

С.Л. Карпенко, Ю.О. Лебеденко, Г.В. Рудакова, А.А. Рудакова

## МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ РОЗТАШУВАННЯ АКТИВНОГО ДОЩУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

*Анотація.* В статті розглядаються процес розрахунку загальної кількості варіантів підключення дощувальних установок з подальшим переходом до спрощеної схеми, для можливості задання структури підключення за допомогою матриці. Та запропонована процедура визначення параметрів схеми розміщення активного дощувального обладнання.

*Ключові слова:* насосне обладнання, дощувальні установки, закрита зрошувальна система, схема підключення, визначення параметрів.

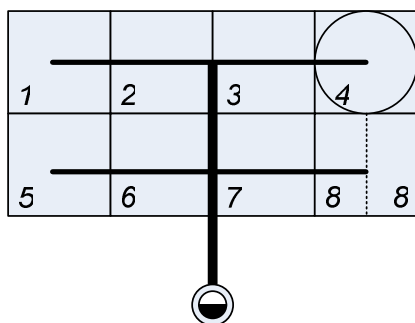
**Постановка проблеми.** Перетворення сільськогосподарського виробництва у високо розвинутий сектор економіки неможливе без послаблення його залежності від несприятливих природно-кліматичних умов. Україна належить до тих країн, де меліорація є одним з визначальних факторів загального стану виробництва продуктів харчання, сировина для промисловості, забезпечення продовольчої безпеки держави та експорту продукції сільськогосподарської галузі [1].

Широке впровадження сучасних комп'ютерно-інтегрованих технологій у тому числі в сільськогосподарське виробництво, так звані системи точного землеробства [2], обумовлюють економне використання водних і енергетичних ресурсів за рахунок впровадження інформаційно-керуючих систем з підсистемами моніторингу і методів адаптивного керування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Поширеного використання набули закриті зрошувальні системи (ЗЗС) із застосуванням меліоративного обладнання такого як універсальні дощувальні машини (ДМУ). Існуючий парк роботоспроможних дощувальних машин на 64% складеться з дощувальних машин «Фрегат»[3].

Дощувальні установки об'єднуються у комплекс, у якому подача води в спільну гідросистему здійснюється за допомогою загальної насосної станції. Типова схема ЗЗС наведена на рис. 1 [4]. Така зрошувальна система призначена

для подачі води на поля, на яких можливе зрошування різних типів агрокультур.



Сівозміна:

- 1,2 – Люцерна;
- 3 – Озима пшениця+кукурудза;
- 4 – Кукурудза на зерно;
- 5,7 – Овочі;
- 6 – Кукурудза на силос;
- 8 – Ячмінь+люцерна.

Рисунок 1 – Схема розташування полів сівозміни на зрошувальній ділянці і закритій зрошувальній системі

Зазвичай полив може здійснюватися декількома дощувальними установками одночасно. Для підключення та відключення дощувальних машин використовують запірні клапани (вентилі). У ЗЗС можуть спричинитися негативні явища, а саме:

- при неправильному підключенні дощувальної машини до розподільного трубопроводу різке зменшення тиску у системі;
- при неправильному відключенні дощувальної машини від розподільного трубопроводу різке збільшення тиску у системі.

Виникнення суттєвих коливань тиску у системі може стати причиною виведення з ладу дощувальних машин; різке збільшення тиску у розподільному трубопроводі може спричинити його деформацію і як наслідок прорив; різка зміна тиску у гідросистемі також спричиняє підвищення навантаження на насосні агрегати та може стати причиною їх поломки[3].

Одночасно у роботі зазвичай знаходяться не всі зрошувальні установки, а тільки частина з них, тобто схема їхнього розташування постійно змінюється згідно з планом поливних робіт. Для ефективної роботи такого складного меліоративного комплексу необхідно своєчасне перемикавання режимів роботи насосного обладнання ЗЗС. Для аналізу ЗЗС як об'єкту керування зі змінної структурою в першу чергу необхідно визначити схему розташування саме активного дощувального обладнання у системі.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є розробка процедури визначення параметрів схеми розташування активного дощувального обладнання у ЗЗС.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Розглянемо приклад ЗЗС для 8-ми зрошувальних установок типу «Фрегат» з двома позиціями для

поливу, яка представлені на рис.2 [5]. В даному прикладі модель поливної установки ДМУ-Б463-60. Обрана модель здатна працювати у двох позиціях для збільшення площі поливу. Сумарна площа розглядуваного комплексу 14,18 км<sup>2</sup>.

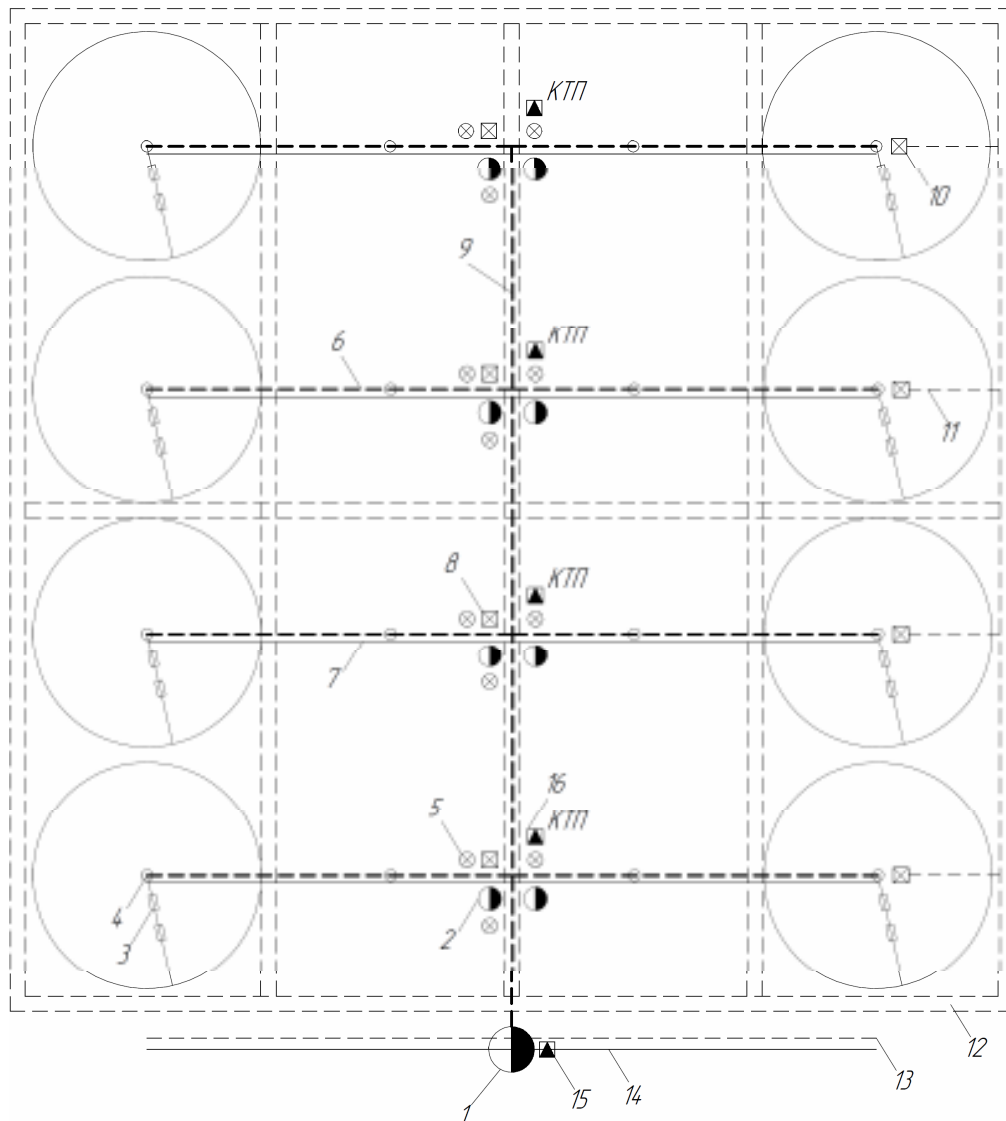


Рисунок 2 – Схема ЗЗС при поливі дощувальними машинами «Фрегат»

Подача води у ЗЗС відбуваються за допомогою насосної станції 1, вода до насосної станції підводиться з відкритого каналу, живлення електроенергію відбувається за допомогою лінії електропередачі 14 через трансформаторну підстанцію 15. З насосної станції вода потрапляє до розподільного трубопроводу 9, де за допомогою гідрантів 5 підкачувальних насосів 2, які комплексується трансформаторами 16, вода подаються до зрошувального трубопроводу 6, з якого через гідрант 4 приводить у дію ДМ «Фрегат» 3.

На розглянутій ділянці передбачено скидання води з ДМ «Фрегат» за допомогою скидної засувки 10 у скидний трубопровід 11. Для обслуговування та

ремонті ЗЗС передбачені польові експлуатаційні дороги 7, та ремонтні засувки 8. Для захисту ділянки від сильного вітру передбачена лісосмуга 12. Зв'язок з ділянкою відбувається за допомогою лінії зв'язу 13. У розглядуваному випадку одночасно можуть працювати 4 зрошувальні установки. Переміщуються та вмикаються дощувальні установки попарно.

Для розрахунку загальної кількості варіантів підключення дощувальних установок використана формула сполучення без повторів[6]:

$$N = C_8^2 = \frac{8!}{2!(8-2)!} = 28. \quad (1)$$

Але через те, що дощувальні установки можуть бути переміщені тільки між двома позиціями на одному зрошувальному трубопроводі, варіанти коли обидві позиції одного трубопроводу активні – неможливі (таких випадки 4), тобто загальна кількість варіантів розміщення ввімкнутих дощувальних установок становить 24.

Зобразимо ЗЗС у системі координат з початком розташованим у насосній станції розподільного трубопроводу (рис.3).

Для побудови загальної моделі, що враховує всі варіанти розташування дощувального обладнання, необхідно провести аналіз усіх варіантів підключення дощувальних установок, які представлені у таблиці 1.

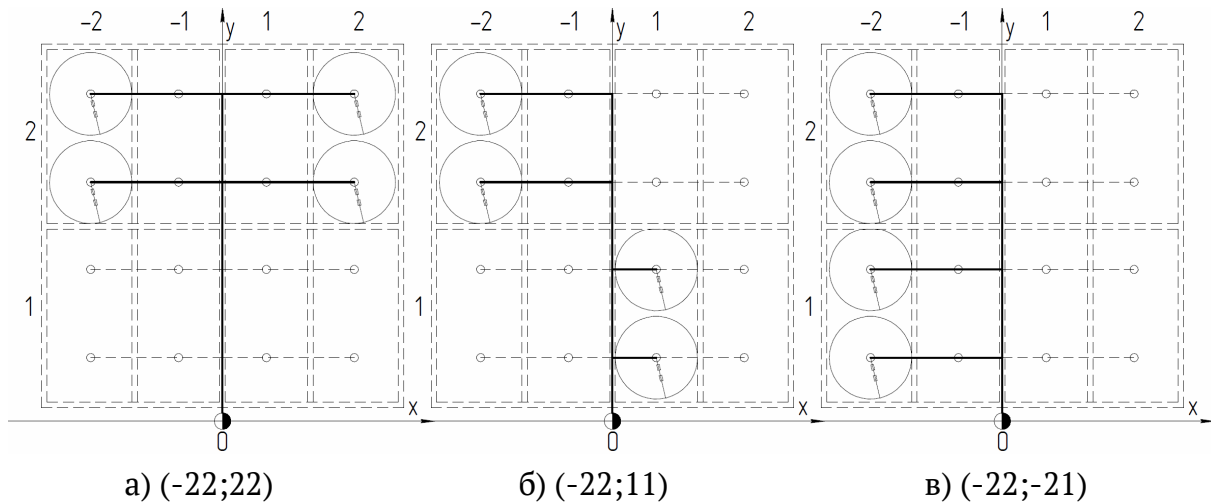


Рисунок 3 – Варіанти розміщення ввімкнутих дощувальних установок

Перелік можливого розміщення дощувальних установок

(-22;12 <sub>-</sub> )	(-22;22)	(-22;-21)	(-22;-11)	(-22;11)	(-22;21)
(-12;12)	(-12;22)	(-12;-21)	(-12;-11)	(-12;11)	(-12;21)
(12;-21)	(12;-11)	(12;11)	(12;21)	(-21;11)	(-21;21)
(22;-21)	(22;-11)	(22;11)	(22;21)	(-11;11)	(-11;21)

Через симетричність схеми ЗЗС можна перейти до розгляду односторонньої схеми, як показано на рис.4.

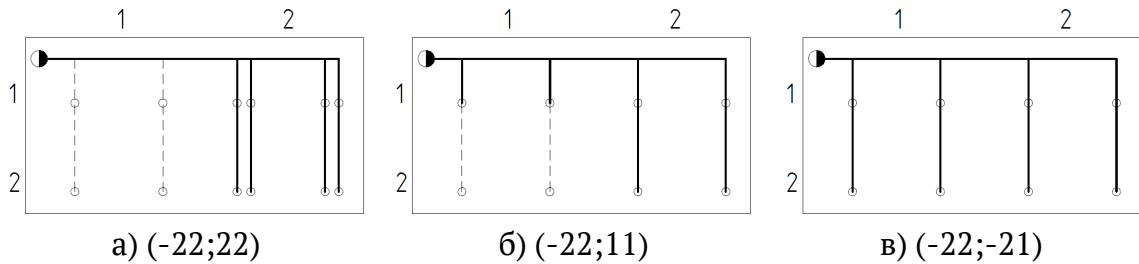


Рисунок 4 – Приклади односторонніх схем підключення ДУ

Структуру підключення, приведену на рис.4, можна задавати за допомогою матриці:

$$S_{V_{(-22;22)}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \quad S_{V_{(-22;11)}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad S_{V_{(-22;-21)}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Для моделювання усіх варіантів підключення дощувальних установок можна використовувати єдину схему (рис. 5а), для однієї групи здвоєних дощувальних установок, в яких змінюються тільки значення параметрів що задають геометричні співвідношення (рис. 5б).

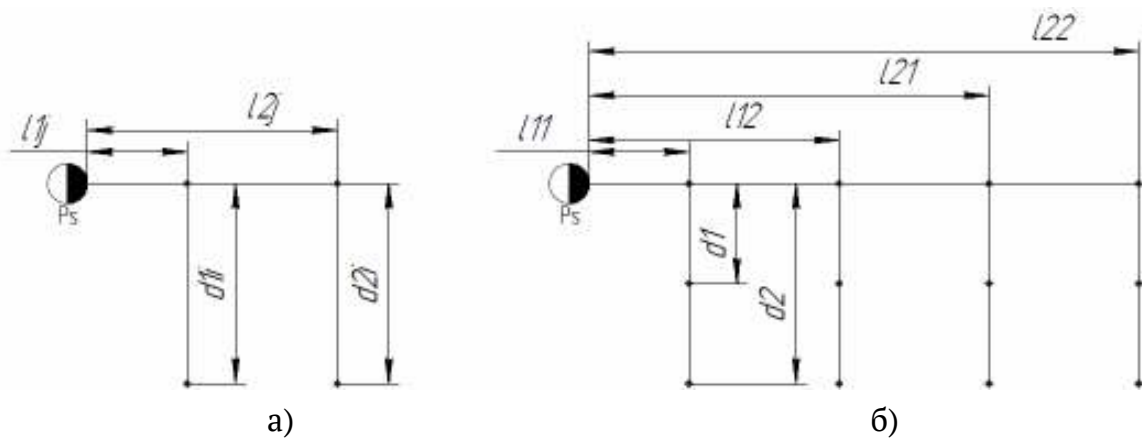


Рисунок 5 – Узагальнена схема ЗЗС: а) умовна схема, б) геометричні співвідношення

Індекси змінних на рис. 5а  $i$ , та  $j$  пов'язані з відповідними індексами не нульових елементів матриці  $S$ . Процедура визначення параметрів схеми розміщення активного дощувального обладнання здійснюються наступним чином: 1) Задаються геометричні розміри системи, а саме:  $l_{11}$ ,  $l_{12}$ ,  $l_{21}$ ,  $l_{22}$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ; 2) задаємо  $K=1$ ; 3) знаходимо ненульові елементи матриці  $S$ ,  $S_{i,j} \neq 0$ . Якщо всі  $S_{i,j} = 0$ , то процес завершується (переходимо до кроку 7); 4) виконуємо присвоєння:  $l_{1s_k} = l_{1j}$ ;  $l_{2s_k} = l_{2j}$ ;  $ds_k = d_i$ ; 5) виводимо результати:  $l_{1s_k}$ ,  $l_{2s_k}$  та  $ds_k$ ; 6) змінюємо значення  $K$  та  $S_{i,j}$ :  $K=K+1$ ;  $S_{i,j} = S_{i,j} - 1$ . (переходимо до 3-го кроку); 7) процес розрахунку завершено.

Сформований вектор  $l_{1s}$ ,  $l_{2s}$  та  $ds$  містять значення геометричних співвідношень для заданої схеми розташування активного дощувального обладнання.

**Висновки.** Своєчасне перемикання режимів роботи насосного обладнання ЗЗС, можливе при наявності коректно працюючої системи керування, підтвердженої ефективності. Робота якої повинна засновуватися, обов'язково на основі результатів комп'ютерного моделювання. При побудові математичної моделі для аналізу ЗЗС як об'єкту керування розглянута процедура є першочерговим завданням. Тому що, дозволяє на основі заданої схеми розташування активного дощувального обладнання, швидко отримувати певні числові значення геометричних розмірів в системі, які є основою для подальших розрахунків. Для наступного аналізу ЗЗС необхідно розглянути всі окремі компоненти моделі.

#### ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року. Указ Президента України від 24.05.2012 р. № 4836
2. Система точного землеробства економить ваші гроші / М. Циганенко, М. Макаренко // Пропозиція. – 2017. – №2 – С. 56-60
3. Гурин В. А., Степаненко М.Г., Степаненко М. П. Технологія зрошування: навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 382 с.
4. Колпакова В.В. Сельскохозяйственные мелиорации / В.В. Колпакова, И. П. Сухарев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988. – 319 с.
5. Подготовка оператора дождевальных машин и установок: методические указания по выполнению практических занятий для обучающихся IV курса направления подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» / Сост.: А.В. Русинов // ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2017. – 144 с.
6. Стребков Е.В. Основы комбинаторики / Е. В. Стребков – Казань: Казан. ун-т, 2019. – 31 с.

## REFERENCES

1. National target program for the development of water management and ecological rehabilitation of the Dnieper river basin for the period up to 2021. Decree of the President of Ukraine dated 24.05.2012 № 4836
2. The system of precision agriculture saves your money / M. Tsyganenko, M. Makarenko // Proposal. – 2017. - №2 - P. 56-60
3. Gurin VA, Stepanenko MG, Stepanenko MP Irrigation technology: a textbook. - Rivne: NUVGP, 2013. – 382 p.
4. Kolpakova V.V. Agricultural land reclamation / V.V. Kolpakova, I.P.Sukharev. - 2nd ed., Rev. and add. - M.: Agropromizdat, 1988. – 319 p. (in Russian)
5. Training of the operator of sprinkler machines and installations: methodological instructions for the implementation of practical exercises for students of the IV course of the direction of training 03.03.02 "Ground transport and technological complexes" / Comp.: A.V. Rusinov//FGBOU VO Saratov GAU. - Saratov, 2017.–144 p.
6. Strebkov E.V. Fundamentals of combinatorics / E. V. Strebkov - Kazan: Kazan. un-t, 2019. – 31 p. (in Russian).

Received 16.02.2021.

Accepted 18.02.2021.

### **Моделирование схемы размещения активного дождевальных оборудование закрытой оросительной системы**

*Целью исследования является разработка процедуры определения параметров схемы расположения активного дождевального оборудования в закрытых оросительных системах. В статье рассматриваются процесс расчета общего количества вариантов подключения дождевальных установок с последующим переходом к упрощенной схеме, для возможности задания структуры подключения с помощью матрицы. И предложена процедура определения параметров схемы размещения активной дождевального оборудования.*

### **Modeling of the scheme of location of active raining equipment of the closed irrigation system**

*The purpose of the study is to develop a procedure for determining the parameters of the layout of active sprinkler equipment in closed irrigation systems. This paper presents the importance of transforming agricultural production into a highly developed sector of the economy which is impossible without reducing its dependence on adverse climatic conditions. The introduction of modern computer-integrated technologies, including precision farming, due to the need for economic use of visible and energy resources, is considered. Closed irrigation systems with the use of reclamation equipment such as universal sprinklers have become widespread. The existing fleet of efficient sprinklers will consist of 64% of frigate sprinklers. The article considers a complex of sprinklers, which will consist of eight irrigation fields, the total number of sprinklers in the system is eight. The article discusses in detail the principle of operation of the presented closed irrigation system, namely the system of water supply pipelines to sprinklers, and equipment that controls the operation of this system, such as booster pumps, hydrants, transformers, valves, communication lines. The article considers the process of calculating the total number of options for connecting sprinklers. In the considered system 4 sprinkler installations which are connected and disconnected in pairs can be in work at the same time. Consider problems that*

*arise in the system due to pressure jumps in the hydraulic system. Schematically, the options for placing active sprinkler equipment are presented. The possibility of specifying the structure of the connection scheme of active sprinkler equipment using a matrix is considered. The procedure of definition of parameters of the scheme of placement of the active sprinkler equipment is offered. Timely switching of modes of operation of the pumping equipment of ZSS, is possible in the presence of correctly working control system, the confirmed efficiency. The work must be based on the results of computer simulations.*

**Карпенко Сергій Леонідович** – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

**Лебеденко Юрій Олександрович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

**Рудакова Ганна Володимирівна** – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

**Рудакова Антоніна Андріївна** – студент факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

**Карпенко Сергей Леонидович** - аспирант кафедры автоматизации, робототехники и мехатроники Херсонского национального технического университета.

**Лебеденко Юрий Александрович** - к.т.н., доцент, доцент кафедры автоматизации, робототехники и мехатроники Херсонского национального технического университета.

**Рудакова Анна Владимировна** - д.т.н., профессор, профессор кафедры автоматизации, робототехники и мехатроники Херсонского национального технического университета.

**Рудакова Антонина Андреевна** - студент факультета информатики и вычислительных техники Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского".

**Karpenko Serhii** – graduate student of the Department of Automation, Robotics and Mechatronics, Kherson National Technical University.

**Lebedenko Yurii** – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of Automation, Robotics and Mechatronics Department, Kherson National Technical University.

**Rudakova Hanna** – Doctor of technical sciences, Professor, Professor of Automation, Robotics and Mechatronics Department, Kherson National Technical University.

**Rudakova Antonina** – student of the Faculty of Informatics and Computer Engineering of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".