



УДК 631.589 : 631.234

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОДАЧІ ЖИВИЛЬНОГО РОЗЧИНУ У ГІДРОПОННІЙ ТЕПЛИЦІ

Кашкар'єв А.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: 0619-42-11-74

Анотація – розглянуті технологічні схеми подачі живильного розчину у споруди захищеного ґрунту на основі гідропонних технологій, наведена імітаційна модель заповнення піддонів живильним розчином на основі впровадження двошвидкісного насосного агрегату, запропоновані технічні засоби автоматизації технологічного процесу.

Ключові слова: автоматизація, гідропоніка, теплиця, закритий ґрунт, овочі, моделювання, подача розчину.

Постановка проблеми. Середня річна норма споживання овочів складає 126 кг за умови їх рівномірного споживання на протязі року. Однак кліматичні умови такі, що з відкритого ґрунту до 1 серпня поступає 20-22% всіх овочів, у тому числі 40% огірків та 20 % томатів [11]. У серпні-вересні поступає 70% огірків та 60 % томатів [5]. З метою забезпечення населення овочами необхідно використовувати споруди захищеного ґрунту. Для збалансованого споживання овочів у спорудах захищеного ґрунту повинно вирощуватись 25% всієї кількості овочів [11].

Відомо, що виробництво продукції рослинництва в умовах захищеного ґрунту є енерговитратним [5, 12]. Саме цей фактор стримує розвиток даного напрямку аграрного комплексу України. Тому необхідно приділити увагу дослідження питань енергоефективності та енергоощадності споруд.

При загалом високому рівні електрифікації та автоматизації існуючих технологічних схем підтримання параметрів мікроклімату залишаються ще невирішені проблеми та вузькі місця, що головним чином відносяться до засобів автоматики та допоміжних технологічних операцій [5, 10]. Постає задача вибору технологічних схем виробничого процесу, забезпечення певних режимів роботи технологічного обладнання та підвищення надійності автоматизованих систем управління технологічним процесом.

Аналіз останніх досліджень. Сучасна теплиця як об'єкт електрифікації та автоматизації характеризується незадовільною динамікою параметрів, що пов'язано з особливостями об'єкту керування. У той же час, агротехнічні вимоги вимагають достатньо високу точність стабілізації параметрів, своєчасну їх змінену відповідно до вегетаційного стану рослин [1, 6, 12]. Все це висуває високі вимоги до функціонування та технічного удосконалення систем автоматичного управління параметрами мікроклімату та технологічним процесом в цілому.

Вибір способу зрошення і техніки поливу, опромінення та вентиляції представляє складну агротехнічну, інженерну і соціально-економічну задачу, що залежить від природних агрометеорологічних, топографічних, гідрогеологічних умов району будівництва споруди захищеного ґрунту, виду і складу культур, характеру землевпорядження, наявності в господарстві трудових ресурсів, забезпеченості електроенергією, традицій і навичок у зрошуваному сільськогосподарському виробництві. При використанні гідропоніки використання ресурсів стає економічнішим [13].

Відомий пристрій для вирощування рослин [7], що містить ємності для розчину, які з'єднані з лотками і поплавковий стабілізатор рівня розчину (рис. 1). Недоліком даного пристрою, є те, що розчин подається самопливом до рослин, а використання спеціальних лотків не дозволяє вирощування широкого спектра рослин.

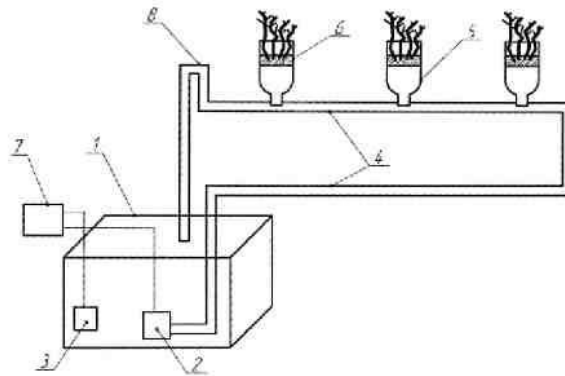


Рис. 1. Схема установки для гідропонного вирощування рослин

Пропонований пристрій дозволяє максимально збалансувати подачу розчину до рослин, крім того, описаний пристрій простий у виготовленні, що знижує його вартість. Пропонований пристрій призначається для вирощування рослин у теплицях, а також у житлових приміщеннях.

Більш близькою конструкцією до рішення, що пропонується, є пристрій, який складається із корпусу, заповненого фільтруючим зернистим завантаженням із висадженими у ньому вищими воло-

голюбивими рослинами, трубопроводу подачі стічної води в корпус із дренажною мережею її розподілу, розташованою в зоні кореневої системи рослин, дренажу збору, розташованого в нижній зоні корпусу і приєднаного до трубопроводу відводу очищеної води в збірний резервуар [8] (рис. 2). Недоліком пристрою є низька ефективність вилучення забруднень, особливо від з'єднань органічного походження, якими збагачені побутові стічні води. Причиною є стабільно низькі показники води, особливо в умовах, коли біологічне очищення супроводжується газовиділенням (метан, вуглекислий газ, сірководень, тощо) та створює умови для стабілізації системи водо-забруднення і робить неможливим окислення домішок, проведення денітрифікації забруднень, що містять азот. Вміст газової складової, що є результатом процесів загнивання є причиною скорочення життєдіяльності активного мулу, при цьому скорочуються життєві функції рослин, та їх активність щодо поглинання елементів, що забруднюють воду.

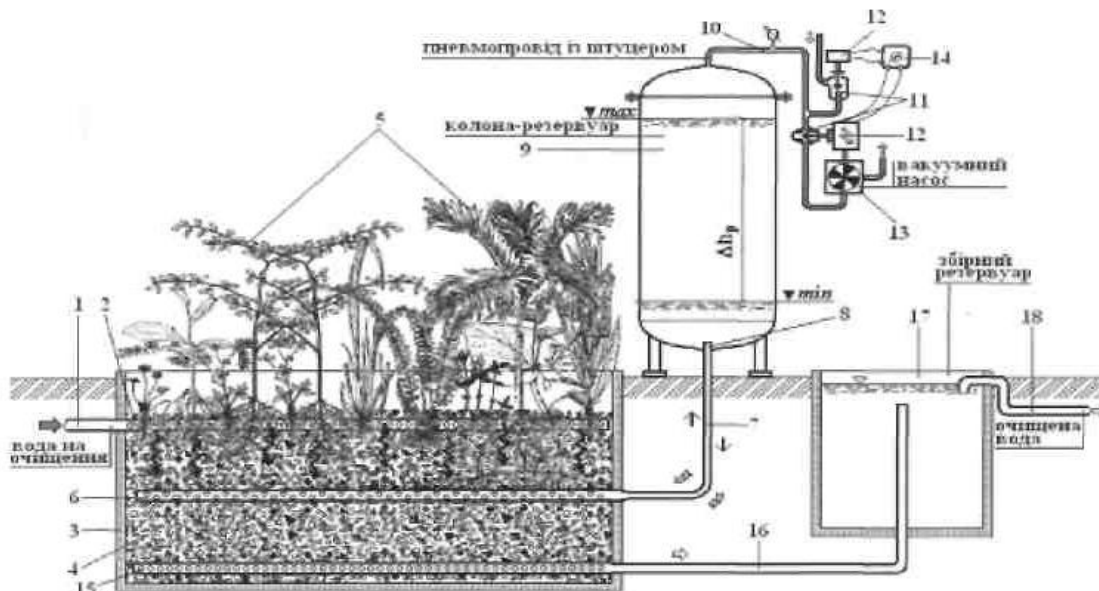


Рис. 2. Схема гідропонної споруди «біоплато-фільтр» із колонним дегазатором.

Перспективним напрямом підвищення ефективності експлуатації споруд захищеного ґрунту є використання гідропонних технологій. Враховуючи, що задачі підтримання параметрів мікроклімату та складу розчину мають широкий спектр ефективних рішень, необхідно акцентувати увагу на утриманні живильних елементів рослинами при багаторівневій будові лотків гідропонної теплиці (рис. 3), що дозволяє збільшити ефективність використання виробничої площі [9, 13]. Для забезпечення максимально рівномірного доступу живильних речовин на всіх рівнях необхідно створення примусової течії, обґрунтування параметрів якої є складною динамічною задачею.



Рис. 3. Багаторівнева будова гідропонної теплиці.

Формування цілей статті. Підвищити надійність роботи технологічного обладнання та точність подачі живильного розчину в умовах гідропонних теплиць.

Основна частина. Поставлене завдання вирішується за рахунок використання гідропонних технологій та двошвидкісного двигуна подачі живильного розчину. Пропонується використання сучасних засобів автоматизації, які дозволяють реалізувати керування технологічним процесом та дистанційний моніторинг.

Відомо пристрій для періодичного поливу рослин, що містить бак живильної рідини зі стабілізатором витрат у вигляді сифона з рухомим відносно бака вихідним патрубком [9]. Останній розміщено над ємкістю дозатора разового поливу, яка забезпечена самоспорожнюваним сифоном і рухомих по висоті об'ємним елементом (рис. 4).

Конструктивно пристрій не дозволяє в промислових умовах використовувати його для пропонованого вирощування кормових трав і зеленої маси на фураж, оскільки зрошення вище приведених рослин повинно обов'язково чергуватися з наступним повним дренажем живильного розчину для аерацією кореневої системи.

Кожний лоток забезпечений автономною системою дренажу, що дозволяє звільнитися від мережі трубок, утруднюючи закладення посівного матеріалу та відвантаження продукції. Відпадає також необхідність поярусного, абсолютно горизонтального розташування лотків

при монтажі стелажів, оскільки кожний лоток працює як автономна система (див. рис. 4) [9].

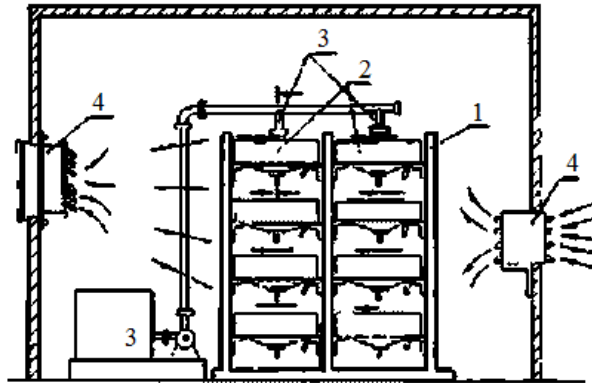


Рис. 4. Гідропонна установка містить стелажі 1 і з лотками 2, пристрій подачі живильного розчину 3, систему мікроклімату 4.

Наявність в кожному лотку ще й переливної трубки забезпечує доставку на нижній лоток живильного розчину у випадку непередбаченого засмічення сифона, а також і сумарні розрахункові параметри сифона та переливної трубки гарантують більш швидке спорожнення лотка самопливом, чим його заповнення через пристрій подачі під тиском (рис. 5) [9].

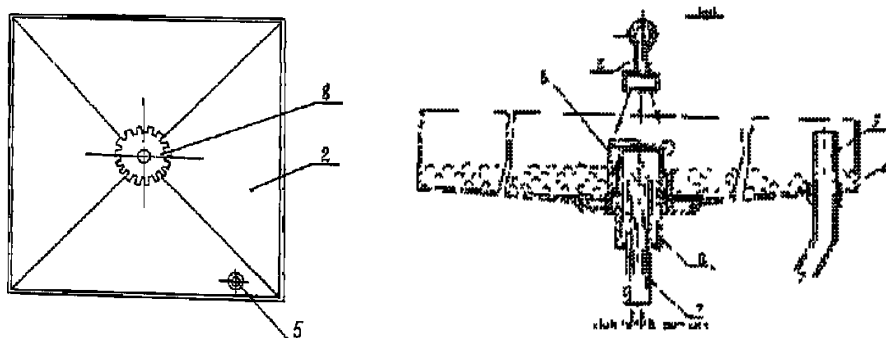


Рис. 5. Конструкція лотків з посівним матеріалом, переливна трубка 5 і сифон 6, який містить телескопічну частину 7 і ковпачок з прорізами 8 (над верхнім лотком розташовано пристрій подачі живильного розчину 3)

Телескопічна конструкція сифона також дозволяє здійснити регулювання часу витікання живильного розчину з кожного лотка і відповідно часу загального поливу. Висуваючи, тобто подовжуючи сифон, розрядження в ньому збільшуються і рідина витікає з більшою швидкістю, отже, лоток спорожнюється швидше, у протилежному випадку, при укорочуванні довжини сифона, швидкість витікання живильного розчину зменшується, отже, час поливу збільшується.

Робота системи поливу здійснюється таким чином. По пристрою подачі 3 (труба з підводним штуцером і розпилювачем) живильний

розчин подається на верхній лоток 2 з посівним матеріалом. Заповнення лотка 2 відбувається до тих пір, поки рівень рідини в лотку не досягне поперечних наскрізних отворів телескопічної частини 7 сифона, після чого живильний розчин почне перетікати на лотки розташованих на нижчих ярусах. Наявність переливної трубки 5 не дозволяє пристрою подачі 3 переповняти лоток 2, так як описувалося вище, сумарна продуктивність сифона. Переливної трубки 5 значно перевищує продуктивність пристрою подачі 3.

Якщо розглянути гідропонну систему як комплект піддонів заданою площею ($S_{\text{емн}}$), які мають вхідні (Q_{in}) та вихідні (Q_{out}) потоки живильного розчину, а також певний об'єм його споживання рослинами на різних етапах їх вегетації ($Q_{\text{рос}}$), то можна скласти розрахункову схему заповнення піддонів поживним розчином (рис. 6) [3].

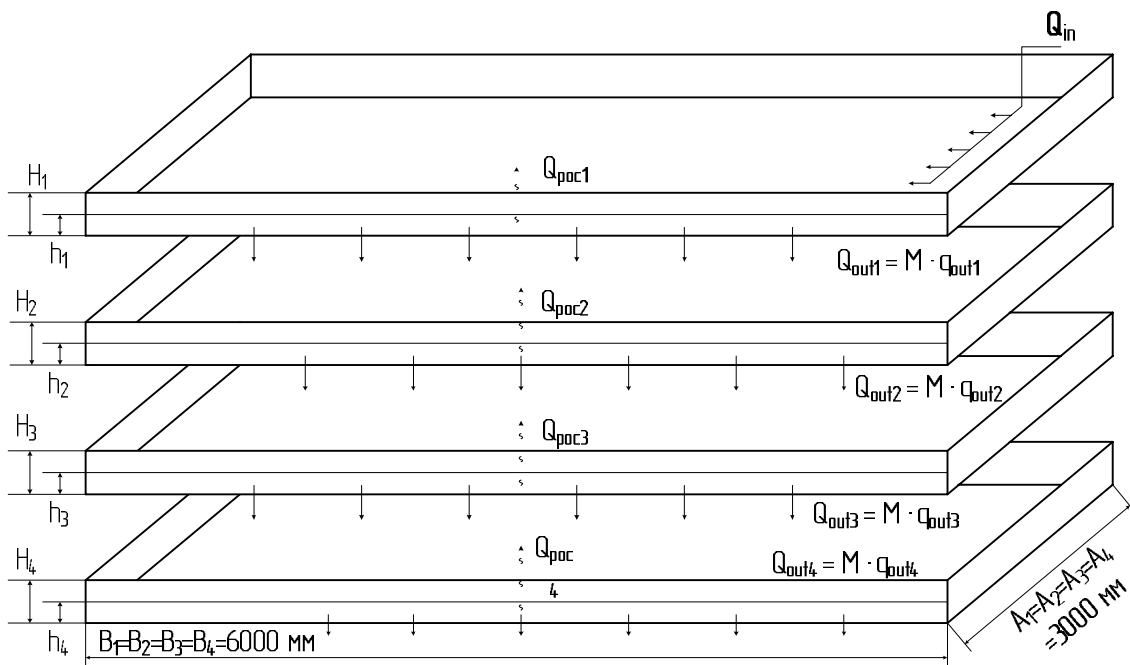


Рис. 6. Розрахункова схема моделювання подачі живильного розчину у гідропонній системі.

Загальна система рівнянь, яка описує заповнення піддонів живильним розчином без рослин має вигляд:

$$\begin{cases} S_{\text{емн}1} \frac{dh_1}{dt} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}1} \\ S_{\text{емн}2} \frac{dh_2}{dt} = Q_{\text{out}1} - Q_{\text{out}2} \\ S_{\text{емн}3} \frac{dh_3}{dt} = Q_{\text{out}2} - Q_{\text{out}3} \\ S_{\text{емн}4} \frac{dh_4}{dt} = Q_{\text{out}3} - Q_{\text{out}4} \end{cases} \quad (1)$$



У випадку коли рослини вже мають статистично та технічно значуще споживання живильного розчину з піддонів, система рівнянь (1) буде мати наступний вигляд:

$$\begin{cases} S_{\epsilon_{mn1}} \frac{dh_1}{dt} = Q_{in} - Q_{out1} - Q_{рос1} \\ S_{\epsilon_{mn3}} \frac{dh_2}{dt} = Q_{out1} - Q_{out2} - Q_{рос2} \\ S_{\epsilon_{mn3}} \frac{dh_3}{dt} = Q_{out2} - Q_{out3} - Q_{рос3} \\ S_{\epsilon_{mn4}} \frac{dh_4}{dt} = Q_{out3} - Q_{out4} - Q_{рос4} \end{cases} \quad (2)$$

Для вирішення систем диференційних рівнянь (рис. 7) приймаємо наступні початкові умови та обмеження:

1. $Q_{out i} = S_{отв i} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_i}$, де $i \in [1;4]$
2. Швидкість насосу 1: $Q_{in1} = 10 \text{ м}^3/\text{год}$;
3. Швидкість насосу 2: $Q_{in2} = 15 \text{ м}^3/\text{год}$;
4. $h_i \leq H_i$, де $i \in [1;4]$, $H_1 = H_2 = H_3 = H_4$;
5. $S_i = \text{const}$, де $i \in [1;4]$;
6. $S_{отв iM} = \text{const}$, де $i \in [1;4]$, $M \in [1;15]$;
7. $Q_{рос i} = F(t)$, де $i \in [1;4]$, $Q_{рос 1} = Q_{рос 2} = Q_{рос 3} = Q_{рос 4}$;
8. $h_i(t=0) = 0$, де $i \in [1;4]$.

Побудована модель дозволяє розв'язати 5 типів задач:

1) при відкритих або закритих отворах та при порожніх ємностях в момент часу $t=0$ відбувається подача розчину величиною Q_{in} . Необхідно визначити значення рівнів та потоків для режиму, що встановився;

2) при досягненні режиму, що встановився у момент часу $t=0$ відбувається зміна кількості отворів у піддонах. Необхідно визначити значення рівнів та потоків розчину для режиму, що встановився;

3) дослідження роботи регулятора, який змінює перетин отворів (з відповідними технічними засобами) в залежності від відхилення значення рівня h_i від значення, що встановилося $h_{вст}$;

4) вплив аварійних режимів роботи об'єкту керування та реакція системи автоматичного управління технологічним процесом;

5) при додавання імітаційних моделей споживання живильного розчину рослинами та насосних агрегатів можливо дослідити вплив зовнішніх факторів.

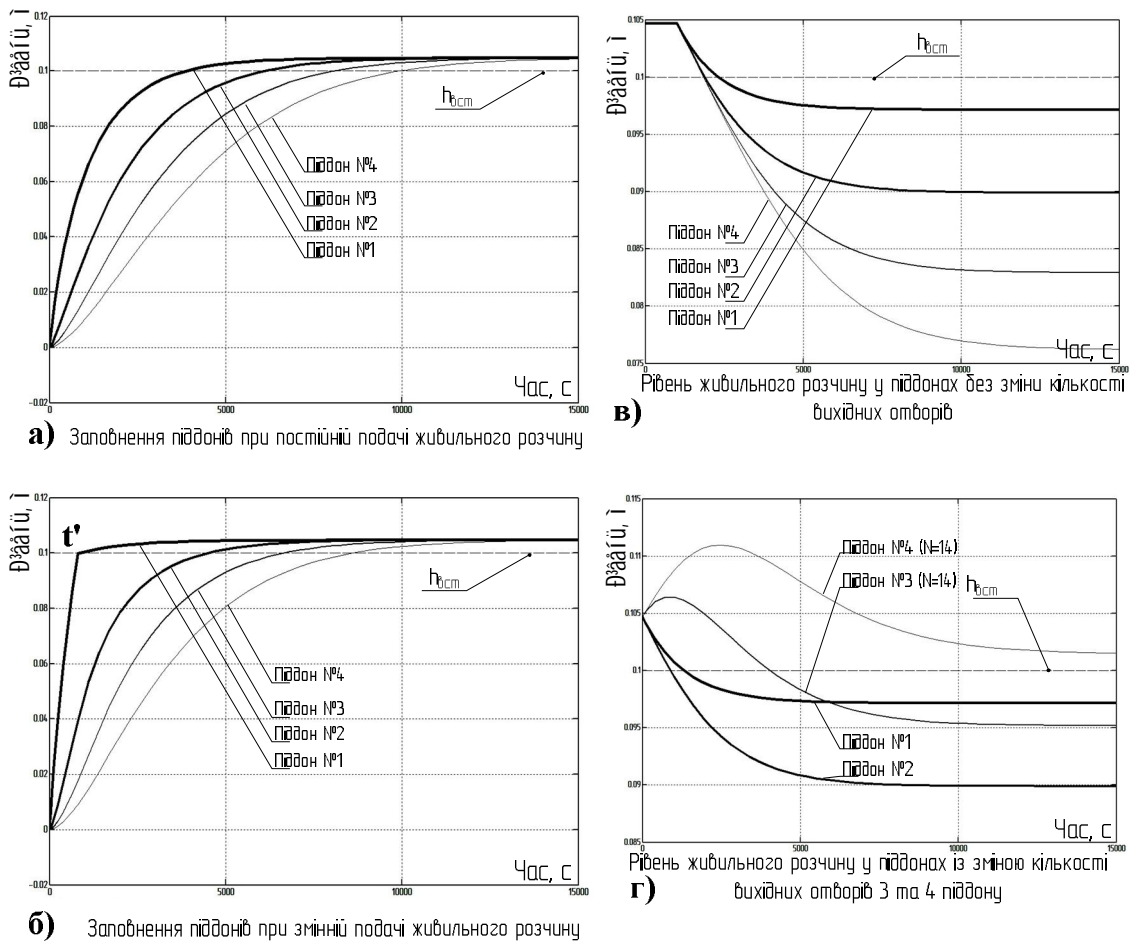


Рис. 7. Графічне рішення систем диференційних рівнянь (1, 2).

У результаті аналізу графічних залежностей можна обґрунтувати вибір та режим роботи двошвидкісного приводу насосного агрегату (рис. 7, а, б), що дозволяє скоротити час заповнення піддонів (першого піддону з 75 хв до 16 хв; другого – з 108 хв до 75 хв; третього – з 133 хв до 100 хв; четвертого з 158 хв до 130 хв). При вирішенні системи диференційних рівнянь (1) із змінною подачею насосного агрегату (рис. 7, а, б) був використаний пропорційний регулятор, який зменшив подачу у точці t' , яка відповідає зазначеному рівню живильного розчину у піддоні №1. Представлена модель дозволяє реалізувати більш складні алгоритми обґрунтування режиму перемикання.

Тестування моделі дозволяє обґрунтувати кількість отворів піддонів (рис. 7, в, г), які можна відкривати та закривати при рості рослин для забезпечення заданого рівня живильного розчину у відповідних піддонах із заданою точністю.

Для реалізації пропонованих рішень необхідно обрати технічні засоби автоматизації (табл. 1). Пропонується реалізувати автоматичне керування на базі контролерів серії ES-ForthLogic, компанії ПП "Електросвіт" [2,4,6]. Інжинірингові рішення підприємства дозволя-



ються реалізувати автоматичні системи керування на базі модульних рішень, які включають не тільки компоненти релейної автоматики та програмовані логічні комплекси, а ще й лінійки типових датчиків фізичних величин з уніфікованим сигналом, можливість поєднання з засобами автоматизації інших виробників та типові системи з GSM/GPRS-контролерами для вирішення завдань диспетчеризації, моніторингу, керування та передачі інформації на інші рівні системи керування підприємством.

Таблиця 1 - Технічні засоби автоматизації.

Параметр контролю, функції	Тип обладнання
Датчик тиску вода	ПД100-ДИ.1,0.1
Датчик температури вода повітря	ДТС3225-РТ1000.В2 ДТС075-50М.В2.20/05
Датчик положення: кран заслінка	ME8111 ME8108
Потенційний датчик рівня розчину	ПДУ-1.1
Вологість	ES-DH-1M
Датчик опромінення	ФР-7Е
Витратомір газ вода	ВК-G6 0,06 S100
Програмний логічний комплекс	ES-ForthLogic
Електромагнітне реле	PE-4PP
Блок живлення	БЖ-I
Модуль розширення дискретний	ES-DIO-1M
Модуль розширення аналоговий	ES-AI-1M ES-PT-1M

В автоматичному режимі роботи керування параметрами мікроклімату відбувається відповідним блоком автоматичної системи керування (рис. 8). Взаємодія засобів автоматизації відбувається за лінією зв'язку RS-232, а низьковольтні електромагнітні реле PE-4PP приєднуються безпосередньо до дискретних виходів модулів розширення дискретних сигналів (ES-DIO-1M) [2]. У ручному (налагоджуваному) режимі роботи система керування виконує функції збору та обробки інформації, що дозволяє оператору прийняти вірне управлінське рішення.

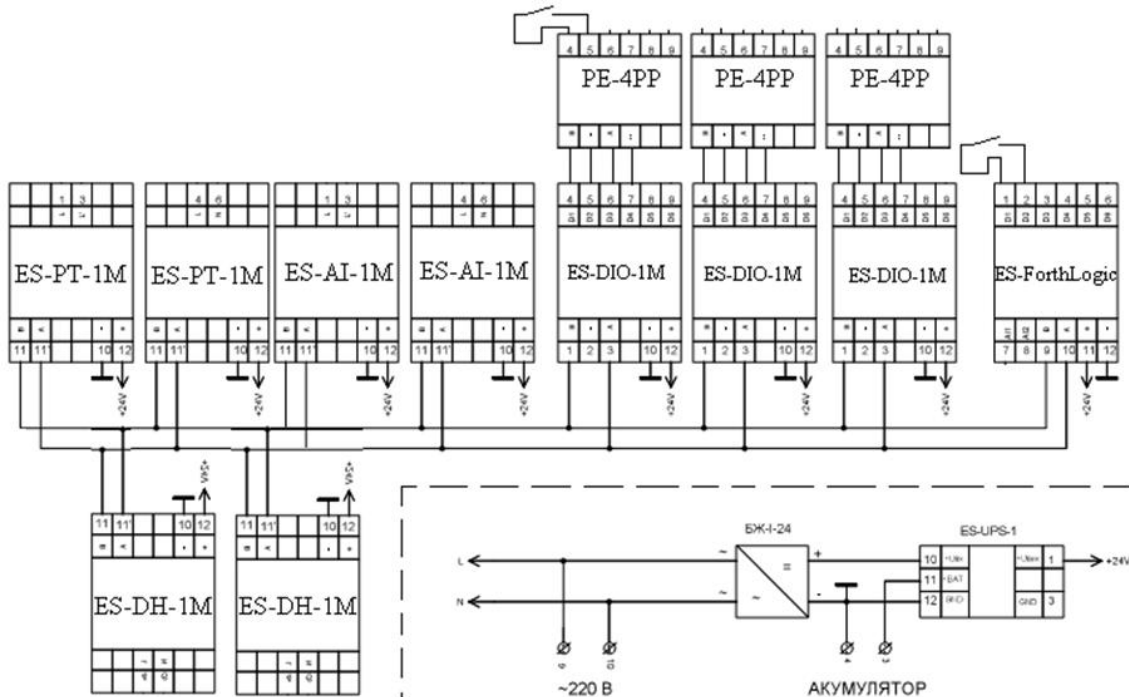


Рис. 8. Схема з'єднань засобів автоматичного керування параметрами мікроклімату (відповідно до табл. 1).

При проектуванні та розробці автоматичної системи керування технологічним процесом необхідно виділити найбільш важливий його етап, який дозволить суттєво покращити техніко-економічні показники. Ми вважаємо що у подальших дослідженнях доцільно приділити увагу підігріву води за рахунок часткового додавання води з контуру опалення, що дозволить зменшити стрес рослин на початку вегетаційного періоду. Тому при виборі алгоритму управління та засобів автоматизації слід враховувати такі особливості технологічного процесу:

1. автоматизація роботи подачі теплої води є важливим і складним заходом, що пов'язано з можливістю поліпшення умов росту рослин, крім того цей процес обумовлений багаточисельними збурюючими впливами та широкими межами варіювання контрольованих і регульованих параметрів;
2. об'єкт керування (рослини, теплиця) та сировина (поживний розчин) має не однакові властивості;
3. температура води швидко змінюється при подачі її у віддалені ділянки;
4. система автоматичного регулювання повинна мати мінімальну інерційність, бути надійною і стійкою у роботі.

Висновки. На основі аналізу існуючої технології керування технологічним процесом, розробити технічні рішення з його електрифікації та автоматизації зрошення, що дозволило зменшити витрати на енергоресурси, підвищити якість вихідного продукту та підвищити



надійність роботи технологічного обладнання; провести розрахунок та вибір електросилового обладнання.

Упровадження двошвидкісного насосного агрегату стає можливим скорочення часу заповнення першого піддону на 85%, а четвертого – 20%. Система керування роботою отворів піддонів дозволяє підтримувати заданий рівень живильного розчину при збільшенні споживання розчину без додаткових засобів автоматизації роботи насосного агрегату (перетворювачі швидкості, дроселювання та ін.)

Література

1. *Агаркова А.М.* Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов при эксплуатации теплиц/ *А.М. Агаркова, Г.Г. Ивешко.* - К.: Будівельник, 1985.-120с.
2. Будинкова та промислова автоматика. ПП "Електросвіт" - 2015. Каталог продукції [Електронний ресурс]. – 68 с. - Режим доступу: <http://www.es.ua>
3. *Герман-Галкин С.Г.* Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие / *С.Г. Гермен-Галкин.* – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
4. Каталог «ОВЕН» - 2015. Оборудование для автоматизации [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.owen.ru>.
5. *Корчемний М.* Енергозбереження в агропромисловому комплексі / *М. Корчемний, В. Федорейко, В. Щербань.* – Тернопіль: Підручники і посібники, – 2001. – 984 с.
6. *Мартиненко І.І.* Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: Підручник / [*І.І. Мартиненко, В.П. Лисенко, Л.П. Тищенко та ін.*]. – К.: НМЦ МінАПК України, 2008. – 330 с.
7. Пат. України №45031 МПК⁶ А01G 21/00. Гідропонна установка / *О.Л. Бондар, Сухоруков В.В. Євдокимов Є.О.* Власник Інститут механізації тваринництва УААН. Заявлено 27.02.2001. Опубл. 15.03.2002, Бюл.№3, 2012р.
8. Пат. України №40322 МПК⁹ С02F 1/24. Гідропонна споруда «Біоплато-фільтр» / *М.С. Курилюк, М.М. Гіроль, О.М. Курилюк.* Власник ТОВ «Аква-У». Заявлено 22.02.2008. Опубл. 10.04.2009, Бюл.№7, 2009 р.
9. Пат. України №57393 МПК²⁰¹¹ А01G 31/02. Пристрій для гідропонного вирощування рослин / *М.Д. Осінкін.* Заявлено 02.08.2010. Опубл. 25.02.2011, Бюл.№4, 2011 р.
10. Пособие по проектированию теплиц и парников: (к СНиП 2.10.04-85) / Разраб. Гипроисельпром Госагропрома ССР: *Н.А. Нестругин, В.И. Костенецкий, В.З. Павлов и др.*-М.:Стройиздат, 1988. - 72с.



11. Статистичний щорічник України за 2013 рік. Державна служба статистики / за редакцією *О.Г. Осауленка*. – К.: Державна служба статистики. – 2014. – 534 с.
12. Тигранян Р.Э. Микроклимат. Электронные системы обеспечения / *Р.Э. Тигранян*. – М.: ИП РадиоСофт, 2005. – 112 с.
13. Що таке гідропоніка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vidpo.net/shho-take-gidroponika.html>

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПОДАЧИ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА В ГИДРОПОННОЙ ТЕПЛИЦЕ

Кашкарёв А. А.

Аннотация - рассмотрены технологические схемы подачи питательного раствора в сооружениях защищенного грунта на основе гидропонных технологий, разработана имитационная модель заполнения поддонов питательным раствором с использованием двухскоростного насосного агрегата, предложены технические средства автоматизации технологического процесса.

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF RECEIPT NUTRIENT SOLUTION IN THE GREENHOUSE WITH HYDROPONICS

A. Kashkarov

Summary

Analyzed the technological schemes of receipt of the nutrient solution in a greenhouse with the hydroponics, designed a simulation model of filling trays nutrient solution with two-speed pump, for the automation of technological process proposed the technical means.