial vehicles, precision agriculture, route planning, traffic control, unmanned harvesting equipment*

УДК 504.064.3:631.589

АЛГОРИТМ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ КРАПЕЛЬНОГО ЗРОШЕННЯ В ТЕПЛИЦІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН РОСЛИНИ

В. М. РЕШЕТЮК, кандидат технічних наук, доцент
Т. І. ЛЕНДЄЛ, кандидат технічних наук, старший викладач
Б. В. КУЛЯК, аспірант*

*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
E-mail: kul10@i.ua

Анотація. *Наведено текстовий опис та блок-схему алгоритму прийняття рішень щодо проведення зрошення огірка за вирощування у тепличних умовах.*

Метою роботи є розробка алгоритму прийняття рішень для керування системою краплинного зрошення із використанням інформації про біометричний стан рослини.

Динаміка водного потоку в рослині на фоні змін параметрів навколишнього середовища визначалась за даними системи вимірювання тургорного тиску в листках рослини в режимі реального часу, чутливим елементом якої було вибрано електростатичний (ємнісний) перетворювач. Даний перетворювач реалізований у вигляді сенсора (SG-1000 Leaf Sensor, Agrihouse Inc.). Виходи напруги від сенсорів подавались на виходи багатоканального А/D-перетворювача

* Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент В. М. Решетюк

© В. М. Решетюк, Т. І. Лендєл, Б. В. Куляк, 2017

програмованого пристрою Arduino Mega ADK, який виконує функцію керування системою фітомоніторингу.

У роботі проведено аналіз даних про біометричний стан рослини (тургорний тиск) та мікроклімат в теплиці, отриманих від розробленого вимірювального електротехнічного комплексу (системи фітомоніторингу).

Розроблено алгоритм прийняття рішень для системи автоматичного керування зрошенням із використанням інформації про товщину листка.

Наведено економію використання живильного розчину системою керування зрошення із біометричними даними про рослину порівняно із звичайною системою з часовим режимом, що сягає до 30%.

Ключові слова: алгоритм, режими керування, крапельне зрошення, мікроклімат в теплиці, сенсор, фітомоніторинг

Актуальність. Потенціал тепличного виробництва дозволяє отримувати великі врожаї лише за умов створення оптимального мікроклімату, який досягається розробкою ефективного алгоритму прийняття рішень для системи управління технологічними процесами [8]. В кожній рослині проходить водний обмін речовин, необхідний для підтримки життєдіяльності. Загальний вигляд водного обміну наступний: вода поглинається корінням, піднімається стеблом (ксилемний потік) і через листя потрапляє назовні (транспірація). З даним явищем пов'язані практично всі процеси, які протікають в рослині. Технологічний процес, від якого напряму залежить водний баланс та подача необхідних мікроелементів для забезпечення життєдіяльності рослини – це крапельне зрошення. Створення режиму для керування наведеним вище процесом і пропонується в даній роботі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для спостереження за фізіологічним станом рослин застосовують методологію фітомоніторингу [3, 4], головним завданням якого є діагностика рослин відповідного генотипу за різних ґрунтово-кліматичних умов [2].

Існує декілька способів визначення дефіциту водного живлення рослини.

Нестачу у водному живленні можна визначати за вмістом цукрів в клітинному соку рослини, який визначається рефрактометрично. Недоліком даного варіанту є те, що для аналізу беруться окремі частини рослини. Даний метод не можна застосовувати, коли потрібно визначати стан окремої рослини без порушення її життєдіяльності [5].

Також відомий спосіб визначення дефіциту водного живлення на основі вимірювання різниці температур листка рослини і навколишнього повітря. За даним способом вважається, що рослина потребує води, якщо температура листка на 1-3°C вище температури повітря. Недоліком методу являється те, що критерій оцінки не є цілком адекватним для прийняття рішень щодо необхідності подачі живлення [6].

Для поставленої задачі було вибрано спосіб, за якого дефіцит водного живлення рослини визначається без порушення її життєдіяльності і отримання кількісної оцінки рівня дефіциту, який наведений [7] і полягає у визначенні тургорного тиску листка рослини за допомогою зовнішніх сенсорів.

Мета дослідження – на підставі аналізу даних про біометричний стан рослини та мікроклімат в теплиці, отриманих від раніше розробленого вимірювального електротехнічного комплексу (системи фітомоніторингу), розробити алгоритм прийняття рішень щодо режиму керування виконавчими механізмами системи краплинного зрошення.

Матеріали і методи дослідження. Динаміка водного потоку в рослині на фоні змін параметрів навколишнього середовища визначалась за даними системи вимірювання тургорного тиску в листках рослини в режимі реального часу, чутливим елементом якої було вибрано електростатичний (ємнісний) перетворювач. Даний перетворювач реалізований у вигляді сенсора (SG-1000 Leaf Sensor, Agrihouse Inc.). Виходи напруги від сенсорів подавались на виходи багатоканального A/D-перетворювача програмованого пристрою Arduino Mega ADK, який виконує функцію керування раніше розробленою системою фітомоніторингу [1]. Дані відображались і реєструвались на портативному комп'ютері за допомогою спеціального програмного забезпечення для збору даних, розробленого на базі апаратно-обчислювальної платформи Arduino, основним компонентом для розробки є середовище Processing/Wiring на мові програмування, що є підмножиною C/C++. Сенсори товщини листка були відкалібровані від відомих товщин різних тонких матеріалів та кожен був прикріплений до відповідного листка на рослині. Інформація про товщину листа записувалася у файл з даними кожні 5 сек., де точність вимірювання становила 0,5 ... 1 мкм.

Результати досліджень та їх обговорення. З грудня 2015 року по березень 2016 року на дослідній теплиці науково-практичного центру тепличних технологій були проведені дослідження з автоматизованої реєстрації значень зміни тургорного тиску в листках рослин (гібрид огірків Беттіна F1), а також температури та вологості повітря навколо рослин, температури та вологості ґрунту, рівня освітленості та концентрації CO₂ у повітрі. За результатами вимірювань встановлено закономірність зміни товщини листка за різних стресових ситуацій.

На рис. 1 наведено добовий графік коливань товщини листка за відсутності стресових умов навколишнього середовища. Із добового графіка видно, що товщина листка в нічні години (0 ... 6 год.) майже не змінювалась і коливалась біля позначки 150 мкм, але почала зменшуватися близько 6 год. 50 хв. ранку в час сходу сонця. Згідно технології вирощування о 7 год. 30 хв. ранку система керування вмикала крапельне зрошення. Між 9 год. 30 хв. і 13 год. 30 хв. проявились помітні коливання товщини листка – це свідчить про активізацію процесів життєдіяльності у рослині, таких як відновлення водного балансу через коріння, ксилемний потік стеблом рослини, транспірація та фотосинтез.

Біля 15 години спостерігалася мінімальна товщина листка, близько 130 мкм, що пояснюється прискореним вивільненням вологи рослини (транспірація) у зв'язку з піковим значенням денної температури. Завершення процесу фотосинтезу сповільнило транспірацію і зазначене дало змогу накопичувати воду в рослині, тому на графіку спостерігається збільшення товщини листка із 19 год. до 23 год. А в подальші нічні години значення товщини листка залишалось майже не змінним.



Рис. 1. Добовий графік товщини листка за відсутності стресових умов навколишнього середовища (24.02.2016 р.)

Провівши вище наведені вимірювання, було отримано дані товщини листка (130...150 мкм) без стресових ситуацій та за звичайного режиму крапельного зрошення за таймером.

Потім були проведені дослідження із використанням вище проаналізованої інформації про товщину листка – як вхідний параметр для системи зрошення, а не за часовим режимом. Відсоток порогового рівня зрошення варіювався від 5 до 30% з кроком 5%, враховуючи максимальну товщину листа та змінювався автоматично у момент запуску процесу зрошення.

Враховуючи граничний рівень зрошення проводилося вмикання системи автоматичного регулювання процесу поливу. Нами визначено, що рівень зрошення в межах 5-15% не може бути використаний за зрошення, оскільки товщина листа знаходиться у необхідних межах. В ході експерименту товщина листка зменшувалася до 20% нижче максимального значення для визначення закономірності зміни зменшення товщини листа від дефіциту води протягом добових коливань, що дозволить використовувати цю інформацію для ініціювання запуску автоматичної системи крапельного зрошення.

Для керування системою крапельного зрошення за фізіологічним станом рослин було підібрано алгоритм, котрий виконуватиме зазначені обмеження:

1) зрошення починаються тоді, коли рівень значення товщини листка (k) знижується більш ніж на 20% ($k > 20$) по відношенню до заданого максимального значення;

2) зрошення, з метою усунення водного дефіциту у рослині, в денні години відбуваються за температурі повітря більше $+18^{\circ}\text{C}$ та вологості ґрунту менше 85%;

3) зрошення вимикається за падіння температури нижче $+18^{\circ}\text{C}$ та зниження вологості повітря 65% і ґрунту менше 60% ,так як ці значення виходять за рекомендовані агротехнічні норми вирощування;

4) зрошення вимикають у разі досягненні значення $k < 20$;

5) обов'язковою умовою проведення крапельного зрошення є переривчастий цикл роботи системи (зрошення-пауза).

На основі обмежень створено алгоритм прийняття рішень автоматичного керування системою крапельного зрошення.

За умови забезпечення процесу зрошення вимірюються параметри:

s – товщина листка рослини (приймає значення рівне 0, якщо $k < 20$, та дорівнює 1, якщо $k > 20$); T – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$; H – відносна вологість повітря, %; G – відносна вологість ґрунту, %.

На блок-схемі (рис. 2) наведено такі позначення:

- умова №1: ($T \geq 18^{\circ}\text{C}$) AND ($H \geq 65\%$) AND ($G \geq 60\%$);
- умова №2: ($G \geq 85\%$);
- умова №3: ($s = 0$).

Помилка: сигналізує про параметри мікроклімату, які недопустимі для вирощування рослин, що вказує на несправність системи автоматичного керування мікрокліматом в теплиці.

Складений алгоритм роботи системи керування наведено блок-схемою на рис. 2.

На схемі представлений алгоритм прийняття рішень для необхідності увімкнення зрошення за даними про біометричний стан рослини (тургорний тиск в листках) та параметрів мікроклімату в теплиці. Вимірювання параметрів проводиться через зведені до мінімуму проміжки часу.

Змінна алгоритму для увімкнення/вимкнення зрошенням:

- *irrigation* – змінна, що приймає значення 0, якщо зрошення вимкнено та дорівнює 1, якщо зрошення увімкнено;
- якщо товщина листка менша від заданого значення ($s = 1$), то систему зрошення потрібно увімкнути, і в протилежному випадку ($s = 0$) систему необхідно вимкнути.

Наведений алгоритм прийняття рішень реалізований в середовищі Processing/Wiring на базі апаратно-обчислювальної платформи Arduino.

Після розробки алгоритму прийняття рішень для нового режиму, було проведено дослідження, що спрямоване на визначення витрат живильного розчину за стандартного керування за таймером та за автоматичного керування зрошенням з використанням інформації про товщину листка, результати якого наведені нижче (рис. 3).

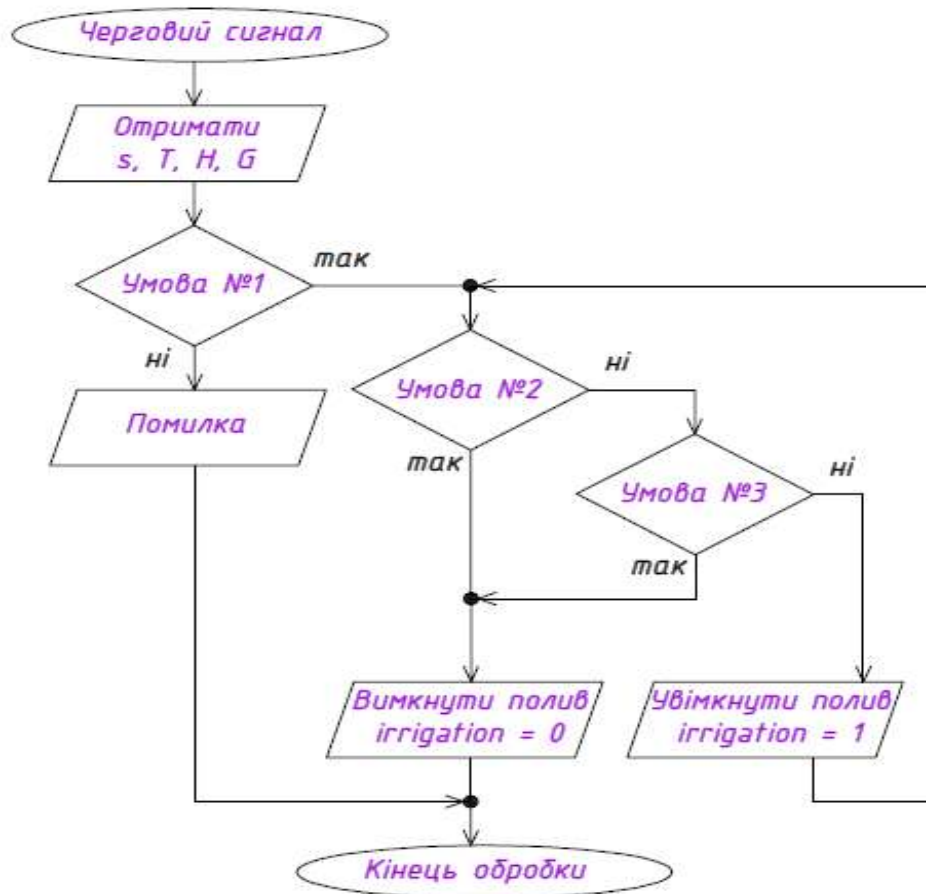


Рис. 2. Блок-схема процесу керування режимом крапельного зрошення

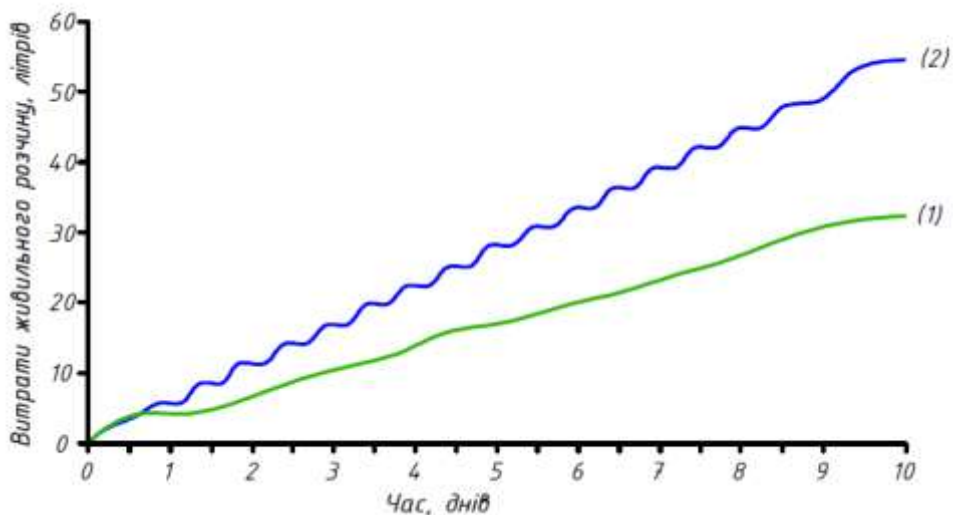


Рис. 3. Сукупні витрати живильного розчину системою 1 з використанням інформації про товщину листка для автоматичного зрошення порівняно із системою 2 зрошення за часовим режимом

Аналізуючи дані із систем, отримуємо результати: системою керування за часовим режимом було використано 55 літрів живильного розчину протягом 10 днів, у свою чергу, системою керування із даними від

сенсора товщини листка було витрачено 32 літри розчину для живлення рослин.

Таким чином, автоматизованій системі зрошення з використанням інформації від сенсорів товщини листа та з розробленим алгоритмом прийняття рішень потрібно в середньому лише 70% живильного розчину від використаного розчину системою із таймерним режимом зрошення.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Проведено аналіз даних про біометричний стан рослини (тургорний тиск) та мікроклімат в теплиці, отриманих від розробленого вимірювального електротехнічного комплексу (системи фітомоніторингу). Визначено, що тургорний тиск (товщина листка) рослини, залежить від обраного режиму керування системою зрошення.

Розроблено алгоритм прийняття рішень для системи автоматичного керування зрошенням із використанням інформації про товщину листка.

Наведено економію використання живильного розчину системою керування зрошення із біометричними даними про рослину порівняно із звичайною системою з часовим режимом, що сягає до 30%.

Надалі передбачається розробка алгоритму прийняття рішень для системи автоматичного керування іншими технологічними процесами в теплиці з метою зменшення витрат електроенергії технічними засобами.

Список використаних джерел

1. 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.
2. Ильницкий, О. А. Основы фитомониторинга / О. А. Ильницкий, М. Ф. Бойко, М. И. Федорчук [и др.] – Херсон, 2005. – 345 с.
3. Лисенко, В. П. Фітотемпературний критерій оцінки розвитку рослини / В. П. Лисенко, І. М. Болбот, Т. І. Лендел. // Енергетика і автоматика. – 2013. – №3. – С. 122-128.
4. Радченко, С. С. Фитомониторинг и диагностика / С. С. Радченко // Биопизика растений и фитомониторинг: сб. науч. трудов. – Ленинград: АФИ, 1990. – С.11-27.
5. Способ диагностирования сроков и норм полива виноградников. Патент Российской Федерации МПК А01G25/00 [Текст] / Мусаев И. А., Салманов М. М., Караев М. К. – №2257706; заявка 25.11.2002; опубл. 10.08.2011.
6. Способ определения сроков полива при мелкодисперсном дождевании. Патент Российской Федерации МПК А01G25/00 [Текст] / Грамматикати О. Г.; Кузнецова Е. И. – №2113110; заявка 25.10.1995; опубл. 20.06.1998.
7. Hans-Dieter Seelig, J. Stoner II Richard, Alexander Hoehn, William Walter Adams, III (2010) Phytometric intelligence sensors. US patent. № 7660698 B1; app. 11/714,490; published 9.02.2010.
8. Korobiichuk, I., Lysenko, V., Reshetiuk, V., Lendiel, T., Kamiński, M. (2016). Energy-Efficient Electrotechnical Complex of Greenhouses with Regard to Quality of

Vegetable Production. In International Conference on Systems, Control and Information Technologies. – 2016 (pp. 243-251). Springer International Publishing.

References

1. 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, 51–53.
2. Ylnytskyi, O. A., Boiko, M. F., Fedorchuk, M. Y. (2005) Osnovy fitomonytorynha [Basics of phytomonitoring] Kherson, Ukraine, 345.
3. Lysenko, V. P., Bolbot, I. M., Lendiel, T. I. (2013) Fitotemperaturnyi kryterii otsinky rozvytku roslyny [Phyto-temperature criterion for evaluation of plant] Kyiv, Ukraine: Enerhetyka i avtomatyka, 3, 122–128.
4. Radchenko, S. S. (1990) Fytomonytorynh i dyahnostyka [Phytomonitoring and diagnostics] Leningrad, Russia: AFY, 11–27.
5. Musaev, Y. A., Salmanov, M. M., Karaev M. K. (2002) Method for diagnosing the timing and norms of watering vineyards. Patent of the Russian Federation IPC. A01G25/00. №2257706; declared 25.11.2002; published 10.08.2011.
6. Hrammatykaty, O. H.; Kuznetsova, E. Y. (1998) Method for determining the timing of irrigation with fine sprinkling. Patent of the Russian Federation IPC. A01G25/00. №2113110; declared 25.10.1995; published 10.08.2011.
7. Hans-Dieter Seelig, J. Stoner II Richard, Alexander Hoehn, William Walter Adams, III (2010) Phytometric intelligence sensors. US patent. № 7660698 B1; app. 11/714,490; published 9.02.2010.
8. Korobiichuk, I., Lysenko, V., Reshetiuk, V., Lendiel, T., Kamiński, M. (2016). Energy-Efficient Electrotechnical Complex of Greenhouses with Regard to Quality of Vegetable Production. In International Conference on Systems, Control and Information Technologies, 243-251. Springer International Publishing.

АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КАПЕЛЬНОГО ОРОШЕНИЯ В ТЕПЛИЦАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ РАСТЕНИЯ

В. М. Решетюк, Т. І. Лендєл, Б. В. Куляк

Аннотация. *Приведены текстовое описание и блок-схема алгоритма принятия решений о проведении орошения огурца при выращивании в тепличных условиях.*

Целью работы является разработка алгоритма принятия решений для управления системой капельного орошения с использованием информации о биометрический состоянии растения.

В работе исследована динамика водного потока в растении на фоне изменений параметров окружающей среды, которые определялись по данным системы измерения тургорного давления в листьях растения в режиме реального времени, чувствительным элементом которого был выбран электростатический (емкостный) преобразо-

ватель. Данный преобразователь реализован в виде сенсора (SG-1000 Leaf Sensor, Agrihouse Inc.). Выходы напряжения от сенсоров подавались на выходы многоканального А / D-преобразователя программируемого устройства Arduino Mega ADK, который выполняет функцию управления системой фитомониторинга.

В статье проведен анализ данных о биометрическом состоянии растения (тургорного давление) и микроклимата в теплице, полученных от разработанного измерительного электротехнического комплекса (системы фитомониторинга).

Разработан алгоритм принятия решений для системы автоматического управления орошением с использованием информации о толщине листа.

Выявлена экономия использования питательного раствора системой управления орошения с биометрическими данными о растении по сравнению с обычной системой с временным режимом и которая достигает 30%.

Ключевые слова: алгоритм, режимы управления, капельное орошение, микроклимат в теплице, сенсор, фитомониторинг

ALGORITHM OF DECISION-MAKING FOR IRRIGATION IN GREENHOUSES USING INFORMATION ON PLANT CONDITION

V. Reshetiuk, T. Lendiel, B. Kuliak

Abstract. A textual description and a block diagram of the algorithm for making decisions on irrigation of cucumber during growing in greenhouse conditions are given.

The aim of the work is the development of a decision algorithm for controlling the drip irrigation system using information on the biometric state of the plant.

Materials and methods of research. The dynamics of the water flow in the plant against the background of changes in the environmental parameters was determined from the data of the system for measuring turgor pressure in plant leaves in real time, the sensitive element of which was an electrostatic (capacitive) converter. This re-engraving is realized in the form of a sensor (SG-1000 Leaf Sensor, Agrihouse Inc.). The voltage outputs from the sensors were fed to the outputs of the multichannel A / D converter of the Arduino Mega ADK programmable device, which performs the function of controlling the phytomonitoring system.

Conclusions and prospects. The data on the biometric state of the plant (turgid pressure) and the microclimate in the greenhouse obtained from the developed measuring electrotechnical complex (phytomonitoring system) were analyzed.

A decision algorithm for the automatic irrigation control system was developed with the use of sheet thickness information.

The economy of the use of a nutrient solution by the irrigation management system with biometric data on the plant as compared with a conventional system with a time regime reaches 30%.

Keywords: *algorithm, control modes, drip irrigation, microclimate in the greenhouse, sensor, phytomonitoring*

УДК 514.18

НЕПЕРЕВНЕ ЗГИНАННЯ МІНІМАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ, УТВОРЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕВОЛЬВЕНТИ КОЛА, ЗАДАНОЇ ФУНКЦІЯМИ НАТУРАЛЬНОГО ПАРАМЕТРА

С. Ф. ПИЛИПАКА, доктор технічних наук, професор
М. М. МУКВИЧ, кандидат технічних наук, доцент
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
E-mail: engmech_centre@twin.nauu.kiev.ua

Анотація. У цій статті здійснено аналітичний опис ізотропних ліній та мінімальних поверхонь за допомогою функцій комплексної змінної. Для знаходження рівнянь ізотропних ліній використано параметричні рівняння евольвенти кола, заданої функціями натурального параметра. Аналітичний опис мінімальних поверхонь та приєднаних мінімальних поверхонь здійснено у комплексному просторі з ізотропними лініями у ролі ліній сітки переносу. За згинання мінімальних поверхонь знайдено однопараметричну множину асоційованих мінімальних поверхонь. Наведено вирази коефіцієнтів першої та другої квадратичних форм утворених мінімальних поверхонь. Показано, що евольвента кола, задана функціями натурального параметра, належить утвореним мінімальним поверхням.

У загальному випадку для будь-якої плоскої кривої, яку задано параметричними рівняннями натурального параметра, можна знайти аналітичний опис ізотропної лінії нульової довжини. Кожній ізотропній лінії відповідає мінімальна поверхня та приєднана мінімальна поверхня, які допускають неперервне згинання. Використання функцій комплексної змінної дозволяє отримати нескладний аналітичний опис мінімальних поверхонь та досліджувати їх конструктивні геометричні параметри.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні диференціальних характеристик утворених мінімальних поверхонь для оптимізації інженерних методів проектування поверхонь технічних форм.

Ключові слова: ізотропна лінія, мінімальна поверхня, приєднана мінімальна поверхня, асоційована мінімальна поверхня, евольвента кола, квадратична форма поверхні, згинання поверхні, функція комплексної змінної