



Агроекологія, радіологія, меліорація

УДК 631.67

© 2022

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ ГОЛОВНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ НИЖНЬО-ДНІСТРОВСЬКОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

*М.І. Ромащенко¹, В.М. Попов², М.М. Таргоній³, В.В. Шліхта⁴,
Д.Я. Строкон⁵, В.В. Говгера⁶, І.В. Войтович⁷,
Т.В. Матяш⁸, М.В. Яцюк⁹*

¹доктор технічних наук, професор, академік НААН

²доктор технічних наук

^{3, 5, 7, 8}кандидати технічних наук

⁹кандидат географічних наук

Інститут водних проблем і меліорації НААН
вул. Васильківська, 37, м. Київ, 03022, Україна

e-mail: ¹romashchenko@gmail.com, ²v_popov15@ukr.net, ³nick.tar991@ukr.net,

⁴sh.vova@outlook.com, ⁵dmitry.strokon@gmail.com, ⁶HovheraV@ebrd.com,

⁷bondaro02@ukr.net, ⁸t.v.matiash@gmail.com, ⁹mv_yatsiuk@ukr.net

ORCID: ¹0000-0002-9997-1346, ²0000-0003-2024-0290, ³0000-0002-6200-7633,

⁴0000-0001-7447-1540, ⁷0000-0002-1543-3955, ⁸0000-0003-1225-086X,

⁹0000-0002-5535-715X

Надійшла 06.06.2022

Мета. Обґрунтувати організаційно-технічні заходи для забезпечення надійної роботи насосно-силового обладнання головної насосної станції (ГНС) Нижньо-Дністровської зрошувальної системи (НДЗС) та підвищення енергоефективності машинної водоподачі за модернізації НДЗС. **Методи.** Інформаційно-аналітичний — для аналізу наукових результатів, висвітлених у вітчизняних і закордонних літературних джерелах з проблематики забезпечення надійної роботи насосно-силового обладнання насосних станцій (НС) та енергоефективності машинної водоподачі. Польових досліджень — для визначення енергетичних характеристик і технічного стану насосних агрегатів (НА) за рівнями вібрації із застосуванням сучасних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) та вібромоніторингу. Статистичний — для аналізу експериментальних даних. **Результати.** Визначено рівні вібрації НА з відцентровими горизонтальними насосами Д4000-95 і приводними асинхронними електродвигунами АНЗ-2-15-57-2 потужністю 1600 кВт, 1000 об/хв, а також рівні вібрації НА з відцентровими вертикальними насосами 1200В-

6,3/100 та приводними синхронними електродвигунами ВДС-2-325/69-2 потужністю 8000 кВт у стаціонарних і перехідних процесах. Надано рекомендації для підвищення надійності роботи насосно-силового обладнання ГНС і зменшення експлуатаційних витрат на електроенергію. Висновки. За рівнями вібрації у стаціонарному режимі роботи насос 1200В-6,3/100 після проведення капітального ремонту має хороший технічний стан. У режимі пуску і впродовж перехідного режиму під час заповнення напірного трубопроводу ГНС виникають підвищені рівні вібрації, які у 2–4 рази перевищують рівні вібрації в стаціонарному режимі його роботи. Такий режим роботи НА з часом може призвести до погіршення його технічного стану, зростання споживання електроенергії, до виходу з ладу підшипника насоса, а також — до виникнення відмов у роботі насосно-силового обладнання.

Ключові слова: вібрація, енергоефективність, відцентрові насоси, методика, коефіцієнт корисної дії.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202210-05>

На зрошувальних системах (ЗС) України насосні станції експлуатуються 40–65 років. На багатьох НС насосно-силове обладнання потребує оновлення та ремонту. За даними енергетичних обстежень, проведених на об'єктах водорозподільних систем України, близько 50% насосних агрегатів (НА), що перебувають нині в експлуатації, мають зменшені на 10–25% ККД від їх паспортних значень [1].

У рамках Пілотного проєкту з реконструкції ЗС в Україні за програмою ТЦ «Фінанси та трансферти технологій» для країн Центральної та Східної Європи (FINTECCS) Інститут водних проблем і меліорації НААН отримав від Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР) завдання на проведення технічного та енергетичного аудиту Нижньо-Дністровської зрошувальної системи (НДЗС). Загальна мета проєкту — підвищення ефективності ЗС способом базового технічного та енергетичного досліджень системи, порівняльного технічного дослідження та розробки програми пріоритетних інвестицій.

Результати виконання одного із важливих завдань цього дослідження, а саме, — виконання енергетичного аудиту на ключових НС системи, що стали основою для формування пріоритетних цілей модернізації НДЗС, розробки нових технологічних рішень і підготовки базових вихідних даних для розробки програми пріоритетних інвестицій наведено в цій статті.

Починаючи з 1998 р., до часу проведення натурних обстежень у 2018 р., головна насосна станція (ГНС) НДЗС працює за графіком добових тарифів на електроенергію, як правило, лише в нічний та напівнічний періоди доби. За такого режиму роботи кількість пусків НА зросла в 4–5 разів, що призвело до істотного зменшення надійності роботи НА, поворотно-дискових затворів, зворотних клапанів, а також комутаційних апаратів. Неодноразово виникали пориви на напірному трубопроводі ГНС, а також пошкодження корпусу поворотно-дискового затвора діаметром 1600 мм; виходив з ладу асинхронний двигун АЗУ-14-59-6 потужністю 1250 кВт; пошкоджувався масляний вимикач на НА № 4; виникали пробої ізоляції обмоток ротора синхронного електродвигуна ВДС-325/69-12 НА № 1 та короткі замикання в обмотці ротора синхронного електродвигуна ВДС-325/69-12 НА № 4; перегрів опорного підшипника верхньої ванни електродвигуна ВДС-2-325/69-12 НА № 2.

За останні роки було проведено повний капітальний ремонт НА № 2 із заміною направляючого підшипника насоса, повний капітальний ремонт НА № 4 з демонтажем полюсів ротора і заміною електромашинної системи збудження на тиристорну. Проведено заміну вала насоса НА № 3 та масляних вимикачів НА № 1 і 5.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Коливання (вібрації) в НА досліджуються насамперед з позиції їхнього впливу

1. Основні технічні характеристики агрегатів ГНС

| № НА | Тип, марка насоса | D _{рк} , мм | Тип, марка електродвигуна | Потужність, кВт | ККД ел. дв. | Частота, об./хв |
|------|-------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|-------------|-----------------|
| 1 | 1200В-6,3/100 | 2198 | ВДС-325/69-12 | 7500 | 95,7 | 375 |
| 2 | 1200В-6,3/100 | 2290 | ВДС-2-325/69-12 | 8000 | 95,9 | 375 |
| 4 | 1200В-6,3/100 | 2198 | ВДС-325/69-12 | 7500 | 95,7 | 375 |
| 3 | Д4000-95 | 825 | АЗУ-14-59-6 | 1250 | 95,3 | 1000 |
| 5 | Д4000-95 | 825 | АНЗ-2-15-57-6 | 1600 | 95,4 | 1000 |

| | | | |
|------------|--------------|------------------------|-----------------|
| А – Хороша | В – Придатна | С – Гранично-допустима | Д – Недопустима |
|------------|--------------|------------------------|-----------------|

Рис. 1. Зміна рівня кислотності до внесення біокомпозиції з грибів *Basidiomycota*, за період перебігу процесу ферментації

на довговічність роботи елементів конструкції агрегата, на фундаменти НА або бетонні перекриття НС, а також впливу на людину. Над цими питаннями працювали вітчизняні та зарубіжні вчені [2–8].

Аналіз отриманих результатів досліджень свідчить про те, що наявні науково-методичні підходи щодо визначення та оцінки вібрації НА не дають відповіді на питання, які виникають під час експлуатації та модернізації НС ЗС.

Матеріали, методи та результати досліджень. Для об'єктивної оцінки технічного стану НА на ГНС НДЗС використано методику проведення комплексних натурних обстежень агрегатів із застосуванням сучасних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) і вібромоніторингу із автоматизованою системою контролю гідродинамічних навантажень (АСК-ГДН) [9–12], а також методику проведення енергоаудиту на об'єктах водогосподарських систем [13]. Визначено основні технічні характеристики агрегатів ГНС (табл. 1).

За міжнародним стандартом ISO 10816-1:1995 НА Д4000-95 (22 НДС) і 1200В–6,3/100 (52В-11), які встановлені на ГНС НДЗС, належить до «Класу 1». Це великі машини потужністю від 300 кВт та обертовими масами, що встановлені на спеціальному жорсткому фундаменті.

Норми вібрації роторного обладнання за стандартом ДСТУ [14, 15] оцінюють за середньоквадратичним значенням віброшвидкості в робочому діапазоні частот 10–1000 Гц, їх поділяють на 4 зони: А — хороша

(0,43–0,87 мм/с); В — придатна (0,87–2,20); С — гранично допустима (2,20–3,54); Д — недопустима (від 3,54 мм/с) (рис. 1).

Визначення технічного стану НА з горизонтальним відцентровим насосом Д4000-95. На схемі вказано розміщення місць вимірювання рівнів вібрації та датчиків віброшвидкості на НА з відцентровими горизонтальними насосами (типів: Д, QVD, CVE, ЦН та ін.) (рис. 2).

На рис. 3 наведено розміщення датчиків віброшвидкості на підшипнику насоса Д4000-95 агрегата № 5 ГНС з приводним асинхронним електродвигуном АНЗ-2-15-57-6 потужністю 1600 кВт, 1000 об./хв.

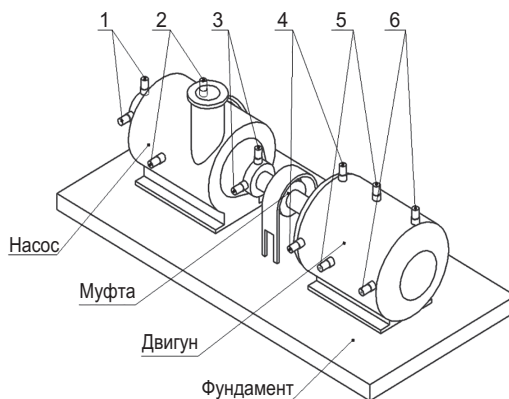


Рис. 2. Схема розміщення місць вимірювання вібрації та датчиків віброшвидкості на НА з відцентровим горизонтальним насосом: 1, 3 – підшипники насоса; 2 – корпус насоса; 4, 5 – підшипники електродвигуна; 6 – корпус електродвигуна

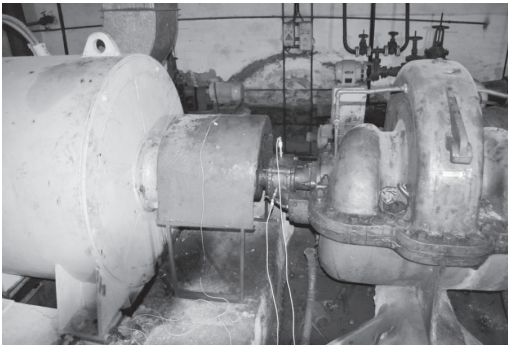


Рис. 3. Розміщення вібродатчиків на підшипнику насоса

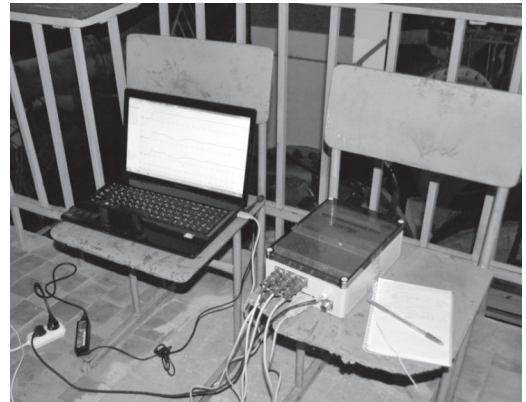


Рис. 4. Робоче місце під час вимірювання та контролю гідравлічних характеристик і рівнів вібрації НА № 5

Обстеження НА № 5 виконували впродовж 3-х год — з 23 год 03.09.2018 р. до 2 год 04.09.2018 р.

Пуск НА здійснюється в такій послідовності: включення електродвигуна, розгін до підсинхронної частоти обертання, синхронізація, робота з підвищеним напором під час ступінчастого відкриття дискового затвора при заповненні напірного трубопроводу ГНС, зарядка сифона на водовипуску напірного трубопроводу в регулювальний басейн і вихід у стаціонарний робочий режим.

Вимірювання рівнів вібрації проводили на корпусах підшипників насоса, підшипників двигуна, корпусі двигуна і корпусі насоса в двох взаємно перпендикулярних напрямках (вертикальному і горизонтальному) упродовж 10–30 с. Водночас з вимірюваннями рівнів вібрації визначали швидкість

обертання вала двигуна і тиск на виході насоса перед дисковим затвором.

На рис. 4 наведено робоче місце спеціаліста під час вимірювання та контролю гідравлічних характеристик і рівнів вібрації НА.

На рис. 5 наведено осереднені фрагменти графіків зміни рівнів вібрації на корпусі підшипника НА № 5 у перехідному і стаціонарному режимах його роботи.

Подібні графіки зміни рівнів вібрації отримано також для підшипників двигуна, корпусу насоса і корпусу двигуна.

Графіки зміни горизонтальної та вертикальної віброшвидкостей на корпусі підшипника насоса НА № 5 у перехідному режимі роботи наведено на рис. 6.

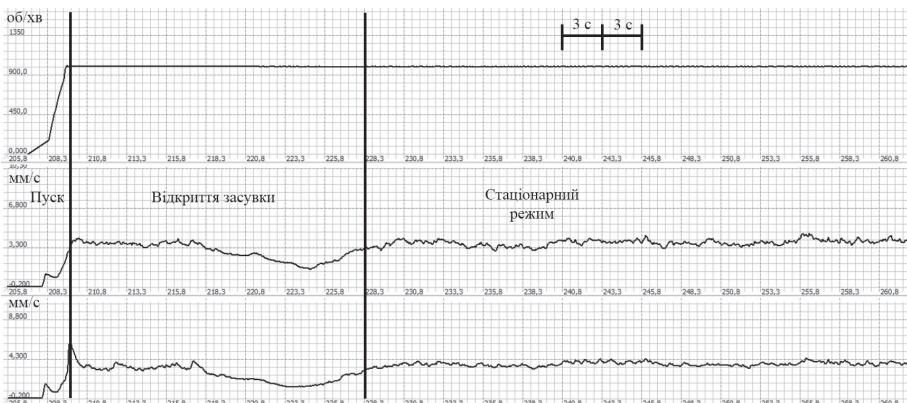


Рис. 5. Графіки зміни рівнів вібрації на корпусі підшипника насоса НА № 5 у перехідному і стаціонарному режимах роботи (20–26 с)

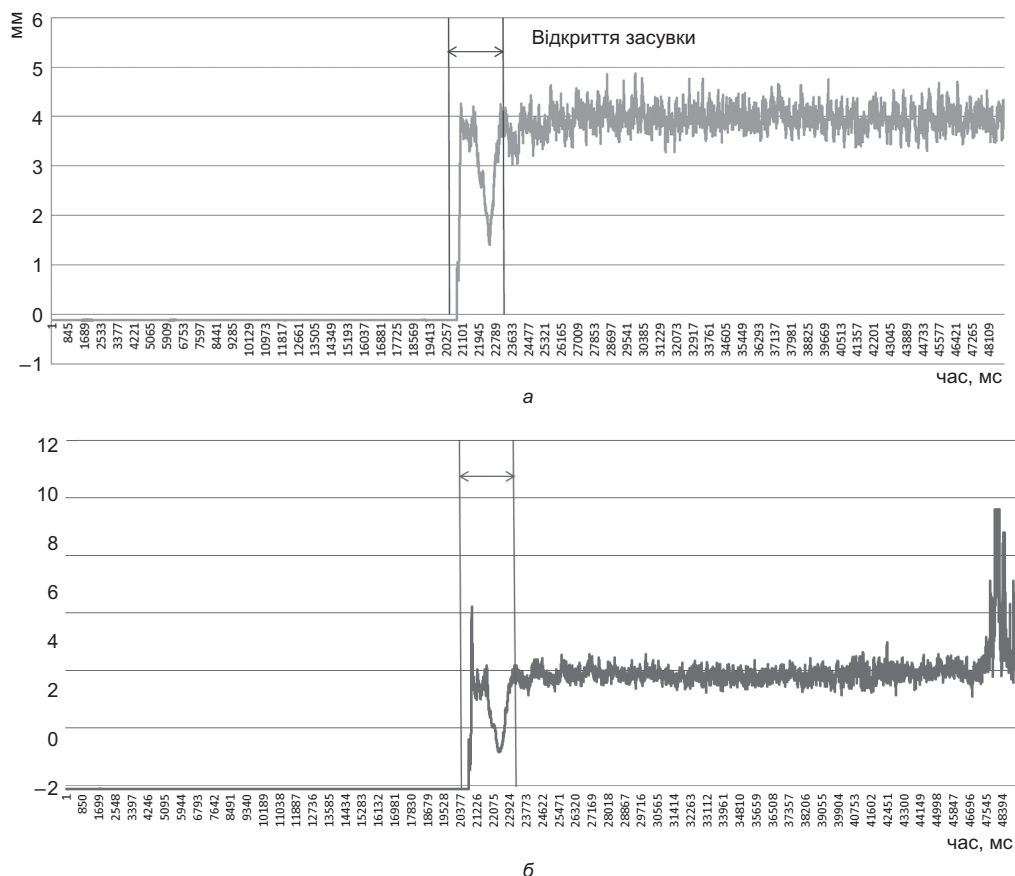


Рис. 6. Графіки зміни віброшвидкості на корпусі підшипника насоса НА № 5 у перехідному режимі роботи (0–49 с) після запуску: а – горизонтальна віброшвидкість, мм/с; б – вертикальна віброшвидкість, мм/с

Статистичну обробку даних горизонтальних і вертикальних віброшвидкостей у вигляді діаграм розподілу частот наведено на рис. 7.

2. Результати вібраційних обстежень НА № 5 ГНС

| № НА | Точка заміру | Рівень вібрації, мм/с | | | | Рекомендації |
|------|--------------|-----------------------|--------------|-------------------|--------------|--|
| | | Стаціонарний режим | | Перехідні процеси | | |
| | | горизонтальна* | вертикальна* | горизонтальна* | вертикальна* | |
| 5 | 1 | 5,666 | 6,938 | | | Експлуатація такого НА призводить до зниження його ККД і, як наслідок, — до перевитрат електроенергії. Потрібно замінити підшипники насоса, провести ТО двигуна |
| | 2 | 3,015 | 4,239 | | | |
| | 3 | 3,2806 | 3,09 | 4,258 | 6,222 | |
| | 4 | 1,733 | 1,684 | | | |
| | 5 | 2,226 | 1,953 | | | |
| | 6 | 2,534 | 1,557 | | | |

* Вібрація (для табл. 2–4).

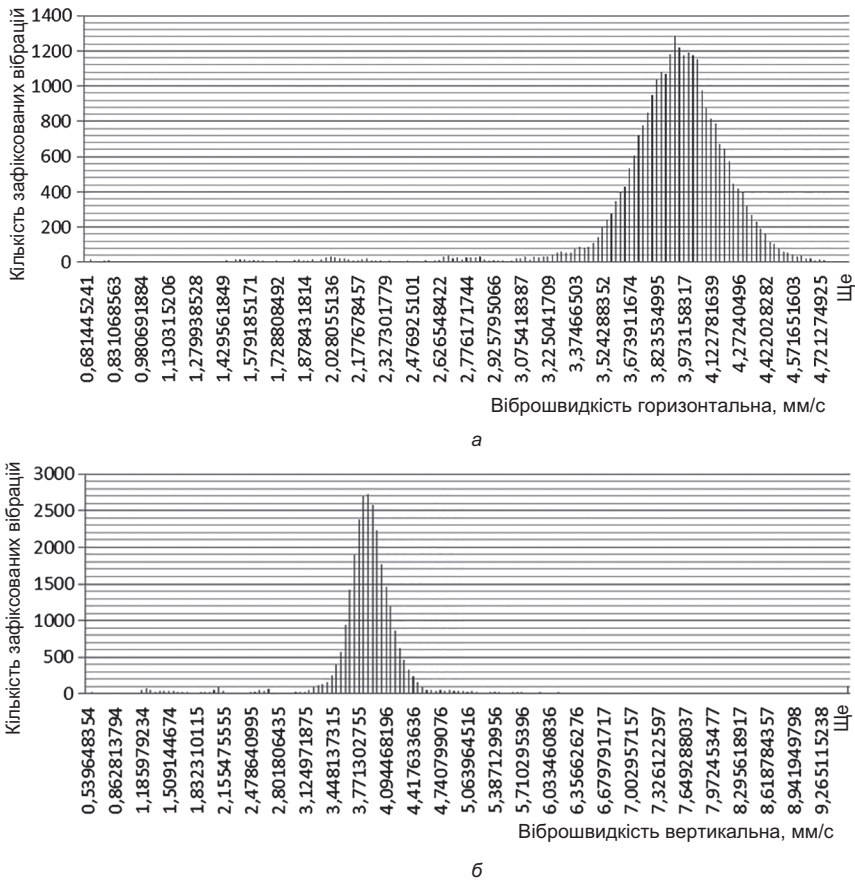


Рис. 7. Графік частотного розподілу віброшвидкостей НА № 5: **а** – горизонтальних; **б** – вертикальних



Рис. 8. Зовнішній вигляд НА № 3 ГНС

Максимальну величину вібрацій спостерігали під час роботи насоса із закритим затвором та на початку його відкриття (20–24 с). Потрапляння режимної точки насоса в зону

великих подач (47–55 с) підвищувало вертикальну вібрацію, а також пульсацію тиску.

За результатами статистичного аналізу даних проведених спостережень у діапазоні часу 20–49 с виявлено зростання вертикальних віброшвидкостей до 9,5 мм/с. Середні значення рівнів вібрацій та стандартне відхилення при цьому становлять $3,87 \pm 0,42$ та $3,89 \pm 0,76$ мм/с для горизонтальної і вертикальної віброшвидкостей відповідно.

Результати проведених вібраційних обстежень НА № 5 ГНС наведено в табл.2.

Обстеження НА № 3 ГНС проводили з 23 год 04.09.2018 р. до 00 год 04.09.2018 р. Зовнішній вигляд НА № 3 наведено на рис. 8.

Результати проведених вібраційних обстежень НА № 3 ГНС наведено в табл. 3.

3. Результати вібраційних обстежень НА № 3 ГНС

| № НА | Точка заміру | Рівень вібрації, мм/с | | | | Рекомендації |
|------|--------------|-----------------------|--------------|-------------------|--------------|---|
| | | Стационарний режим | | Перехідні процеси | | |
| | | горизонтальна* | вертикальна* | горизонтальна* | вертикальна* | |
| 3 | 1 | 6,975 | 6,775 | >9,8 | >9,8 | Рівні вібрації основних вузлів НА перевищують допустимі межі. Подальша експлуатація такого НА не рекомендується. Потрібно провести капітальний ремонт насоса та електродвигуна |
| | 2 | 2,049 | 4,585 | | | |
| | 3 | 5,833 | 5,822 | | | |
| | 4 | 3,941 | 1,301 | | | |
| | 5 | 1,378 | 4,242 | | | |
| | 6 | 3,396 | 1,321 | | | |

Оцінка технічного стану та визначення енергетичних характеристик НА № 1 з вертикальним відцентровим насосом марки 1200В-6,3/100. Оцінюють технічний стан НА № 1 за рівнями вібрації. Обстежують НА після проведення капітального ремонту.

Схему розміщення місць вимірювання вібрації та датчиків віброшвидкості для НА 1200В-6,3/100 (52В–11) наведено на рис. 9. Датчики встановлюються на корпусі підшипника насоса і корпусі насоса в двох взаємно перпендикулярних напрямках (вертикальному і горизонтальному).

На рис. 10 наведено розміщення датчиків віброшвидкості, датчика обертів, датчика тиску до поворотного-дискового затвора насоса 1200В-6,3/100.

Обстеження насоса 1200В-6,3/100 НА № 1 проводили з 00 год 04.09.2018 р. до 2 год 30 хв 05.09.2018 р.

Графіки зміни рівнів вібрації, швидкості обертання вала насоса, тиску в напірному трубопроводі при пуску насоса 1200В-6,3/100 наведено на рис. 11.

Графіки зміни рівнів вібрації, швидкості обертання вала насоса, тиску в напірному трубопроводі під час зупинки НА № 1 і закривання поворотного-дискового затвора наведено на рис. 12.

Графіки зміни віброшвидкості на корпусі підшипника насоса НА № 1 в перехідному режимі роботи (0–30 с) після запуску наведено на рис. 13.

На рис. 14 наведено графік частотного розподілу горизонтальних (а) і вертикальних (б) віброшвидкостей НА № 1.

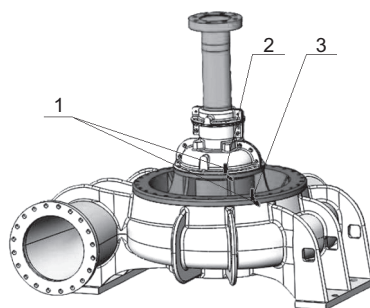


Рис. 9. Схема встановлення вібродатчиків на НА № 1 ГНС: 1 – вертикальний датчик вібрації на корпусі підшипника, горизонтальний датчик вібрації на корпусі насоса; 2 – корпус підшипника насоса; 3 – корпус насоса



Рис. 10. Установлення вібродатчиків, датчика обертів і датчика тиску на насосі 1200В-6,3/100 НА № 1

Після включення електродвигуна насос набирає підсинхронні оберти і на 13-й с відбувається синхронізація їх частоти.

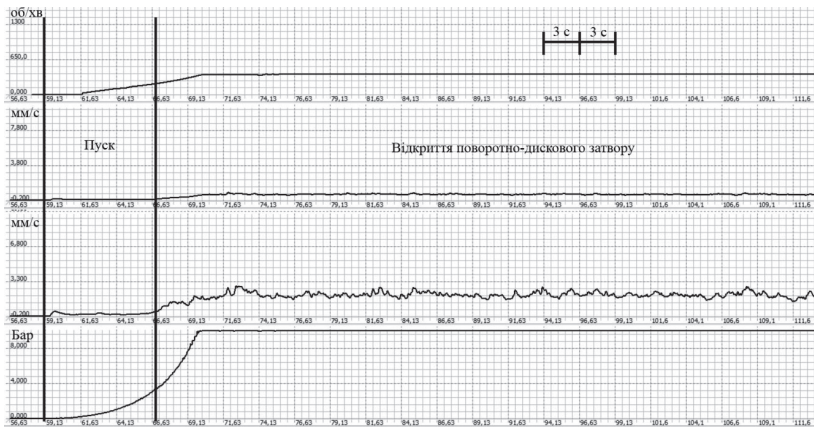


Рис. 11. Графіки зміни рівнів вібрації, швидкості обертання вала насоса, тиску в напірному трубопроводі під час пуску і відкриття поворотного-дискowego затвора

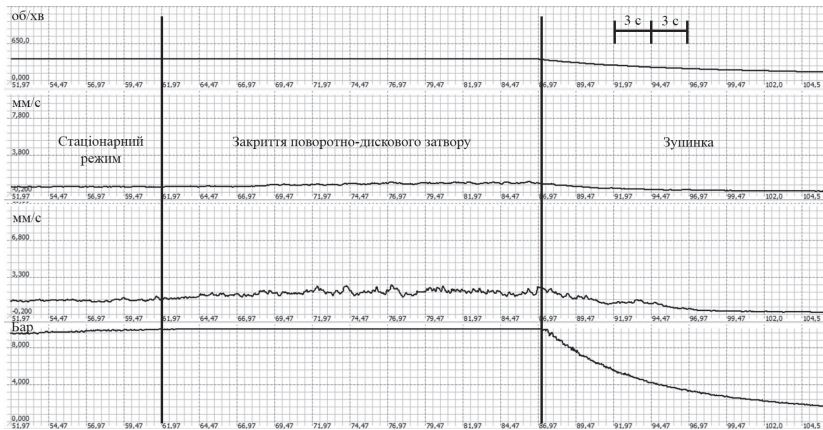


Рис. 12. Графіки зміни рівнів вібрації, швидкості обертання вала насоса, тиску в напірному трубопроводі під час зупинки і закриття поворотного-дискowego затвора

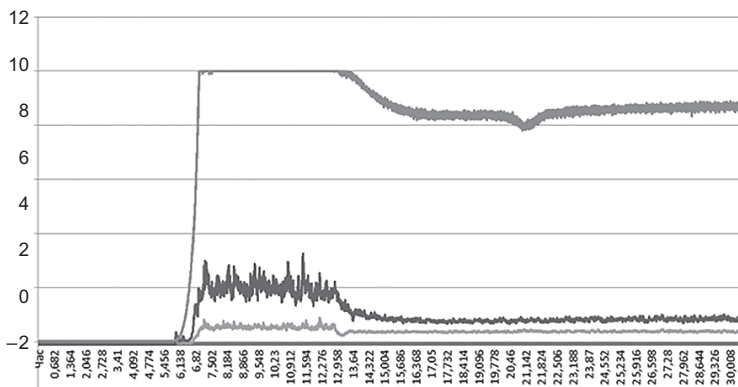
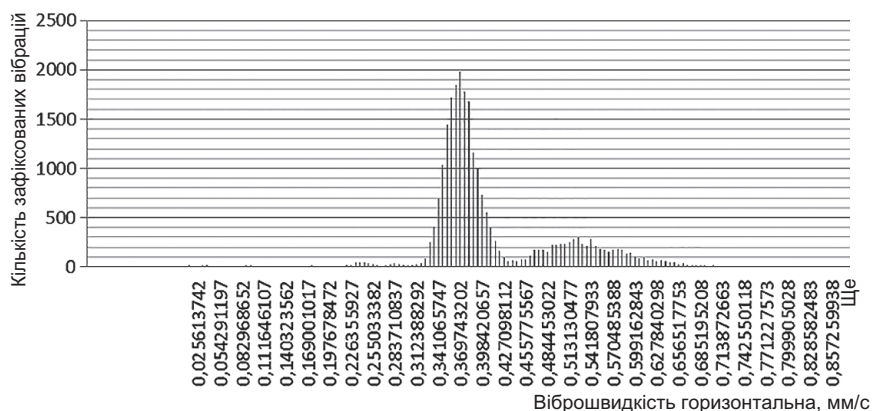
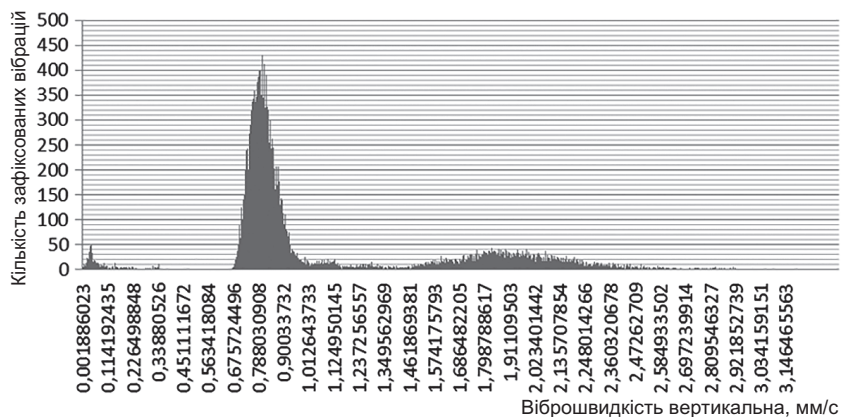


Рис. 13. Графіки зміни віброшвидкості на корпусі підшипника насоса НА № 1 у перехідному режимі роботи (0–30 с) після запуску: — — віброшвидкість горизонтальна, мм/с; — — віброшвидкість вертикальна, мм/с; — — тиск води, мПа



а



б

Рис. 14. Графік частотного розподілу віброшвидкостей НА № 1: а — горизонтальних; б — вертикальних

4. Результати вібраційних обстежень насоса 1200В-6,3/100 НА № 1 ГНС

| № НА | Точка заміру | Рівень вібрації, мм/с | | | | Рекомендації |
|------|--------------|-----------------------|--------------|-------------------|--------------|--|
| | | Стационарний режим | | Перехідні процеси | | |
| | | горизонтальна* | вертикальна* | горизонтальна* | вертикальна* | |
| 1 | 1 | 0,370 | 0,798 | 0,885 | 3,255 | НА в стаціонарному режимі роботи працює за мінімальних рівнів вібрації. Під час відкриття поворотно-дискового затвора після пуску НА № 1 і закриття його виникають підвищені рівні вібрації, які спричиняють скорочення терміну роботи НА. Потрібно скоротити час відкриття і закриття поворотно-дискового затвора |
| 2 | 0,409 | 0,889 | | | | |
| 3 | 0,353 | 0,253 | 1,006 | 2,677 | | |

У момент синхронізації тиск на виході із насоса досягає 100 м і поступово притискає дисковий затвор у бік його закриття.

Максимальна величина вібрацій і пульсацій тиску спостерігається під час роботи насоса із закритим затвором та в початковий період його відкриття з 6 до 13 с. За результатами статистичного аналізу цих спостережень (0–30 с), після запуску в діапазоні часу 6–13 с вертикальні віброшвидкості зростали до 3,25 мм/с, горизонтальні — до 0,89 мм/с. Середні значення рівнів вібрацій при цьому становлять 0,29 і 0,85 мм/с для горизонтальної і вертикальної віброшвидкостей відповідно.

Результати проведених вібраційних обстежень насоса 1200В-6,3/100 НА № 1 ГНС наведено в табл.4.

Визначення енергетичних характеристик НА № 1. Для визначення технічного стану та енергетичних характеристик НА проведено вимірювання напору, подачі насоса, а також потужності НА.

Напори насосів визначено із застосуванням повірених манометрів та датчика тиску, встановленого на виході із насоса. Вимірювали подачу насоса за показаннями ультразвукового витратоміра ІРКА, споживану потужність НА — за допомогою лічильника електроенергії.

Фактичний режим роботи НА № 1 у стаціонарному режимі роботи має такі параметри:

- напір насоса $H_1 = 95,9$ м;
- витрати води $Q_1 = 19080$ м³/год;
- споживана потужність НА $P_{\phi} = 16820$ кВт;
- ККД агрегата, що визначений за паспортною характеристикою насоса та робочою характеристикою електродвигуна за даного режиму роботи, становить: $\eta_1 = 0,79$;
- фактичний ККД агрегата $\eta_{\phi} = 0,73$.

Відхилення фактичного ККД агрегата від паспортного значення становить:

$$\delta_{\eta} = \frac{0,73 - 0,79}{0,79} \cdot 100\% = -7,59\%.$$

Коефіцієнт завантаження приводного електродвигуна становить:

$$K_{зе} = \frac{Q_{\phi} \cdot \eta_e}{P_H} = \frac{6820 \cdot 0,95}{7500} = 0,86.$$

Коефіцієнт завантаження насоса:

$$K_{зн} = \frac{Q_{\phi}}{Q_H} = \frac{19080}{21600} = 0,88.$$

Питомі витрати електроенергії на перекачування води НА № 1:

$$e = \frac{P_{\phi}}{Q_{\phi}} \cdot 1000 = \frac{6820}{19080} \cdot 1000 = 357,4 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{тис. м}^3}.$$

Висновки

Проведені обстеження НА № 1 ГНС свідчать, що за рівнями вібрації у стаціонарному режимі роботи насос 1200В-6,3/100 після проведення капітального ремонту має хороший технічний стан. У режимі пуску і впродовж перехідного режиму при заповненні напірного трубопроводу ГНС виникають підвищені рівні вібрації, зокрема вертикальної, які у 2–4 рази перевищують рівні вібрації в стаціонарному режимі його роботи. Такий режим роботи НА № 1 з часом може призвести до погіршення його технічного стану, зростання споживання електроенергії, до виходу з ладу підшипника насоса, а також — до виникнення відмов у роботі насосно-силового обладнання.

Підвищені рівні вібрації та пульсації тиску істотно впливають на надійність роботи НА за частих пусків у режимі, коли напірні трубопроводи ГНС не повністю заповнені водою. Після зупинки НА і до його наступного пуску, тобто впродовж 17 год, вода із заповнених напірних трубопроводів витікає до водорозподільної мережі НДЗС, а через запірно-регульовальну арматуру ГНС — до Дністра. Тобто наявний режим роботи НА призводить до істотного зменшення надійності насосно-силового обладнання та запірно-регульовальної арматури ГНС, а також до марнотратного споживання електроенергії на перекачування води і витрачання значних коштів на електроенергію.

Для забезпечення надійної роботи насосно-силового обладнання ГНС, зменшення експлуатаційних витрат на електроенергію, а також удосконалення

технологічної схеми міжгосподарського водорозподілу розроблено рекомендації з модернізації головного водозабірною вузла НДЗС.

Romashchenko M.¹, Popov V.², Targonii M.³, Shlikhta V.⁴, Strokon D.⁵, Hovhera V.⁶, Voitovych I.⁷, Matiash T.⁸, Yatsiuk M.⁹

Institute of Water Problems and Land Reclamation of NAAS, 37 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022; e-mail: ¹romashchenko@gmail.com, ²v_popov15@ukr.net, ³nick.tar991@ukr.net⁴, ⁴sh.vova@outlook.com, ⁵dmitry.strokon@gmail.com, ⁶HovheraV@ebrd.com, ⁷bondaro02@ukr.net, ⁸t.v.matiash@gmail.com, ⁹mv_yatsiuk@ukr.net; ORCID: ¹0000-0002-9997-1346, ²0000-0003-2024-0290, ³0000-0002-6200-7633, ⁴0000-0001-7447-1540, ⁷0000-0002-1543-3955, ⁸0000-0003-1225-086X, ⁹0000-0002-5535-715X

Assessment of technical condition and determination of energy characteristics of pumping units of the main pumping station of the Lower Dniester irrigation system

Goal. To substantiate the organizational and technical measures to ensure the reliable operation of the pumping power equipment of the main pumping station (MPS) of the Lower Dniester Irrigation System (LDIS), and to increase the energy efficiency of machine water supply by modernizing the LDIS. **Methods.** Information-analytical — for the analysis of scientific results highlighted in domestic and foreign literary sources on the issues of ensuring the reliable operation of pumping equipment of pumping stations (PS), and energy efficiency of machine water supply. Field research — to determine the energy characteristics and technical condition of

pumping units (PU) based on vibration levels using modern measuring equipment (ME), and vibration monitoring. Statistical — to analyze the gained experimental data. **Results.** The vibration levels are determined of PU with centrifugal horizontal pumps D4000-95 and drive asynchronous electric motors AN3-2-15-57-2 with a capacity of 1600 kW, 1000 rpm, as well as vibration levels of PU with centrifugal vertical pumps 1200V-6.3/100 and drive synchronous electric motors VDS-2-325/69-2 with a capacity of 8000 kW in stationary and transitional processes. Recommendations are provided for increasing the reliability of the pumping power equipment of the MPS and reducing operating costs for electricity. **Conclusions.** According to the vibration levels in the stationary mode of operation, the 1200V-6.3/100 pump is in good technical condition after major repairs. In the start-up mode and during the transient mode during the filling of the pressure pipeline of the MPS, increased vibration levels occur, which are 2–4 times higher than the vibration levels in the stationary mode of its operation. Over time, this mode of operation of the PU can lead to a deterioration in its technical condition, an increase in electricity consumption, a failure of the pump bearing, as well as failures in the operation of the pump power equipment.

Key words: vibration, energy efficiency, centrifugal pumps, technique, efficiency factor.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovinsnyk202210-05>

Бібліографія

1. Програма підвищення енергоефективності водогосподарських систем України на 2010–2014 роки. Київ: Держводгосп України, 2010. 71 с.
2. Christopher E. Brennen Hydrodynamics of Pumps. Oxford is a trademark of Oxford University Press Copyright 1994 Concepts ETI, Inc.
3. Елин А.В., Цема А.Д., Павловская В.В. О необходимости разработки стандарта по нормированию вибрации центробежных насосов. Вибродиагностика для начинающих и специалистов. <http://www.vibration.ru/about-stds/about-stds.shtml>.
4. Сундуков Е.В. Проблемы измерения и нормирования общей вибрации энергетических установок на базе авиационных ГТД. *Проблемы и перспективы развития двигателестроения*. 2003. С. 202–205.

5. Заміховський Л.М., Паньків Ю.В. Вибір раціональної діагностичної ознаки для контролю технічного стану відцентрових насосних агрегатів системи підтримання пластового тиску. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2008. № 32. С. 58–61.
6. Gene Vogel, Major Pump. Vibration Standards. <http://www.pumpsandsystems.com/topics/pumps/pumps/major-pump-vibration-standards>.
7. Pumps vibrations limits as per international standards. <http://www.enggcyclopedia.com/2012/03/pumps-vibrations/>
8. Robichaud J.M., Eng P. Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis. *Bretech Engineering Ltd*. 2011.
9. Попов В.М., Внукова К.В., Таргоній М.М. та ін. Методологія експериментальних досліджень на закритих зрошувальних системах. *Вісник*

Національного університету водного господарства та природокористування. Рівне: НУВГП, 2016. Вип. 4(76). С. 10–30.

10. Попов В.М., Шліхта В.В. Методика оцінки технічного стану насосних агрегатів за рівнями вібрації та показниками енергоефективності. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 7. С. 52–58.

11. Шліхта В.В., Попов В.М. Нормування вібрації насосних агрегатів зрошувальних систем з метою підвищення енергоефективності та експлуатаційної надійності: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. «Управління водними ресурсами в умовах змін клімату», присвяченої Всесвітньому дню води. Київ: ІВПІМ, 2017. С. 90–91.

12. Попов В.М., Коцюренко С.В., Розуменко В.Л. Правила експлуатації автоматизованої системи контролю гідродинамічних навантажень насосних агрегатів. Київ: ІВПІМ, 2013. 30 с.

13. *Методика проведення енергоаудиту на об'єктах водогосподарських систем*. НД 33-6.2-01-2006. Київ: Держводгосп України, 2006. 48 с.

14. ISO 10816-1:1995 «Вибрация механическая. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях».

15. ДСТУ ГОСТ ISO 10816-1:2007. Вібрація. Контролювання стану машин за результатами вимірювання вібрації на необертюваних частинах. Київ: УкрНДНЦ (Національний стандарт України). 2016.