

УДК 631.674

**Попов В. М., д.т.н., голов.н.с., Внукова К. В., н.с.,
Таргоній М. М., н.с., Сорока Н. В., н.с., Шліхта В. В., аспірант**
(Інститут водних проблем і меліорації, м. Київ)

МЕТОДОЛОГІЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ЗАКРИТИХ ЗРОШУВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Наведено методологію експериментальних досліджень на закритих зрошувальних системах із застосуванням сучасних засобів вимірювальної техніки, спрямованої на обґрунтування заходів з підвищення енергоефективності та експлуатаційної надійності.

Ключові слова: **закрита зрошувальна система, насосна станція, зрошувальна мережа, дощувальна машина, енергоефективність, водоподача, засоби вимірювальної техніки.**

Визначальним способом поливу на зрошувальних системах України є дощування, яке вимагає значних витрат електроенергії і палива на подачу води. Щорічно на перекачування води насосними станціями (НС) закритих зрошувальних систем (ЗЗС) витрачається близько 500 млн кВт-год. електроенергії. На перекачування води дизельними НС та дощувальними машинами (ДМ) з дизель-генераторами витрачається понад 2 тис. т дизельного палива.

Для підвищення енергоефективності ЗЗС, застарілі високонапірні широкозахватні ДМ, що відпрацювали свій амортизаційний термін, замінюють на сучасні низьконапірні ДМ типу Bauer, Valley, Valmont та ін. За зменшення напорів води насосів така заміна дозволяє зменшити в 1,5–2 рази енергоємність машинної водоподачі, але за неузгодженості режимів водоподачі НС та режимів роботи ДМ їхня сумісна робота не забезпечує бажану енергоефективність. За складних гідравлічних процесів на зрошувальній мережі при груповій роботі ДМ виникають порушення оптимальних режимів роботи НА та ДМ, що спричиняє зростання питомих витрат електроенергії та палива на перекачування води НА і нераціональне витрачання палива ДМ. Крім того, виникають порушення оптимальних поливних режимів, що призводить до зменшення урожайності сільськогосподарських культур.

Така ситуація потребує розробки системної методології експериментальних досліджень, спрямованих на підвищення енергоефективності та експлуатаційної надійності ЗЗС.

Пропонується методологія експериментальних досліджень, яка ґрунтується на застосуванні засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) і до-



зволяє:

- визначати енергетичні характеристики НА підкачувальних НС;
- проводити експериментальне градування НА;
- визначати вібраційні характеристики НА;
- будувати графіки фактичної водоподачі та електроспоживання НА;
- визначати напірні та енергетичні характеристики дизельних НС;
- отримати напірно-витратні характеристики ДМ;
- визначати споживання палива дизель-генератором ДМ в залежності від швидкості їх руху;
- будувати графіки зміни напорів на вході ДМ, витрат води ДМ та спожитого палива її дизель-генератором;
- визначати гідравлічні характеристики закритої зрошувальної мережі (ЗЗМ).

Методика визначення енергетичних характеристик НА підкачувальних НС. Енергетичні характеристики НА отримують за результатами енергетичних обстежень [1]. При проведенні енергетичних обстежень застосовуються сучасні ЗВТ: автоматизована система контролю гідро- та електродинамічних навантажень НА (АСК-ГЕДНА) [2], ультразвуковий мобільний витратомір УВР-011-А-К-М з накладними датчиками [3], товщиномір ультразвуковий типу «ВЗЛЕТ-УТ» [4], реєстратор тиску з автономним живленням [5], манометри, мановакуметри, лічильники електроенергії, амперметри, лічильники могодин та секундомір.

Методика визначення енергетичних характеристик НА підкачувальних НС передбачає: встановлення датчика тиску, датчика обертів, датчика струму навантаження та датчиків вібрації на НА. Накладні датчики ультразвукового витратоміра встановлюють на прямолінійних ділянках трубопроводу у відповідності до правил експлуатації витратоміра [3].

Для оцінки технічного стану та режимів роботи НА проводять вимірювання напору, подачі насоса, а також потужності НА [1].

Напори насосів отримано із застосуванням повірених манометрів. Фактичну потужність приводного електродвигуна насоса визначають із застосуванням лічильника активної електроенергії та електронного секундоміра за формулою

$$P = \frac{3600 \cdot n \cdot K_T}{C_e \cdot t}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

де n – число імпульсів лічильника електроенергії за час t у секундах; K_T – повний коефіцієнт трансформації для лічильника електроенергії; C_e , імп/кВт·год – постійна лічильника електроенергії.

Потужність приводного електродвигуна залежить від витрат води, напору насоса та ККД НА і визначається за формулою

$$P = \frac{Q \cdot H}{367,2 \cdot \eta_n \cdot \eta_e}, \text{ кВт} \quad (2)$$

де Q – об'ємна витрата води, створена НА, м³/год; H – напір насоса, м; η_n – ККД насоса за паспортною характеристикою при визначеній водоподачі; η_e – ККД приводного електродвигуна, який визначається залежно від його коефіцієнта завантаження $K_{зе}$.

Об'ємна витрата води визначається за показаннями портативного ультразвукового витратоміра-лічильника з накладними датчиками УВР-011-А-К-М [3]. Для вимірювання товщини стінок трубопроводів використовується товщиномір ультразвуковий «Взлет-УТ».

При проведенні енергетичних обстежень технічний стан НА та його режим роботи оцінюють за ККД η_ϕ , коефіцієнтом завантаження насоса $K_{зн}$ і коефіцієнтом завантаження приводного електродвигуна $K_{зе}$ [1].

Фактичний ККД НА розраховують за формулою

$$\eta_\phi = \frac{Q \cdot H}{367,2 \cdot P}, \quad (3)$$

де Q – подача насоса, м³/год; H – напір насоса, м; P – потужність приводного електродвигуна, кВт.

Відносне відхилення фактичного ККД НА від його паспортного значення розраховують за формулою

$$\delta_\eta = \frac{\eta_\phi - \eta_{п}}{\eta_{п}} \cdot 100, \% \quad (4)$$

де $\eta_{п}$ – ККД агрегату, визначений за паспортною характеристикою насоса $\eta(Q)$ і робочою характеристикою приводного електродвигуна $\eta_e(K_{зе})$.

Коефіцієнт завантаження приводного електродвигуна розраховують із застосуванням формули

$$K_{зе} = \frac{P \cdot \eta_{ен}}{P_n}, \quad (5)$$

де $\eta_{ен}$ і P_n – номінальні значення ККД і потужності приводного електродвигуна.

Для розрахунку середніх значень $K_{зн}$ і $K_{зе}$ за період експлуатації НА визначають середню потужність НА (\bar{P}) і середню подачу насоса



(\bar{Q}) за формулами:

$$\bar{P} = \frac{\Delta E}{\Delta T}, \quad (7)$$

$$\bar{Q} = \frac{W}{\Delta T}, \quad (8)$$

де ΔE – електроенергія спожита приводним електродвигуном, кВт·год за термін його роботи ΔT , що визначений за лічильником мотогодин, год; W – об'єм води, перекачаної НА, м³.

Технічний стан запірної арматури (засувки, поворотні затвори, зворотні клапани), оцінюють за втратами напору під час роботи НА.

Втрати динамічного напору на запірній арматурі визначають за різницею манометричних напорів до і після запірної арматури.

Втрати динамічної складової напору на водозаборах і всмоктувальних трубопроводах визначають за показаннями мановакуумметра до початку роботи НА і під час його роботи.

Отримані експлуатаційні характеристики НА, що отримують при проведенні енергоаудиту, представляють в табличному вигляді.

Таблиця 1

Експлуатаційні характеристики НА, що отримують при проведенні енергоаудиту на НС (приклад)

№ агрегату	Напір, м	Подача, м ³ /год.	Потужність, кВт	ККД агрегату			Коефіцієнт завантаження	
				факт.	паспорт	$\delta_{\eta}, \%$	насоса	електродвигуна
1	73,6	285	104	0,55	0,62	-11,3	1,18	0,73
2	84,5	252	107,6	0,54	0,64	-15,6	1,05	0,75
3	76,6	304	117,6	0,54	0,60	-10,0	1,26	0,83
5	77,5	274	103,3	0,56	0,64	-12,3	1,14	0,64

На рис. 1 наведено механічні, гідравлічні та електричні перехідні процеси при пуску НА з використанням перетворювача частоти типу ЕКТ 4Д1-500-50 на НС-14КМК.

Характеристики, що отримують із застосуванням АСК-ГЕДНА, використовуються для оцінки якості перехідних процесів при оптимізації режимів роботи НА та ідентифікації параметрів математичних моделей систем автоматизованого управління водоподачею на ЗЗС.

Методика експериментального градування НА. Експериментальне градування НА виконують для застосування на НС методики водообліку за спожитою електроенергією [6].

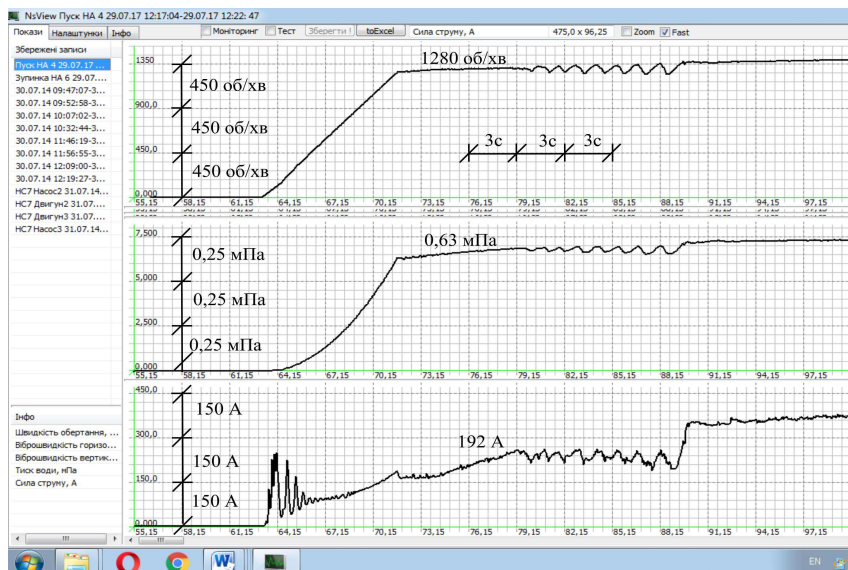


Рис. 1. Механічні, гідравлічні та електричні перехідні процеси при пуску НА 200Д60 з перетворювачем частоти типу ЭКТ 4Д1-500-50 на НС-14КМК

Для градування НА застосовують такі ЗВТ: ультразвуковий мобільний витратомір-лічильник води УВР-011 та багатоканальний лічильник електропроводобліку «ОРИОН-01» [7].

Для побудови характеристики НА за допомогою витратоміра-лічильника води вимірюють миттєву об'ємну витрату, створювану насосом, а за допомогою лічильника електроенергії або лічильника «ОРИОН-01» – споживану ним потужність.

Характеристики НА визначаються аналітичним виразом:

$$P = a_0 + a_1 \cdot q_v + a_2 \cdot q_v^2, \quad (9)$$

де q_v – миттєва об'ємна витрата води, створювана НА, м³/год; P – активна потужність, споживана приводним електродвигуном насосного агрегату, кВт; a_0 , a_1 , a_2 , – коефіцієнти апроксимації характеристики НА.

В робочому діапазоні НА з асинхронним приводним електродвигуном залежність між створюваною ним миттєвою об'ємною витратою і споживаною активною потужністю має лінійний характер:

$$P = P_0 + \alpha \cdot q_v, \quad (10)$$

де P_0 – активна потужність, споживана приводним електродвигуном насосного агрегату за нульової створюваної ним миттєвої об'ємної витрати; α – коефіцієнт, що характеризує нахил характеристики НА до осі ординат (q_v).

За даними фактичних вимірювань отримують лінеаризовані

характеристики насосних агрегатів $P_0(q_i)$ та визначають градувальні коефіцієнти для кожного агрегату [6].

Методика оцінки вібраційних характеристик НА. Для проведення оцінки вібраційних характеристик НА в перехідних та стаціонарних режимах їхньої роботи застосовується АСК-ГДНА. Визначення вібраційних характеристик НА передбачає: встановлення вібродатчиків на точки вимірювання; запуск НА та в стаціонарному режимі проведення реєстрації віброшвидкості в контрольних точках; проведення реєстрації віброшвидкості в різних режимах роботи, регулюючи подачу засувкою (час спостереження на кожному режимі в кожній точці не менше 10 с). Для усереднення та забезпечення достовірності зібраних даних проводять не менше чотирьох одночасних повторних записів вібрації для кожного режиму роботи НА.

Схема розміщення датчиків віброшвидкості наведена на рис. 2.

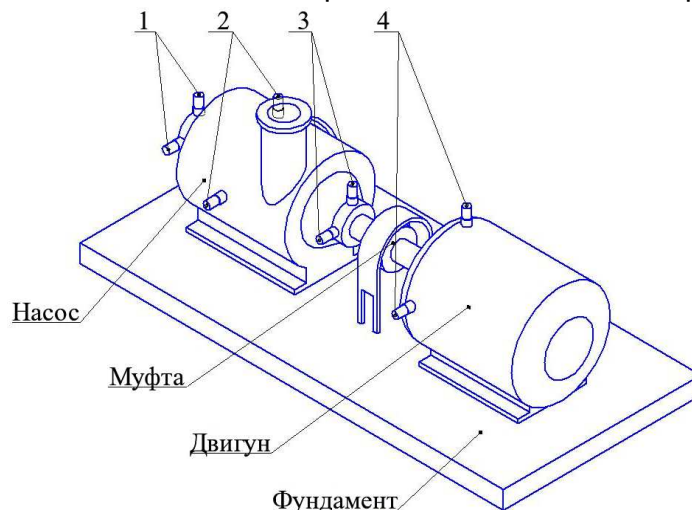


Рис. 2. Схема розміщення датчиків віброшвидкості на агрегаті:
1, 3 – підшипник насосу; 2 – корпус насосу; 4 – корпус електродвигуна

На рис. 3 наведені гармоніки горизонтальної та вертикальної вібрації для НА № 3 НС-2 КМК.

Міжнародний стандарт ISO 10816-1:1995 [8] передбачає, що НА відносяться до «Класу 2» – машини з потужністю до 300 кВт та обертовими масами, що встановлені на спеціальному фундаменті.

Норми вібрації роторного обладнання по стандарту ISO 10816-1:1995 оцінюються за середньоквадратичним значенням віброшвидкості в робочому діапазоні частот від 10 до 1000 Гц і поділяються на такі зони: А – хороша; В – придатна; С – гранично допустима; Д – недопустима.

Результати проведених вібраційних обстежень НА представля-

ються в табличній формі.

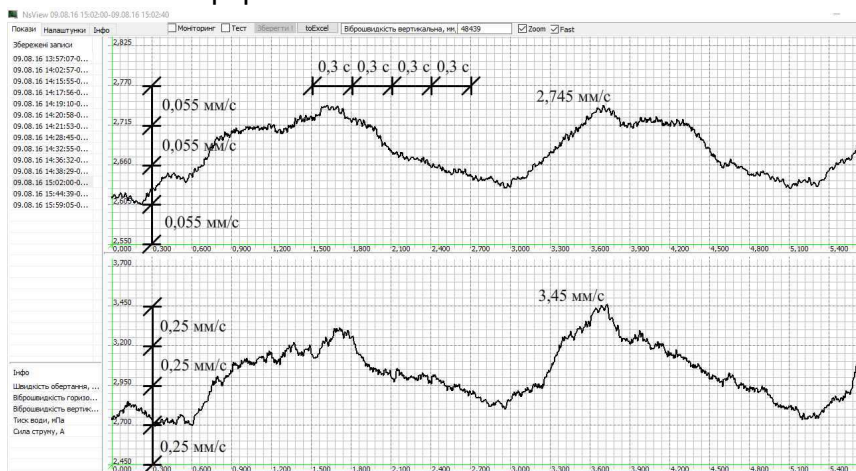


Рис. 3. Гармоніки горизонтальної та вертикальної вібрації для НА № 3

Таблиця 2

Результати вібраційних обстежень НА

№ НА	Точка заміру	Рівень вібрації, мм/с		Рекомендації
		Горизонтальна	Вертикальна	
3	1	2,745	3,45	Рівень вібрації підшипника насоса знаходиться в зоні недопустимих значень, що призводить до скорочення терміну його служби. Необхідно замінити підшипник.
	2	0,659	0,791	
	3	3,625	8,163	
	4	0,956	0,695	

Методика

к-

троспоживання НА. Для визначення графіків водоподачі та електроспоживання агрегатами підкачувальних НС на ЗЗС застосовується інформаційна система, яка складається із багатоканальних лічильників електропроводобліку «ОПІОН-01», встановлених на НС та модемів GSM – каналів зв'язку для передачі інформації від лічильника «ОПІОН-01» до комп'ютера відділу водокористування експлуатаційної організації [7; 9].

Структурна схема інформаційної системи електропроводобліку «ОПІОН-01» представлена на рис. 4.

Розроблене програмне забезпечення інформаційної системи електропроводобліку дозволяє вимірювати і відображати на цифровому індикаторі лічильника «ОПІОН-01» такі параметри: потужність кожного НА; витрати води кожним НА; питомі витрати електроенергії на перекачування води НА; спожиту електроенергію НА; об'єми води, перекачаної НА; тривалість роботи та кількість включень НА. Формується також архів, в якому зберігається база 15-хвилинних, щодобо-



вих та щомісячних записів інформації.

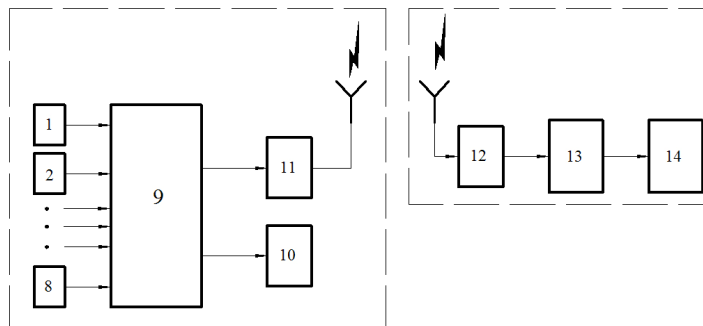


Рис. 4. Структурна схема інформаційної системи «ОРИОН-01»: 1, 2, ...8 – лічильники-датчики електроенергії; 9 – багатоканальний лічильник «ОРИОН-01»; 10 – табло лічильника «ОРИОН-01»; 11, 12 – стільникові модеми; 13 – комп'ютер вимірювальної системи; 14 – дисплей

Графіки потужності, витрат води та питомих витрат електроенергії на перекачування води НА типу 250QVD 570-50 при сумісній їх роботі на НС13 Р-1, що отримані за допомогою інформаційної системи «ОРИОН-01», наведені на рис. 5.

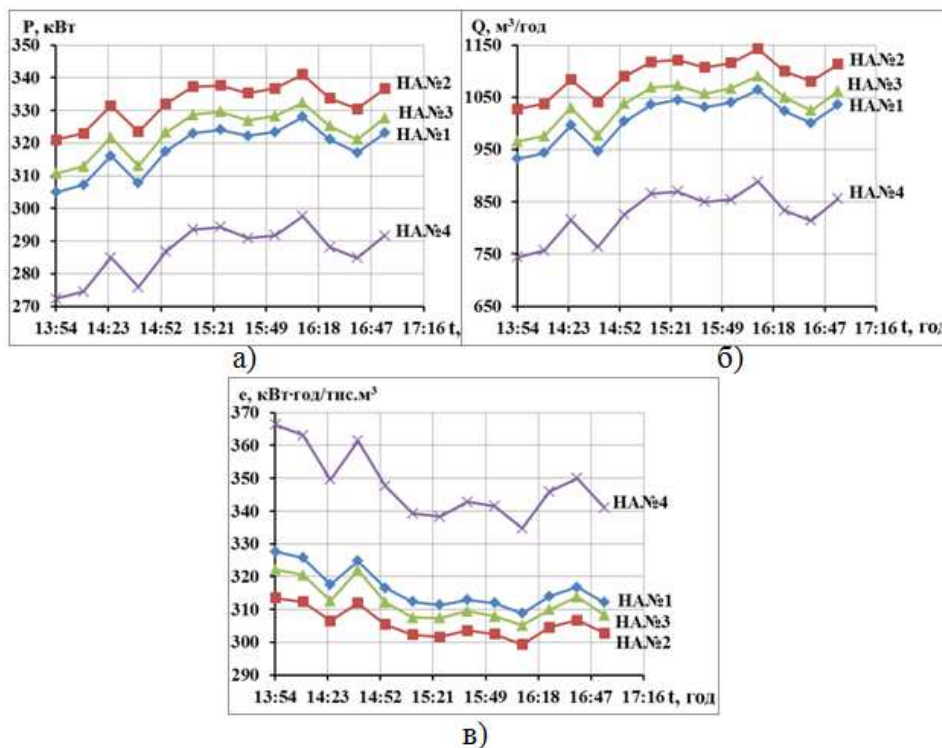


Рис. 5. Графіки водоподачі та електроспоживання НА 250QVD570-50 на НС13 Р-1: а – графіки потужностей НА; б – графіки водоподачі НА; в – графіки питомих витрат електроенергії на перекачування води НА

По запиту оператора інформація від лічильників «ОПІОН-01» передається до комп'ютера відділу водокористування міжрайонного управління водного господарства із застосуванням GSM-каналів зв'язку.

Інформаційна система дозволяє отримувати добові, погодинні та 15 – хвилинні графіки фактичної водоподачі, графіки питомих витрат електроенергії на перекачування води НА, графіки зміни коефіцієнтів завантаження насосів тощо.

Методика визначення напірних та енергетичних характеристик дизельних НС. Напірні та енергетичні характеристики дизельних НС визначаються за результатами натурних обстежень. Дизельні НС як об'єкти обстежень повинні бути обладнані мановакууметрами на всмоктувальних трубопроводах, манометрами та витратомірами-лічильниками води на напірному трубопроводі.

Для визначення напірних та енергетичних характеристик дизельної НС вимірюють напір насоса, об'ємну витрату води та витрату палива.

Напір насоса в метрах водяного стовпа розраховують за формулою

$$H = H_M \pm H_B + \frac{V_H^2 - V_B^2}{2g}, \quad (11)$$

де H_M і H_B – приведені до осі насоса показання манометра і мановакуумметра, м; V_H і V_B – швидкості води у напірному та всмоктувальному патрубках насосів, м/с; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Швидкість води у патрубок насоса визначають за формулою

$$V = \frac{Q}{0,785 \cdot d^2}, \quad (12)$$

де Q – витрата води по трубі, $\text{м}^3/\text{с}$; d – діаметр труби, м.

Об'ємну подачу насоса в $\text{м}^3/\text{год}$ визначають за показаннями мобільного ультразвукового витратоміра-лічильника води відповідно до інструкції з експлуатації, встановленого на всмоктувальному або на напірному трубопроводі НС.

Витрату палива в л/год визначають за показаннями лічильника палива або із застосуванням мірної ємності та секундоміра.

Норму питомих витрат палива на перекачування води дизельною НС в $\text{кг}/\text{тис. м}^3$ визначають формулою

$$p_i = \frac{\Pi}{Q}, \quad (13)$$



де Q – середнє значення подачі насоса, тис. м³/год; Π – середнє значення споживаного палива, кг.

При проведенні експериментальних досліджень витрати води насосів визначають за показаннями мобільного портативного ультразвукового витратоміра-лічильника з накладними датчиками типу УВР-011-А-К-М [3]. Витрати палива при роботі НА вимірюють із застосування лічильників палива та спеціальної вимірювальної ємності і електронного секундоміра. Частота обертів насосів визначають за показаннями цифрових тахометрів.

За результатами натурних обстежень отримують залежності витрат води, витрат палива та питомих витрат палива на перекачування води НА від напорів та частоти обертів, а також залежності питомих витрат палива та витрат палива від подачі води насоса.

На (рис. 6, а) представлено зовнішній вигляд НС з насосом марки Carpage MEC–A3/125A та дизелем марки IVECO F4GE23B00C, а на (рис. 6. б) – НС з насосом марки Д200-36 та дизельним двигуном марки Д243, на яких проведено натурні обстеження.



Рис. 6. Зовнішній вигляд дизельних НС на ЗЗС

Залежності витрат води, витрат палива та питомих витрат палива від частоти обертів насоса марки Carpage MEC–A3/125A з дизелем IVECO F4GE23B00C, отриманих експериментально, представлено на рис. 7.

Методика визначення напірно-витратних характеристик ДМ.

При визначенні напірно-витратних характеристик ДМ застосовуються повірені ЗВТ: накладний мобільний ультразвуковий витратомір УВР-011, манометр з допустимою відносною похибкою $\pm 1\%$, або датчик тиску. Для вимірювань товщини стінок трубопроводів використовується товщиномір ультразвуковий типу «ВЗЛЕТ-УТ». Напірно-витратну характеристику будують за показаннями манометра та ульт-

тразвукового витратоміра в робочому діапазоні ДМ.

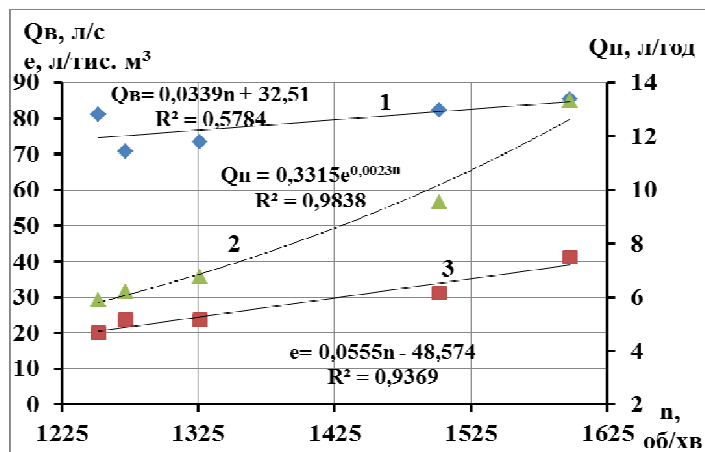


Рис. 7. Залежності витрат води, витрат палива та питомих витрат палива від частоти обертів насоса марки Caprac MEC-A3/125A з дизелем IVECO F4GE23B00C: 1 – витрата води, л/с; 2 – витрата палива, л/год; 3 – питомі витрати палива на подачу води, л/тис. м³

На рис. 8 представлено зовнішній вигляд ДМ «Valley» оснащеної технічними засобами контролю для проведення експериментальних досліджень.

Для вимірювання витрати води накладні датчики мобільного ультразвукового витратоміра встановлюють на прямолінійній ділянці польового трубопроводу перед ДМ або безпосередньо на напірному трубопроводі центрального візка ДМ (рис. 8, а). Манометр або датчик тиску встановлюють на напірному трубопроводі ДМ на рівні розташування її дощувальних апаратів (рис. 8, б).



Рис. 8. Зовнішній вигляд ДМ «Valley» оснащеної технічними засобами контролю



Результати фактичних вимірювань об'ємних витрат води і напору на вході ДМ оформлюють в табличній формі та у вигляді графіків.

На рис. 9 наведене графічне представлення результатів вимірювань об'ємних витрат та напору води на вході ДМ «Reinke».

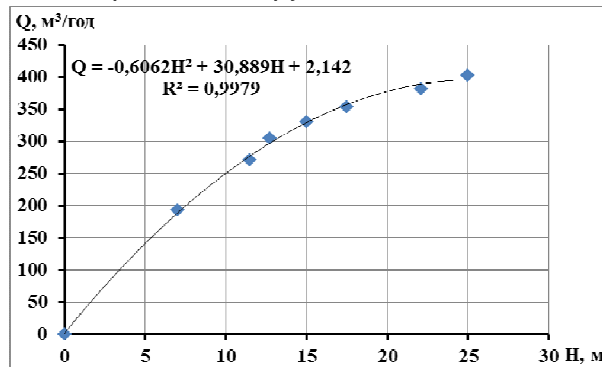


Рис. 9. Напірно-витратна характеристика ДМ «Reinke»

Визначають відносну похибку результатів експериментальних досліджень та середньоквадратичне відхилення результатів [10].

Відносна похибка вимірювань об'ємної витрати води, перекачаної ДМ за напором на її вході визначається за формулою:

$$\delta = \sqrt{\delta_H^2 + \delta_{ep}^2 + \delta_T^2 + \delta_{IP}^2}, \%, \quad (14)$$

де δ_H – відносна похибка вимірювання напору води на вході ДМ; δ_{ep} – відносна похибка градування ДМ, δ_{IP} – відносна похибка перетворення напору в об'ємну витрату води.

Відносна похибка градування ДМ визначається за формулою

$$\delta = 1,1 \cdot \sqrt{\delta_B^2 + \delta_e^2 + \delta_{eo}^2 + \delta_T^2 + (t_D \cdot S)^2}, \%, \quad (15)$$

де δ_B – відносна похибка вимірювання об'ємної витрати води мобільним витратоміром-лічильником води; t_D – коефіцієнт довіри (коефіцієнт Стьюдента) при довірчій ймовірності 0,95 [10]; S – середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання, яке визначається за формулою

$$S(\bar{\delta}) = \sqrt{\frac{\sum (\delta_i - \bar{\delta})^2}{n \cdot (n-1)}}, \%, \quad (16)$$

де δ_i – поточне значення відносної похибки, $\bar{\delta}$ – середнє значення відносної похибки; n – кількість вимірювань.

Методика визначення витрат палива дизель-генератором ДМ

Витрата палива в л/год визна-

чається за показаннями повіреного лічильника палива або об'ємним способом із застосуванням мірної ємності та електронного секундоміра. Швидкість руху ДМ визначається за допомогою пульта керування, рулетки вимірювальної та секундоміра.

На рис. 10 представлено зовнішній вигляд ДМ «Valley», оснащеної технічними засобами, при вимірюванні об'ємної витрати палива дизель-генератора та швидкості руху ДМ.

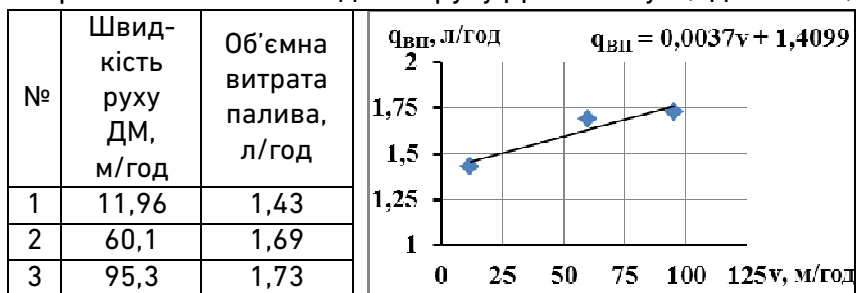


Рис. 10. Зовнішній вигляд ДМ «Valley», оснащеної технічними засобами: а – ємність для вимірювання палива на ДМ «Valley»; б – пульт керування ДМ «Valley»

Результати вимірювань об'ємної витрати палива дизель-генератора та швидкості руху ДМ представляють в табличному вигляді.

Таблиця 3

Витрати палива та швидкість руху ДМ «Valley» ($L_{DM}=393$ м)



Методика визначення графіків зміни напорів води, витрат води ДМ і споживання палива дизель-генератором ДМ. Для побудови графіків зміни напорів води ДМ «Фрегат» використовуються дані, що отримані із застосуванням реєстраторів тиску [5], встановлених на вході ДМ (рис. 11).



Для побудови графіків зміни напору на вході сучасної ДМ і споживання палива її дизель-генератором використовують автоматизовану систему контролю роботи ДМ (АСК-ДМ) [11].

Графіки витрат води ДМ «Фрегат» будують за графіками напору води та її напірно-витратними характеристиками. Графіки зміни напорів води ДМ «Фрегат» визначають в реальних умовах її експлуатації із застосуванням реєстратора тиску з автономним живленням.



Рис. 11. Реєстратор тиску на трубопроводі ДМ «Фрегат»

Реєстратор тиску, встановлений на вході ДМ «Фрегат» дозволяє автоматично визначати графік зміни тиску з періодичністю 1 хв і осереднювати його за 10 хв.

Графік погодинних змін напору на вході ДМ «Фрегат», що працює від НС1Р-1 наведений на рис. 12.

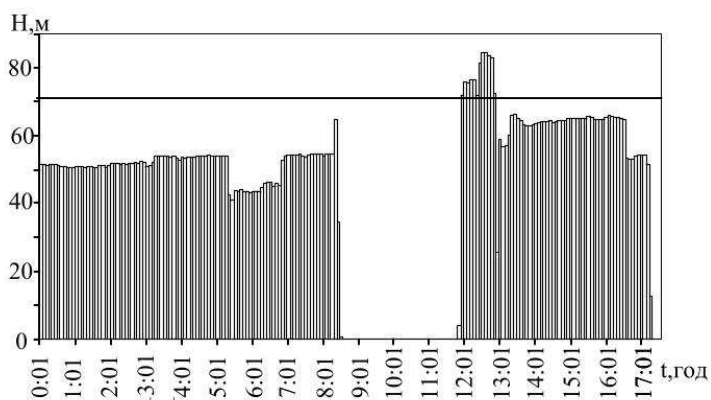


Рис. 12. Графік погодинних змін напору води на вході ДМ «Фрегат»

Для визначення об'ємів та об'ємних витрат води поданої ДМ за напором на її вході, застосовується типова методика виконання вимірювань МВВ 500.21-06 «Об'єм та об'ємна витрата води, поданої

дощувальними машинами і установками на зрошувальних системах» [10].

Графік погодинних об'ємних витрат води ДМ «Фрегат», що працює від НС1Р-1, наведено на рис. 13.

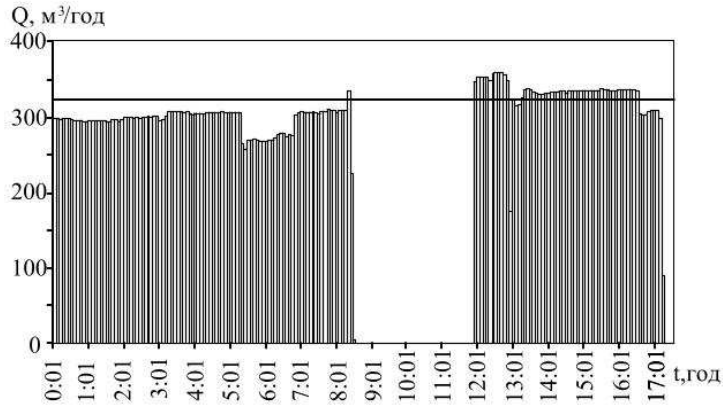


Рис. 13. Графік погодинних витрат води на вході ДМ «Фрегат»

Для побудови графіків зміни напору на вході сучасної ДМ і споживання палива її дизель-генератором використовують автоматизовану систему контролю роботи ДМ (АСК-ДМ) [11], яка складається з мікропроцесорного контролера, перетворювача тиску води, двох лічильників палива. Система забезпечує достовірний та оперативний облік наступних параметрів: поточна дата і час, тиск води на вході ДМ, витрата палива дизель-генератором ДМ, тривалість роботи, кількість зупинок ДМ та ін.

Структурна схема АСК-ДМ представлена на рис. 14.

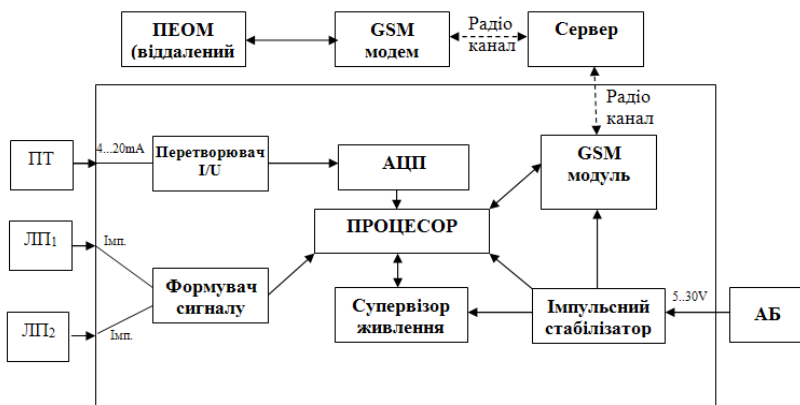


Рис. 14. Структурна схема системи контролю та обліку технологічних параметрів сучасних ДМ з дизель-генератором: ПТ – перетворювач тиску; ЛП – лічильник палива; АЦП – аналого-цифровий перетворювач; АБ – акумуляторна батарея



Програмне забезпечення АСК-ДМ забезпечує надійне функціонування та інформаційний зв'язок з комп'ютером системи верхнього рівня контролю ДМ із застосуванням GSM- каналу зв'язку.

АСК-ДМ дозволяє отримати графіки погодинних змін напору та витрати води ДМ, графіки погодинного споживання палива дизель-генератором ДМ, час неперервної роботи, кількість зупинок ДМ та ін.

На рис. 15 представлено розміщення АСК-ДМ на енергетичному візку ДМ «Valley».

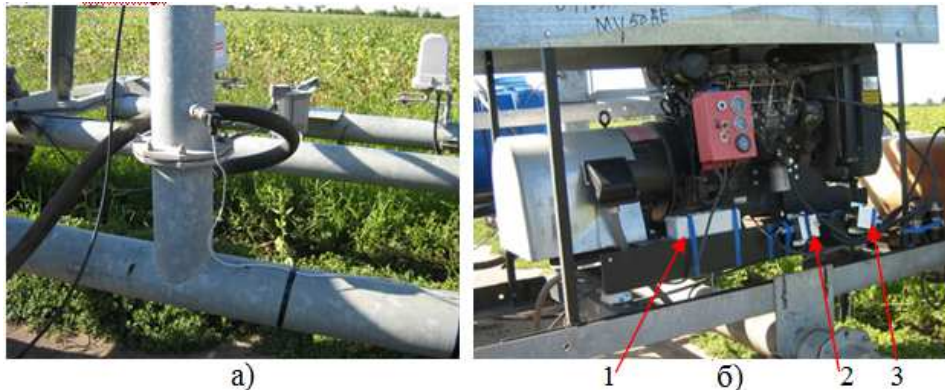


Рис. 15. Розміщення АСК-ДМ на енергетичному візку ДМ «Valley»:
а – напірний трубопровід ДМ з перетворювачем тиску;
б – дизель-генератор ДМ з мікропроцесорним контролером (1)
та датчиками палива (2, 3)

На рис. 16 наведені погодинні графіки змін напору на вході ДМ (рис. 16, а), витрат води ДМ (рис. 16, б) та споживання палива її дизель-генератором (рис. 16, в).

Методика розрахунково-експериментального визначення гідравлічних характеристик ЗЗМ. Для визначення гідравлічних характеристик існуючої ЗЗМ попередньо, шляхом проведення натурних обстежень визначають її загальний технічний стан та стан внутрішніх стінок трубопроводів після їхньої тривалої експлуатації. Проводять натурні експерименти, результати яких порівнюються із розрахунковими. Перед проведенням досліджень розробляється та уточнюється схема ЗЗМ. На схемі повинні бути зазначені конструктивні параметри ЗЗМ: довжини, діаметри, матеріали трубопроводів, місце зміни їх діаметрів, розташування запірно-регулювальної арматури та ДМ.

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



При проведенні досліджень ЗЗМ розбивається на характерні ділянки. На початку та в кінці розрахункової ділянки встановлюються манометри і реєстратори тиску, а на виході із НС – мобільний витратомір. Через визначений термін вимірюють об'ємну витрату води подану НС, напір на диктуючому вході ДМ, а також напори в інших контрольних точках мережі.

Фактичні втрати напору на ділянці ЗЗМ визначаються за формулою

$$h_{\text{вф}} = H_{\text{м1}} - H_{\text{м2}} - H_{\text{г}}, \quad (17)$$

де $H_{\text{м1}}$, $H_{\text{м2}}$ – манометричний напір на початку та в кінці ділянки ЗЗМ; $H_{\text{г}}$ – геометричний (статичний) напір, який визначають топографічними умовами території за формулою

$$H_{\text{г}} = \text{абс.}H_{\text{м1}} - \text{абс.}H_{\text{м2}}, \quad (18)$$

де $\text{абс.}H_{\text{м1}}$, $\text{абс.}H_{\text{м2}}$ – абсолютні відмітки манометра або реєстратора тиску на початку та в кінці ділянки трубопроводу ЗЗМ.

Для визначення абсолютних відміток контрольованих точок на ЗЗМ використовується рулетка вимірювальна та абсолютні позначки поверхні землі, що визначаються із застосуванням Геоінформаційних систем SAS Planet або Google Планета Земля.

Розрахункові втрати напору в трубопроводах ЗЗМ залежать від швидкості руху води, їх геометричних та гідравлічних характеристик і визначаються за формулою Дарсі – Вейсбаха, наведеної в довіднику [12],

$$h_{\text{вп}} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g}, \quad \text{м}, \quad (19)$$

де λ – коефіцієнт шорсткості; l – довжина трубопроводу, м; d – розрахунковий внутрішній діаметр труби для визначення гідравлічних втрат, м; V – швидкість руху води, м/с; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Коефіцієнти шорсткості для ненових сталевих трубопроводів визначають за формулою [13]

$$\lambda_{\text{cm}} = \frac{0,0179}{d^{0,3}} \cdot \left(1 + \frac{0,867}{V}\right)^{0,3}. \quad (20)$$

Наведена формула застосовується при утворенні на стінках трубопроводів корозії та наносів шаром до 1мм. В інших випадках для ненових сталевих трубопроводів застосовують формулу А.Д. Альтшуля [12]

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{ke}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (21)$$

де ke – еквівалентна рівномірно зерниста абсолютна шорсткість; Re – число Рейнольдса.

Формули (20), (21) справедливі лише при середній швидкості руху води $v=1,0$ м/с. При інших швидкостях руху води враховують поправку на не квадратичну залежність втрат напору від середньої швидкості руху води. Поправочні коефіцієнти для сталевих трубопроводів розраховуються за формулою [13]

$$K_{cm} = 0,852 \cdot \left(1 + \frac{0,867}{V} \right)^{0,3}. \quad (22)$$

Відносне відхилення розрахункового значення напору від фактичного значення визначають за формулою

$$\delta_h = \frac{h_{VP} - h_{V\Phi}}{h_{V\Phi}} \cdot 100\%, \quad (23)$$

де $h_{V\Phi}$, h_{VP} – фактичне та розрахункове значення напору.

Якщо відносне відхилення розрахункового значення напору перевищує значення напору, отриманого експериментальним шляхом на $\pm 5\%$, тоді корегують коефіцієнт шорсткості та проводять додаткові розрахунки гідравлічних втрат напору в трубопроводах ЗЗМ.

Отже, ЗЗС являються енерговитратними технологічними комплексами, якісне управління якими вимагає проведення експериментальних досліджень, спрямованих на обґрунтування енергоефективних організаційно-технічних заходів.

Наведена системна методологія експериментальних комплексних досліджень на ЗЗС із застосуванням сучасних ЗВТ та інформаційних технологій використовується при: обґрунтуванні ефективних способів та систем управління водоподачею, ідентифікації параметрів математичних моделей систем автоматизованого управління режимами роботи насосних агрегатів з керованим електроприводом, встановленні закономірностей процесів водоподачі та енергоспоживання, нормуванні питомих витрат електроенергії та палива, нормуванні вібрації відцентрових насосів, а також при реконструкції ЗЗС за підвищення їх енергоефективності та експлуатаційної надійності.

1. Методика проведення енергоаудиту на об'єктах водогосподарських систем: НД 33-6.2-01-2006. – К. : Держводгосп України, 2006. – 46 с. **2.** Правила експлуатації автоматизованої системи контролю режимів роботи агрегатів



крупних насосних станцій – К. : ІВПіМ, 2013. – 20 с. **3.** Расходомер-счетчик ультразвуковой портативный УВР-011А-К-М. Руководство по эксплуатации. **4.** Толщиномер ультразвуковой «ВЗЛЕТ-УТ». **5.** Керівництво з експлуатації реєстратора тиску з автономним живленням. **6.** Попов В. М. Об'єм та об'ємна витрата води, перекачаної насосною станцією. Типова методика виконання вимірювань МВВ 703.21-09. – К. : ІГіМ НААН, 2009. – 24 с. **7.** Правила експлуатації лічильників багатоканальних для обліку води на насосних станціях за спожитою електроенергією “ОРІОН-01”. – К. : Держводгосп України, 2009. – 41 с. **8.** ISO 10816-1:1995 Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts – Part 1: General guidelines – 1995-12-15. – IHS under license with ISO, Amd. 1:2009(E) – I, 10. **9.** Методичні рекомендації з управління водорозподільними системами із застосуванням сучасних інформаційних технологій. – К. : ІГіМ УААН, 2010. – 68 с. **10.** Попов В. М. Об'єм та об'ємна витрата води, поданої дощувальними машинами і установками на зрошувальних системах. Типова методика виконання вимірювань МВВ 500.21-06. – К. : ІГіМ УААН, 2006.– 13 с. **11.** Правила експлуатації автоматизованої системи контролю технологічних параметрів дощувальних машин. – К. : ІВПіМ НААН, 2014. – 14 с. **12.** Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. – 5-е изд. – М. : Энергия, 1974. – 312 с. **13.** Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справ. пособие. – 6-е изд., доп. и перераб. – М. : Стройиздат, 1984. – 116 с.

Рецензент: д.т.н., професор Хоружий П. Д. (ІВПіМ НААН)

**Popov V. M., Doctor of Engineering, Leading Researcher,
Vnukova K. V., Research Fellow, Tarhonii M. M., Research Fellow,
Soroka N. V., Research Fellow, Shlikhta V. V., Post-graduate Student**
(Institute of Water Problems and Melioration, Kyiv)

METHODOLOGY OF EXPERIMENTAL RESEARCH AT CLOSED IRRIGATION SYSTEMS

An experimental research methodology at closed irrigation systems using modern measuring equipment, aimed at justifying the measures to improve energy efficiency and operational reliability is given.

Keywords: closed irrigation system, pumping station, irrigation network, irrigation system, energy efficiency, water supply, measuring equipment.

**Попов В. Н., д.т.н., глав.н.с., Внукова К. В., н.с., Таргоний Н. Н., н.с.,
Сорока Н. В., н.с., Шлихта В. В., аспирант (Институт
водных проблем и мелиорации, г. Киев)**

МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Представлена методология экспериментальных исследований на закрытых оросительных системах с применением современных средств измерительной техники, направленной на обоснование мероприятий по повышению энергоэффективности и эксплуатационной надежности.

***Ключевые слова:* закрытая оросительная система, насосная станция, оросительная сеть, дождевальная машина, энергоэффективность, водоподача, средства измерительной техники.**
