

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-192>

Available (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/192>

УДК 631.674.5:631.171

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДОПОДАЧЕЮ НА ЗАКРИТИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

**В.М. Попов<sup>1</sup>, докт. техн. наук, М.М. Таргоній<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН України, 03022, м. Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0003-2024-0290>; e-mail: [v\\_porov15@ukr.net](mailto:v_porov15@ukr.net)

<sup>2</sup> Інститут водних проблем і меліорації НААН України, 03022, м. Київ, Україна; <https://orcid.org/0000-0002-6200-7633>; e-mail: [nick.tar91@ukr.net](mailto:nick.tar91@ukr.net)

**Анотація.** Дослідження спрямовані на підвищення енергоефективності машинної водоподачі на зрошувальних системах. Метою досліджень є зменшення питомих витрат електроенергії на перекачування води насосними станціями (НС) закритих зрошувальних систем (ЗЗС). Поставлено завдання обґрунтування ефективності способу автоматизованого управління машинною водоподачею на ЗЗС при регулюванні напору на виході НС, який задають за сумою гідравлічних витрат у мережі від НС до поливної техніки (ПТ), статичного та вільного напору на диктуючому гідранті ЗЗМ. Наведено логіко-математичну модель та технологічні умови енергоефективного управління водоподачею «за потребою» на закритих зрошувальних системах (ЗЗС). Представлено технічні вимоги до насосних агрегатів (НА) та допоміжного технологічного обладнання підкачувальних насосних станцій (НС) при застосуванні автоматизованого управління водоподачею із застосуванням перетворювачів частоти (ПЧ). Обґрунтування доцільності впровадження автоматизованого електропривода з ПЧ, як одного із заходів підвищення енергоефективності, проведено за результатами енергетичних обстежень (енергоаудиту) НС і ЗЗМ із застосуванням засобів вимірювальної техніки на замовлення міжрайонного управління водного господарства. Об'єктом енергоаудиту є ЗЗС, яка експлуатується з 1979р. НС оснащена чотирма НА з відцентровими секційними насосами 150-CVE-350-23/3 ( $D_{\text{рр}} = 350\text{мм}$ ) та приводними електродвигунами марки MAF315SK-4 з номінальною потужністю 132 кВт. За період експлуатації відбулася реконструкція та відновлення ЗЗМ. ДМФ «Дніпро» замінили на сучасні низьконапірні ДМ та системи краплинного зрошення. Із заміною поливної техніки проведено заміну азбестоцементних польових трубопроводів з діаметрами  $D=400\text{мм}$  на пластмасові з  $D=200\text{мм}$ , змінилась конфігурація, гідравлічні характеристики ЗЗМ та режими роботи НА. ККД насосів 150-CVE-350-23/3, за тривалої експлуатації НС, зменшились на 10-15%. Для енергоефективного управління водоподачею запропоновано: замінити чотири зношені насоси 150-CVE-350-23/3 на три насоси вітчизняного виробництва ЦН400-105б; впровадити систему автоматизованого управління водоподачею на НС із застосуванням ПЧ. Доведена ефективність застосування нового способу управління водоподачею на ЗЗС, що передбачає автоматичне регулювання напору на виході НС, заданим за сумою гідравлічних витрат у мережі від НС до поливної техніки (ПТ), статичного та вільного напору на диктуючому вході працюючої ПТ, із застосуванням НА з ПЧ. Завпровадження автоматизованого електропривода з ПЧ на НСП-4 Репінської ЗС дозволяє зменшити добове споживання електроенергії від 12% до 25%.

**Ключові слова:** математична модель, автоматизований електропривод, насосний агрегат, управління водоподачею, енергетичні обстеження, енергоефективність, перетворювач частоти.

**Актуальність.** Основні напрями підвищення енергоефективності водо-подачі на зрошувальних системах для забезпечення їх сталого функціонування визначені Програмою підвищення енергоефективності водогосподарських систем України на 2010–2014 роки [1]. Одним із пріоритетних організаційно-технічних енергозберігаючих заходів на ЗЗС, передбачених Програмою, є застосування автоматизованого частотно-керуваного електропривода НА.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Проведений аналіз режимів роботи НС з авто-

матизованим частотним електроприводом НА показав, що розробка та впровадження систем автоматизованого управління водоподачею (САУВ) на ЗЗС проводились без належного врахування гідравлічних характеристик ЗЗМ з поливною технікою, а також статистичних характеристик процесів водоподачі на ЗЗС як об'єктів управління з розосередженими параметрами. Енергетичні обстеження об'єктів водогосподарських систем, що виконуються за відомою методикою [2], стосуються лише НС і не передбачають обґрунтування застосування ПЧ на НС.

Обґрунтування вибору способу енергоефективного управління водоподачею на ЗЗС в умовах випадкових процесів водоподачі наведено в [3]. Для аналізу процесів автоматизованого управління водоподачею із застосуванням ПЧ використовується математичне моделювання [4].

**Постановка завдання.** Ставиться завдання обґрунтування енергоефективного управління машинною водоподачею на ЗЗС із застосуванням ПЧ на НС за результатами проведення енергетичних обстежень, спрямованих на визначення технічних, гідравлічних та енергетичних характеристик НС, гідравлічних характеристик ЗЗМ та статистичних характеристик процесів водоподачі на ЗЗС.

**Вирішення завдання.** Енергоефективність управління водоподачею із застосуванням на НС автоматизованого електропривода оцінюється за результатами енергетичних обстежень, проведених на Репінській ЗС [5]. Запропоновано застосування нового способу управління НС на ЗЗС [6].

Управління водоподачею на ЗЗС здійснюється за потребою водоспоживачів в межах оперативного плану добових заявок водокористування та норм витрат електроенергії на перекачування води НС [7,8].

Логіко-математична модель енергоефективного управління водоподачею «за потребою» на існуючих ЗЗС може бути представлена у вигляді логічних співвідношень:

$$f = Q_{НС} \geq \frac{k_n}{\eta} \sum_{i=1}^n q_i \cap E \geq e_B \sum_{j=1}^n W_j \cap H_K \geq H_p \cap K_{zn} \geq 0,8, \quad (1)$$

де  $f$  – технологічна умова;  $\cap$  – символ логічного множення;  $Q_{НС}$  – загальна продуктивність НС;  $k_n$  – коефіцієнт потреби;  $\eta$  – ККД ЗЗМ;  $q_i$  – максимальні витрати  $i$ -ї ДМ;  $E$  – план витрат електроенергії на перекачування води НС зрошувальної системи;  $e_B$  – загальнопромислова норма питомих витрат електроенергії на перекачування води НС;  $W_j$  – об'єм води, перекачаної НС;  $H_K$  – напір води в колекторі підкачуальної НС;  $H_p$  – розрахунковий напір для забезпечення надійної роботи ДМ на ЗЗМ;  $K_{zn}$  – коефіцієнти завантаження насосів.

Коефіцієнт потреби  $k_n$  враховує випадкову кількість одночасно працюючих ДМ на ЗЗС, заявлених для подачі води на зрошення, що визначається на основі добових графіків водоподачі [8].

Напір насосів визначають за формулою:

$$H_K = H_G + h_V + H_B, \text{ м} \quad (2)$$

де  $H_G$  – геометричний (статичний) напір, який визначають за топографічними умовами

території;  $h_V$  – динамічний напір визначається гідравлічними втратами напору по довжині трубопроводів та місцевими втратами;  $H_B$  – вільний напір на гідранті ДМ.

Гідравлічні характеристики існуючої ЗЗМ отримують за методикою [9]. При проведенні натурних обстежень визначають загальний технічний стан та стан внутрішніх стінок трубопроводів після їхньої тривалої експлуатації. Проводять натурні експерименти, результати яких порівнюються із розрахунковими. Розробляється та корегується схема ЗЗМ. На схемі повинні бути зазначені конструктивні параметри ЗЗМ: довжини, діаметри, матеріали трубопроводів, місця зміни їх діаметрів, розташування запірнорегулювальної арматури та ДМ.

Будується поздовжній профіль розрахункової ділянки між НС і диктуючим гідрантом ДМ та визначаються місця проведення вимірювань напору на ЗЗМ із застосуванням манометрів або реєстраторів тиску з автономним живленням, а також місце вимірювання витрати води із застосуванням мобільного ультразвукового витратоміра з накладними датчиками на напірному трубопроводі на виході із НС.

За випадкових процесів водоподачі на ЗЗС  $K_{zn}$  змінюються від 0,4 до 0,95, а питомі витрати електроенергії на перекачування води НС, як правило, перевищують їхні нормативні значення [10]. Енергоефективне управління водоподачею на ЗЗС, в умовах випадкових процесів подачі води, спрямоване на збільшення  $K_{zn}$  шляхом застосування на НС НА з автоматизованим електроприводом [6; 8] або удосконалених саморегулювальних ЗЗС [11].

Спосіб енергоефективного управління водоподачею на ЗЗС повинен передбачати оперативну зміну водоподачі НС відповідно до напору в диктуючій точці ЗЗМ, що змінюється залежно від місця розташування працюючих ДМ та загальних витрат води на зрошення. Даним вимогам відповідає спосіб управління НС на ЗЗС з ДМ [6].

При створенні САУВ повинні бути задіяні НА з максимальними ККД та з мінімальними рівнями вібрації. Засувки або поворотні дискові затвори на напірних трубопроводах насосів обладнують виконавчими механізмами з електроприводами. На виходах насосів встановлюють датчики тиску або електроконтактні манометри, а в шафах керування приводними асинхронними електродвигунами – датчики струму. На напірному трубопроводі на виході НС здійснюють

вимірювання об'ємних витрат води і тиску із застосуванням сучасних засобів виміральної техніки (ЗВТ). На входах ДМ ЗЗМ проводять вимірювання напору та об'ємних витрат води із застосуванням розосередженої автоматизованої системи контролю технологічних параметрів [6; 12].

НА з автоматизованим електроприводом повинні створювати об'ємну витрату води більшу ніж інші агрегати НС, а відцентрові насоси повинні мати монотонні напірні характеристики  $H(Q)$ .

Обґрунтування енергоефективного управління водоподачею проводиться за результатами енергетичних обстежень із застосуванням методик [2; 9] та математичного моделювання процесів водоподачі та електроспоживання на прикладі Репінської ЗС.

НСП-4 Репінської ЗС побудована у 1979 р. Для подачі води у ЗЗМ з ДМФ «Дніпро» НС оснащена чотирма НА з відцентровими секційними насосами 150-CVE-350-23/3 ( $D_{\text{рж}} = 350\text{мм}$ ) та асинхронними електродвигунами марки МАФ315СК-4 з номінальною потужністю 132кВт.

За період експлуатації ЗС відбулася реконструкція та відновлення ЗЗМ. ДМФ «Дніпро» замінили на сучасні низьконапірні ДМ та системи краплинного зрошення. Проведено заміну азбестоцементних польових трубопроводів з діаметрами  $D = 400\text{мм}$  на пластмасові з  $D = 200\text{мм}$ . Із заміною поливної техніки (ПТ) та польових трубопроводів змінилась і конфігурація ЗЗМ.

НС забезпечує водою водокористувачів, які вирощують кукурудзу та овочі на загальній площі 200 га. При поливі фермерське господарство (СФГ) «Дружба» використовує ДМ Linestar Bauer фронтальної дії та краплинне зрошення на західній ділянці ЗЗМ. Інший водокористувач – ТОВ «Агрозернресурс» для поливу овочів застосовує сучасну низьконапірну ДМ «Фрегат» фронтальної дії з дизель-генератором, а також краплинне зрошення на східній ділянці ЗЗМ.

НС повинна забезпечувати необхідну подачу води і напір на диктуючому гідранті ЗЗМ. Напори насосів визначають за формулою (2), а статичний напір – за формулою:

$$H_r = \text{абс.}H - \text{абс.}H_{\text{ОН}}, \text{ м} \quad (3)$$

де  $\text{абс.}H$  – абсолютна відмітка місця під'єднання ДМ до диктуючого гідранту;  $\text{абс.}H_{\text{ОН}}$  – абсолютна відмітка осі насоса,  $\text{абс.}H_{\text{ОН}} = 109,55\text{м}$ .

Відмітка диктуючого гідранта на західній ділянці ЗЗМ, на якій працює ДМ «Linstar

Bauer», становить 129,5м, а статичний напір для даної ділянки ЗЗМ, що розрахований за формулою (3), складає 19,95м.

Для східної ділянки ЗЗМ абсолютна відмітка диктуючого гідранта ДМ «Фрегат» становить 130м, а статичний напір – 20,45м.

Для підвищення енергоефективності водоподачі на Репінській ЗС обґрунтовано заходи [5], серед яких: заміна насосів 150-CVE-350-23/3 на насоси ЦН400-1056, оптимізація режимів машинної водоподачі із застосуванням автоматизованого електропривода та ін.

Фактичні ККД насосів 150-CVE-350-23/3 після їхньої тривалої експлуатації зменшились на 10–15%. Заміна чотирьох насосів 150-CVE-350-23/3 на три насоси вітчизняного виробництва ЦН400-1056 забезпечує зменшення питомих витрат електроенергії на перекачування води від 20 до 23%, а також підвищує ефективність управління машинною водоподачею на ЗЗС.

Режими сумісної роботи НА з регульованою і нерегульованою водоподачею до східної ділянки ЗЗМ наведено на рис. 1.

Для забезпечення надійної роботи ДМ «Linstar Bauer» та системи краплинного зрошення із загальною об'ємною витратою 504 м<sup>3</sup>/год задіяно два НА. Частота обертів НА з регульованим електроприводом становить 1380 об/хв. При водоподачі до ДМ «Linstar Bauer» та двох систем краплинного зрошення із загальною об'ємною витратою 720 м<sup>3</sup>/год частота обертів НА з регульованим електроприводом збільшується до 1450 об/хв.

Режими сумісної роботи НА з регульованою та нерегульованою водоподачею до західної ділянки ЗЗМ наведено на рис. 2.

Для створення об'ємної витрати 576 м<sup>3</sup>/год до західної ділянки ЗЗМ задіяно два НА, при цьому насос з регульованим електроприводом змінює частоту обертів до 1313 об/хв.

Сумісна робота НА з регульованим та нерегульованим електроприводом дозволяє зменшити питомі витрати електроенергії на перекачування води до ділянок ЗЗМ з ПТ: ДМ «Linstar Bauer» та однією системою краплинного зрошення – на 18,3%; ДМ «Linstar Bauer» та ДМ «Фрегат» – на 12,3%.

Основні режими сумісної роботи агрегатів з регульованою і нерегульованою водоподачею до ЗЗМ представлено в табл. 1.

Працюючий автономно НА з ПЧ на НСП-4 дозволяє зменшити питомі витрати електроенергії на перекачування води до ділянок ЗЗМ з ПТ від 17,5 до 69,8% залежно від місця розташування ПТ.

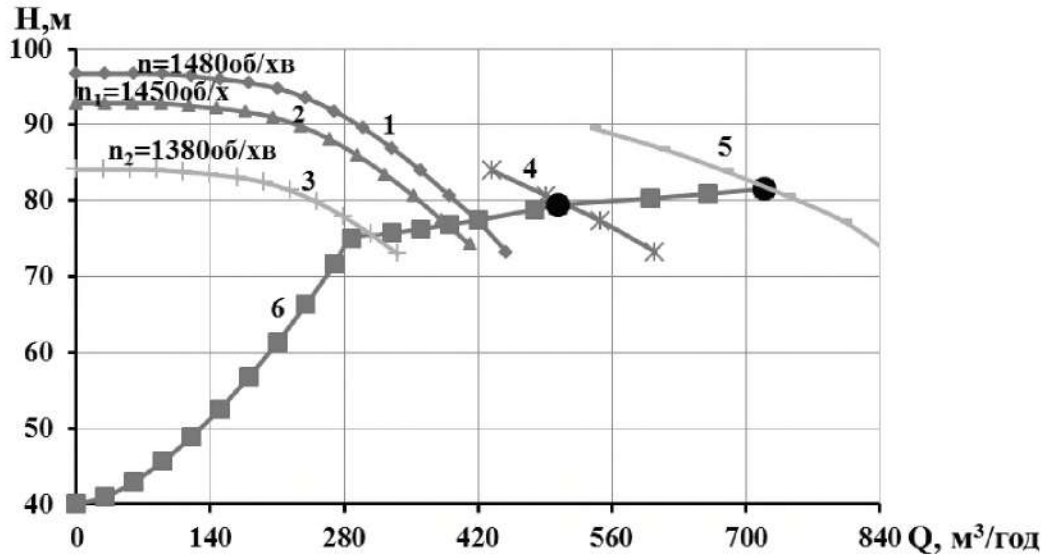


Рис. 1. Режими сумісної роботи НА

з регульованою і нерегульованою водоподачею до східної ділянки ЗЗМ

- 1 – напірна характеристика насоса ЦН400–105б; 2, 3 – напірні характеристики НА з регульованим електроприводом; 4, 5 – напірні характеристики НА при їх суміській роботі; 6 – гідравлічна характеристика західної ділянки ЗЗМ з ПТ.

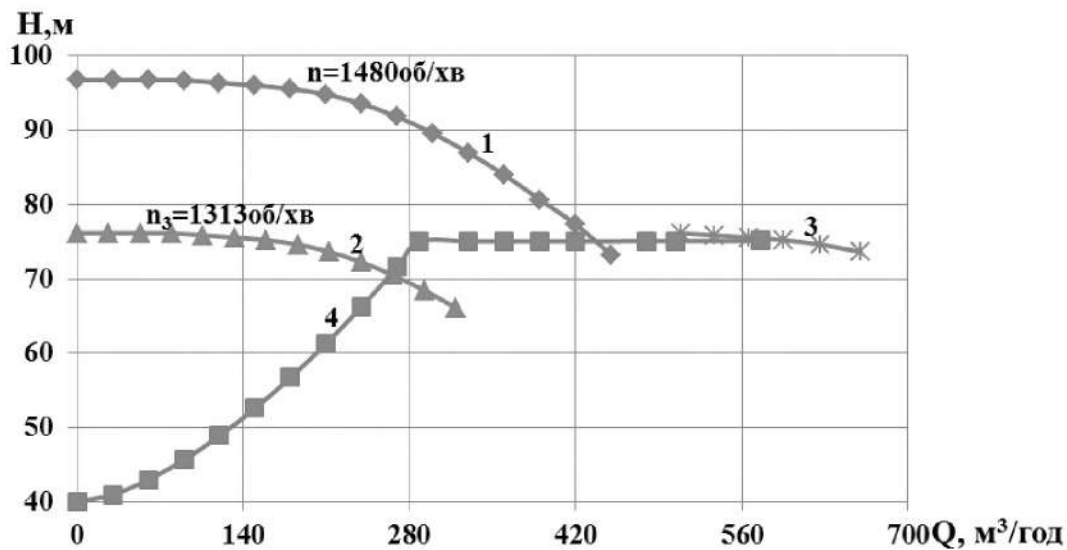


Рис. 2. Режими сумісної роботи агрегатів

з регульованою та нерегульованою водоподачею до західної ділянки ЗЗМ

- 1 – напірна характеристика насоса з нерегульованим електроприводом; 2 – напірна характеристика насоса з регульованим електроприводом; 3 – напірна характеристика при суміській роботі двох НА; 4 – гідравлічна характеристика західної ділянки ЗЗМ з ДМ «Linestar Bauer»

Основні гідравлічні та енергетичні характеристики працюючого автономно НА з ПЧ наведені в табл. 2.

Обґрунтування автоматизованого управління НА на НС в умовах випадкових процесів водоподачі проведено із застосуванням імітаційного моделювання [3] за вихідними даними, отриманими при проведенні енерге-

тичних обстежень [5]. Техніко-енергетичні показники існуючого ручного та автоматизованого режимів управління водоподачею на НСП-4 наведено в табл. 3 та табл. 4.

Добове споживання електроенергії на перекачування води НС при застосуванні автоматизованого управління водоподачею порівняно з ручним зменшується від 12% до 25%.

1. Основні характеристики режимів сумісної роботи агрегатів з регульованою і нерегульованою водоподачею до ЗЗМ

Працююча поливна техніка на ЗЗМ	Напір насоса, м	Подача, м <sup>3</sup> /год.	Питомі витрати електроенергії на перекачування води, кВт·год/тис. м <sup>3</sup>
ДМ «Linestar Bauer» та система краплинного зрошення	79,42	504	304,1
ДМ «Linestar Bauer» та дві системи краплинного зрошення	81,56	720	321,7
ДМ «Linestar Bauer» та ДМ «Фрегат»	75,2	576	306,8

2. Основні гідравлічні та енергетичні характеристики працюючого автономно НА ЦН400-1056 з ПЧ

Назва ПТ та місце її розташування	Напір насоса, м	Подача, м <sup>3</sup> /год.	ККД НА	Потужність, кВт	Питомі витрати електроенергії на перекачування води, кВт·год/тис. м <sup>3</sup>
ДМ «Linestar Bauer», 1Кр-1-3	75,01	288	0,707	83,27	288,8
ДМ «Фрегат», Кр-1	63,4	288	0,711	69,95	242,6
Краплинне зрошення від МТ	28,7	252	0,694	28,36	112,4
Краплинне зрошення від 1Кр-1-4	55,67	216	0,694	47,15	218,0
Краплинне зрошення від 1Кр-1-1	41,8	216	0,685	35,88	166,0

3. Осереднені добові показники ручного управління водоподачею

№	Осереднений добовий графік водоподачі за місяці	Квітень	Травень	Вересень
2	Середньозважений напір на виході НС, м	91,0	92,0	90,9
3	Об'єм води, перекачаної НА, тис.м <sup>3</sup>	5,57	8,4	9,03
4	Середньозважені питомі витрати електроенергії на перекачування води НА, кВт·год/тис.м <sup>3</sup>	397,5	371,3	360,5
5	Спожита електроенергія, кВт·год	2212,9	3103,8	3253,7

4. Осереднені добові показники автоматизованого управління водоподачею

№	Осереднений добовий графік водоподачі за місяці	Квітень	Травень	Вересень
2	Середньозважений напір на виході НС, м	61,8	69,9	76,6
3	Об'єм води, перекачаної НА, тис.м <sup>3</sup>	5,57	8,4	9,03
4	Середньозважені питомі витрати електроенергії на перекачування води НА, кВт·год/тис.м <sup>3</sup>	300,7	303,4	314,4
5	Спожита електроенергія, кВт·год	1674,0	2536,1	2837,7

**Висновки.** Доведена ефективність застосування нового способу управління водоподачею на ЗЗС, що передбачає автоматичне регулювання напору на виході НС заданим за сумою гідравлічних втрат у мережі від НС до ПТ, статичного та

вільного напору на диктуючому вході працюючої ПТ, із застосуванням НА з ПЧ. Запровадження автоматизованого електропривода з ПЧ на НСП-4 Респінської ЗС дозволяє зменшити добове споживання електроенергії від 12% до 25%.

#### Бібліографія

1. Програма підвищення енергоефективності водогосподарських систем України на 2010–2014 роки. Київ: Держводгосп України, 2010. 71 с.
2. Методика проведення енергоаудиту на об'єктах водогосподарських систем: НД 33-6.2-01-2006. Київ: Держводгосп України, 2006. 46 с.
3. Попов В.М., Таргоній М.М. Обґрунтування технології автоматизованого управління водоподачею на зрошувальних системах // Меліорація і водне господарство. 2016. Вип. 103. С. 69–73.
4. Попов В.М., Таргоній М.М. Моделювання динамічних процесів водоподачі та електроспоживання на зрошувальному технологічному комплексі // Меліорація і водне господарство. 2014. Вип.101. С. 179–189.

5. Звіт про створення науково-технічної продукції «Розробка рекомендацій з підвищення енергоефективності водоподачі на Репінській зрошувальній системі». Київ: ІВПіМ, 2016. 54 с.
6. Спосіб управління насосною станцією на закритій зрошувальній системі з дощувальними машинами: пат. 118413 Україна. № у 201701188; заявл. 09.02.2017; опубл. 10.08.2017, Бюл. № 15.
7. Коваленко П.І., Попов В.М. Управління водорозподільними системами за принципами ресурсо- та енергоощадження. Київ: Аграрна наука, 2011. 368с.
8. Методичні рекомендації з ефективного управління водокористуванням на зрошувальних системах Київ: ІВПіМ, 2015. 61 с.
9. Методологія експериментальних досліджень на закритих зрошувальних системах / Попов В.М. та ін. // Вісник НУВГП. 2016. № 4(76): Технічні науки. С. 10–30.
10. Нормування питомих витрат електроенергії на перекачування води насосними станціями. Методичні вказівки: ВНД 33-3.1-08-2004. Київ: Держводгосп України, 2004. 30 с.
11. Зрошувальна система. 120012 Україна. № у 201701190; заявл. 09.02.2017; опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20.
12. Правила експлуатації автоматизованої системи контролю технологічних параметрів на зрошувальному технологічному комплексі. Київ: ІВПіМ, 2014. 14 с.

### References

1. Programa pidvyzchennya energoefektyvnosti vodogospodarskih system Ukrainy na 2010–2014 roky [Program for energy efficiency of water-cospodar systems of Ukraine for 2010–2014 years]. (2010). Kyiv: Dergvodgosp. [in Ukrainian].
2. Metodyka provedennya energoaudytu na obektah vodogospodarskih system [Methodology for conducting energy audits on the objects of water-giving systems]. Derzvodgosp Ukrainy ND 33-6.2-01-2006. (2006). Kyiv. [in Ukrainian].
3. Popov, V.M., & Targoniy, M.M. (2016). Obgruntuvannya tehnologiyi avtomatyzovanogo upravlinnya vodopodacheyu na zroshuvalnyh systemah [Substantiation of the technology of automated control of automatic feeding on irrigation systems]. Melioraciya i vodne gospodarstvo, 103, 69–73. [in Ukrainian].
4. Popov, V.M., & Targoniy, M.M. (2014). Modelyuvannya dynamichnyh procesiv vodopodachi ta elektro-spozivannya na zroshuval'nomu tehnologichnomu kompleksi [Modeling of dynamic processes of water supply and power consumption at the irrigation technological complex]. Melioraciya i vodne gospodarstvo, 101, 179–189. [in Ukrainian].
5. IWPaLM NAAN. (2016). Zvit pro stvorennya naukovo-tehnichnoyi produkciyi "Rozrobka rekomendaciy z pidvyzchennya energoefektyvnosti vodopodachi na Repinskiy zroshuvalniy systemi" [Report on Creation of Scientific and Technical Products "Development of Recommendations for Improving the Energy Efficiency of Water Supply on the Repin Irrigation System"]. Kyiv. [in Ukrainian].
6. Popov, V.M., & Targoniy, M.M. (2017). Sposib upravlinnya nasosnoyu stanciyeyu na zakrytyy zroshuvalniy systemi z dozchuvalnyimi mashynamy [A method of controlling a pumping station on a closed irrigation system with sprinklers]. Patent of Ukraine. № 118413. [in Ukrainian].
7. Kovalenki, P.I., & Popov, V.M. (2011). Upravlinnya vodorozpodil'nymy systemamy za pryncypamy resurso- ta energooshchadzennya [Management of water distribution systems according to the principles of resource and energy saving]. Kyiv: Agrarni nauky. [in Ukrainian].
8. IWPaLM NAAN. (2015). Metodychni rekomendaciyi z efektyvnogo upravlinnya vodokorystuvanniam na zroshuval'nyk systemah [Guidelines for effective water management on irrigation systems]. Kyiv. [in Ukrainian].
9. Popov, V.M., Vnukova, K.V., Targoniy, M.M., Soroka, N.V., & Shlikhta, V.V. (2016). Metodologiya eksperymental'nyh doslidzen' na zakrytyh zroshuval'nyh systemah [Methodology of experimental studies on closed irrigation systems]. Bulletin of NUWM, 4(76), 10–30. [in Ukrainian].
10. Normuvannya pytomyh vytrat elektroenergiyi na perekachuvannya vody nasosnyimi stanciyamy [Rationing of specific costs of electricity for pumping water by pumping stations. Methodical instructions]. Derzvodgosp Ukrainy VND 33-3.1-08-2004. (2004). Kyiv. [in Ukrainian].
11. Popov, V.M., & Targoniy, M.M. (2017). Zroshuval'na systema [Irrigation system]. Patent of Ukraine. № 120012. [in Ukrainian].
12. IWPaLM NAAN. (2014). Pravyly ekspluatatsiyi avtomatyzovanoyi systemy kontroly tehnologichnyh parametriv na zroshuval'nomu tehnologichnomu kompleksi [Rules of operation of the automated control system of technological parameters on the irrigation technological complex]. Kyiv. [in Ukrainian].

В.Н. Попов, Н.Н. Таргоний

**Обоснование энергоэффективного управления водоподачей на закрытых оросительных системах**

**Аннотация.** Исследования направлены на повышение энергоэффективности машинной водоподачи на оросительных системах. Для уменьшения удельного расхода электроэнергии на перекачивание воды НС поставлена задача обоснования энергоэффективного способа автоматизированного управления водоподачей на закрытых оросительных системах (ЗОС). Представлена логико-математическая модель и технологические условия энергоэффективного управления водоподачей «за потребностью» на закрытых оросительных системах (ЗОС). Представлены технические требования к насосным агрегатам (НА) и вспомогательному оборудованию подкачивающих насосных станций (НС) при использовании автоматизированного управления водоподачей на ЗОС с использованием преобразователей частоты (ПЧ). Обосновано использование способа автоматизированного управления машинной водоподачей на ЗОС при регулировании напора на выходе НС, который задают за суммой гидравлических потерь в сети от НС до поливной техники, статического и свободного напора на диктующем гидранте закрытой оросительной сети (ОС). Обоснование целесообразности внедрения автоматизированного электропривода с ПЧ, как одного из способов повышения энергоэффективности, проведено на основании энергетических обследований (энергоаудита) НС и ОС с использованием средств измерительной техники по заказу межрайонного управления водного хозяйства и водопользователей. Объектом энергоаудита является ЗОС, которая эксплуатируется с 1979 г. НС оборудована четырьмя НА с центробежными секционными насосами 150-CVE-350-23/3 (Дрк=350мм) с приводными электродвигателями марки МАФ315СК-4 с номинальной мощностью 132кВт. За время эксплуатации проведена реконструкция ЗОС. ДМФ «ДНЕПР» заменили на современные низконапорные ДМ и системы капельного орошения. С заменой поливной техники произведена замена асбестоцементных трубопроводов на пластмассовые. Изменилась конфигурация, гидравлические характеристики оросительной сети и режимы работы НА. В результате длительной эксплуатации НС, ККД насосов 150-CVE-350-23/3 уменьшились на 10-15%. Для энергоэффективного управления водоподачей предложено: заменить четыре насоса 150-CVE-350-23/3 на три насоса отечественного производства ЦН400-1056; внедрить систему автоматизированного управления водоподачей с использованием преобразователя частоты (ПЧ). Оптимизация режимов работы насосных агрегатов путем использования автоматизированного электропривода с ПЧ позволяет уменьшить суточное потребление электроэнергии на 12-25%, в зависимости от количества, типа и места расположения поливной техники на оросительной сети.

**Ключевые слова:** математическая модель, автоматизированный электропривод, насосный агрегат, управление водоподачей, энергетические обследования, энергоэффективность, преобразователь частоты.

V.M. Popov, M.M. Targoni

**Substantiation of energy efficient water supply in closed irrigation systems**

**Abstract.** The logical-mathematical model and technological conditions of energy-efficient water supply management "when it needs" on closed irrigation systems (CIS) are given. The technical requirements for pumping units (PU) and auxiliary technological equipment of pumping stations (PS) are presented in the application of automated water supply control with the use of frequency converters (FC). It justifies the use of a method of automated control of machine water supply to the CIS when regulating the pressure at the outlet of the PS, which is set for the sum of hydraulic losses in the network from the PS to irrigation equipment, static and free pressure at the dictating hydrant of a closed irrigation network (CIN). Substantiation of the feasibility of introducing automated electric drive with the FC as one of the energy efficiency measures was carried out based on the results of energy audits of the PS and CIS with the use of measuring equipment at the request of inter-district water management administration (IDWMA) and water users. The object of the energy audit is the CIS, which has been in operation since 1979. The PS is equipped with four PUs with centrifugal section pumps 150-CVE-350-23/3 (D = 350 mm) and drive motors of МАФ-315СК-4 brand with a nominal power of 132 kW. During the period of operation the reconstruction and restoration of the CIS took place. "Dnepr" sprinkling machines have been replaced by modern low pressure SM and drip irrigation systems. With the replacement of irrigation equipment, asbestos-cement field pipelines with the diameters D = 400 mm were replaced with the plastic ones with D = 200 mm, the configuration, hydraulic characteristics of the CIS and modes of operation of the PU have also been changed. The efficiency of the pumps 150-CVE-350-23/3 decreased by 10-15% during the long-term operation of the CIS. For energy-efficient water management, it is proposed to replace four worn-out pumps 150-CVE-350-23/3 with three pumps of domestic production ЦН400-1056, which ensure a reduction of the specific energy consumption for pumping water from 20 to 23%. Optimization of the operating modes of the PS by the use of an automated electric drive with FC on one PU, enables to reduce the daily consumption of electricity for pumping water at PS-4 from 13% to 25%, depending on the number, type and location of the operating irrigation equipment on the CIS.

**Key words:** mathematical model, automated electric drive, pumping unit, water supply control, energy audits, energy efficiency, frequency converter.