

УДК 631.67

© 2018

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ ЗА РІВНЯМИ ВІБРАЦІЇ ТА ПОКАЗНИКАМИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

В.М. Попов¹, В.В. Шліхта²

¹ доктор технічних наук

*Інститут водних проблем і меліорації НААН
вул. Васильківська, 37, Київ, 03022, Україна
e-mail: ¹v_popov15@ukr.net, ²sh.vova@outlook.com*

Надійшла 04.05.2018

Мета. Розробити методику оцінювання технічного стану насосних агрегатів (НА) за рівнями вібрації та показниками енергоефективності, яка дасть можливість своєчасно визначити терміни проведення технічного обслуговування та капітального ремонту насосно-силового обладнання насосних станцій (НС) зрошувальних систем в умовах експлуатації. Проаналізувати результати натурних обстежень НС, отриманих при енергетичних обстеженнях (енергоаудиті) і вібромоніторингу. Встановити кореляційний зв'язок між вібрацією та її впливом на експлуатаційну надійність і енергоефективність роботи НА. **Методи.** Інформаційно-аналітичний — для аналізу та оцінки вітчизняних і зарубіжних наукових праць за даною темою; експериментальний — для визначення енергетичних характеристик та рівнів вібрації НА із застосуванням сучасних засобів вимірювальної техніки та вібромоніторингу; статистичний і системний підходи — для аналізу та обробки експериментальних даних. **Результати.** Проаналізовано дані, одержані за натурних обстежень НС зрошувальних систем. Запропоновано науково-методологічний метод оцінювання технічного стану НА за рівнями вібрації та показниками енергоефективності, що ґрунтується на гіпотезі про кореляцію між показниками вібрації (віброшвидкості і віброприскорення) та відхиленням коефіцієнта корисної дії (ККД) НА. **Висновки.** Доведено необхідність удосконалення методики проведення енергетичних обстежень НС з оцінювання технічного стану НА за рівнями вібрації, що дасть змогу об'єктивно визначити технічний стан насосно-силового обладнання НС зрошувальних систем.

Ключові слова: вібрація, енергоефективність, насосні агрегати, відцентрові насоси, технічний стан, методика, коефіцієнт корисної дії насосних агрегатів.

<https://doi.org/10.31073/agroviznyk201807-08>

На зрошувальних системах (ЗС) України насосні станції (НС) експлуатуються від 25-до 50-ти років. На багатьох НС насосно-силове обладнання потребує оновлення та ремонту. За даними енергетичних обстежень, проведених на багатьох об'єктах

водорозподільних систем України, близько 50% насосних агрегатів (НА), що перебувають нині в експлуатації, мають знижені на 10–20% ККД у порівнянні з їхніми паспортними значеннями [1]. За енергетичних обстежень однотипових НА з відцентровими

насосами найбільш поширених марок, з однаковими режимами роботи встановлено, що значні відхилення ККД мають агрегати з підвищеними рівнями вібрації.

Підвищені рівні вібрації НА призводять до скорочення їх строку служби, руйнування бетонних плит, на яких закріплені НА, а також відмови окремих вузлів НА. В процесі експлуатації, внаслідок природного зносу та старіння насосно-силового обладнання, а також під впливом вібрацій відбувається збільшення питомих норм витрати електроенергії.

Причини виникнення вібрації НА можна розділити на три групи: електромагнітного, механічного та гідравлічного походження. Вібрація електромагнітного походження характерна для всіх типів НА з приводними асинхронними електродвигунами, які мають складний характер електромагнітного поля. Ймовірними джерелами вібрації НА механічного походження є дисбаланс ротора приводного електродвигуна та (або) робочого колеса насоса, неспіввісність їх з'єднань та пошкодження підшипників.

Вібрації гідравлічного походження виникають в результаті динамічних взаємодій потоку води з обтічними частинами відцентрових насосів та напірних трубопроводів із запірно-регулювальною арматурою.

Вимірювання технологічних параметрів та показників рівня вібрації НА, а також удосконалення існуючої методики проведення енергетичних обстежень НС водогосподарських систем [2] з оцінюванням технічного стану НА за рівнями вібрації є важливим і актуальним завданням, спрямованим на підвищення енергоефективності та експлуатаційної надійності НС водогосподарських систем і, відповідно, на зниження собівартості водоподачі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Коливання (вібрації) в НА розглядаються, перш за все, з позиції їх впливу на довговічність роботи елементів конструкції агрегату, впливу на фундаменти НА або бетонні перекриття НС, а також впливу на людину. Даними питаннями займалися вітчизняні та зарубіжні вчені [3–9].

За результатами інвентаризації меліоративних фондів, основними чинниками зниження затребуваності існуючих зрошувальних систем з тривалим терміном експлуатації

є низька експлуатаційна надійність та висока собівартість водоподачі внаслідок значних експлуатаційних витрат і зайвого енергоспоживання насосним устаткуванням.

Мета та методи досліджень. Технічний стан та енергоефективність експлуатації НА, з метою їх подальшого відновлення та вдосконалення, можна оцінювати за рівнями вібрації. Для комплексної оцінки технічного стану НА на НС та контролю питомих витрат електроенергії на водоподачу використовують методику проведення натурних обстежень агрегатів із застосуванням сучасних засобів вимірювальної техніки та вібромоніторингу. В основу покладено існуючу методику енергоаудиту на об'єктах водогосподарських систем. Також, під час проведення натурних обстежень НС ЗС перевірено методику вібромоніторингу НА [10, 11].

За здійснення вібромоніторингу НА застосовують розроблену в Інституті водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук (ІВПіМ НААН) автоматизовану систему контролю гідродинамічних навантажень НА в перехідних та в стаціонарному режимі їхньої роботи (АСК–ГДН) [10].

Комплексна методика дає можливість виконувати енергетичні обстеження і вібромоніторинг НА. Технічний стан НА оцінюється за відхиленням фактичного ККД агрегату від його паспортного значення та за рівнями вібрації, виміряної в стаціонарному режимі роботи НА у визначених інформативних точках. Водночас з отриманням експлуатаційних показників роботи НА, необхідних для визначення фактичного ККД, проводиться вібромоніторинг НА з фіксуванням вібраційних показників — середньо-квадратичних значень віброшвидкості (СКЗ) в інформативних точках у двох взаємно перпендикулярних площинах (горизонтальній та вертикальній) [11].

За міжнародним стандартом ISO 10816-1:1995 [12] інформативними точками є такі, що мають найбільший вплив на загальний рівень вібрації НА, а саме: підшипники електродвигуна та насоса, корпус двигуна та корпус насоса. Схему розташування вібродатчиків в інформативних точках наведено на рис. 1.

Експлуатаційні характеристики різних НА, одержані за проведення енергетичних

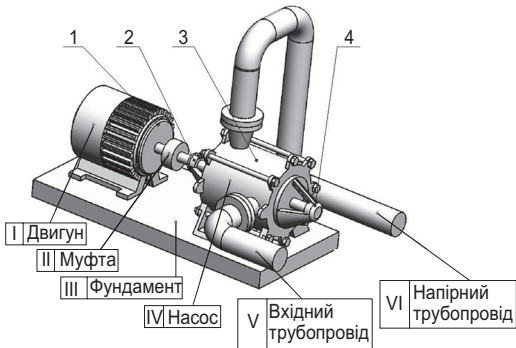


Рис. 1. Схема розташування вібродатчиків в інформативних точках на прикладі НА з відцентровим насосом типу 150CVE 350-23/2: 1 – підшипники двигуна; 2, 4 – підшипники насоса; 3 – корпус насоса

обстежень та вібромоніторингу на НС ЗС, наведено в таблиці.

За результатами енергетичних обстежень НС (таблиця) установлено, що більшість НА

працюють зі значними відхиленнями ККД від їх паспортних значень. Застосовують електродвигуни з потужністю, більшою за розрахункову з метою одержання необхідної продуктивності НА, як наслідок коефіцієнти завантаження двигунів становлять 0,5–1,2. Це, в свою чергу, спричинює перевитрати електроенергії на водоподачу.

Аналіз тарифів на послуги з подачі води на закритих зрошувальних системах показав, що складова собівартості подачі води за фактичними витратами електроенергії становить 65–85% повної собівартості водоподачі. Таким чином собівартість подачі води за фактичними витратами електроенергії становить до 37% повної собівартості продукції рослинництва [13, 14].

За результатами натурних обстежень визначили рівні горизонтальної і вертикальної віброшвидкостей на корпусах горизонтальних відцентрових насосів марок 250QVD 500-54, Д2500-62-2, 300Д-70 та 150CVE

Експлуатаційні характеристики НА, одержані за енергетичних та вібраційних обстежень на НС зрошувальних систем

№ НА	Марка насоса	Потужність НА, кВт	Відхилення ККД НА δ_{η} , %	Коефіцієнт завантаження		Віброшвидкість на корпусі насоса, мм/с		Віброшвидкість на підшипниках насоса, мм/с		Віброшвидкість на підшипниках двигуна, мм/с	
				насоса	електродвигуна	вертикальна	горизонтальна	вертикальна	горизонтальна	вертикальна	горизонтальна
1	250QVD 500-54	158,4	-3,2	0,58	0,59	3,159	4,325	8,955	10	10	9,433
2	250QVD 500-54	210	0	1,1	0,78	1,508	2,471	6,8	6,243	6,218	10
3	Д2500-62-2	637	-16,2	1,29	1,2	1,194	1,166	1,837	1,729	0,462	0,298
4	Д2500-62-2	617	-14,4	1,22	1,16	0,441	0,506	1,166	1,261	2,462	1,351
5	Д2500-62-2	516	-1,2	1,23	0,97	0,287	0,393	1,418	1,399	1,556	0,598
6	300Д-70	212,5	0	0,58	0,49	0,628	1,163	6,625	2,228	3,429	4,107
7	300Д-70	202,7	13,6	0,46	0,75	1,149	1,312	7,675	9,25	5,088	4,728
8	300Д-70	189,3	24	0,4	0,7	0,817	1,327	5,91	9,25	6,036	6,115
9	150CVE 350-23/2	107,6	-15,6	1,05	0,75	0,791	0,659	8,169	3,625	0,695	0,956
10	150CVE 350-23/2	117,6	-10,0	1,26	0,83	0,403	0,376	1,461	0,951	1,390	1,834
11	150CVE 350-23/2	103,3	-12,3	1,14	0,64	0,857	0,562	1,015	0,998	0,435	0,538

350-23/2, на підшипниках асинхронних електродвигунів і підшипниках насосів однотипових НА, а також відхилення фактичних ККД НА від їх паспортних значень (рис. 2).

На одержаних графіках (рис. 2), спостерігається кореляційна залежність відхилення ККД НА від СКЗ віброшвидкості, що підтверджує висунуту гіпотезу. Більшому рівню вібрації в окремих інформативних точках НА, а також більшому узагальненому рівню вібрації НА відповідає більше абсолютне відхилення фактичного ККД НА від його паспортного значення.

На основі результатів натурних обстежень НА побудовано функціональні залежності

абсолютного відхилення ККД НА від СКЗ віброшвидкості для НА з відцентровими насосами марок 250QVD 500-54, Д2500-62-2, 300Д-70 та 150СВЕ 350-23/2 (рис. 3).

Наведені на рис. 3 залежності справедливі для усіх інформативних точок реєстрації віброшвидкості НА з відцентровими насосами марок 250QVD 500-54, Д2500-62-2, 300Д-70 та 150СВЕ 350-23/2, як у горизонтальній, так і вертикальній площинах.

Методика оцінювання технічного стану НА в умовах експлуатації НС полягає у побудові функціональної залежності ККД від рівнів вібрації, а також визначенні рівня вібрації,

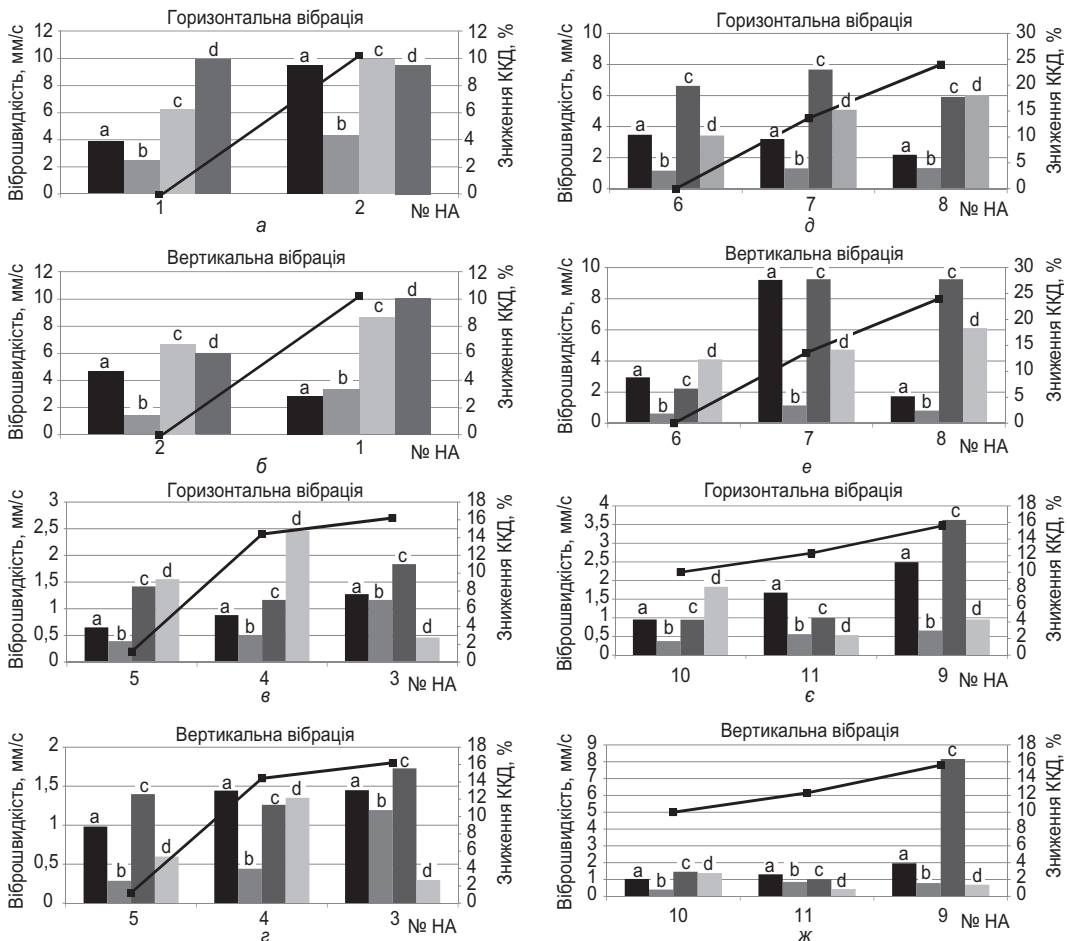


Рис. 2. Абсолютне відхилення ККД НА з відцентровими насосами марок 250QVD 500-54, Д2500-62-2, 300Д-70 та 150СВЕ 350-23/2 за різних рівнів горизонтальної і вертикальної вібрації: а, с – підшипники насоса; б – корпус насоса; д – підшипник електродвигуна; а, б – марка 250QVD 500-54; в, г – марка Д2500-62-2; д, е – марка 300Д-70; ж – марка 150СВЕ 350-23/2

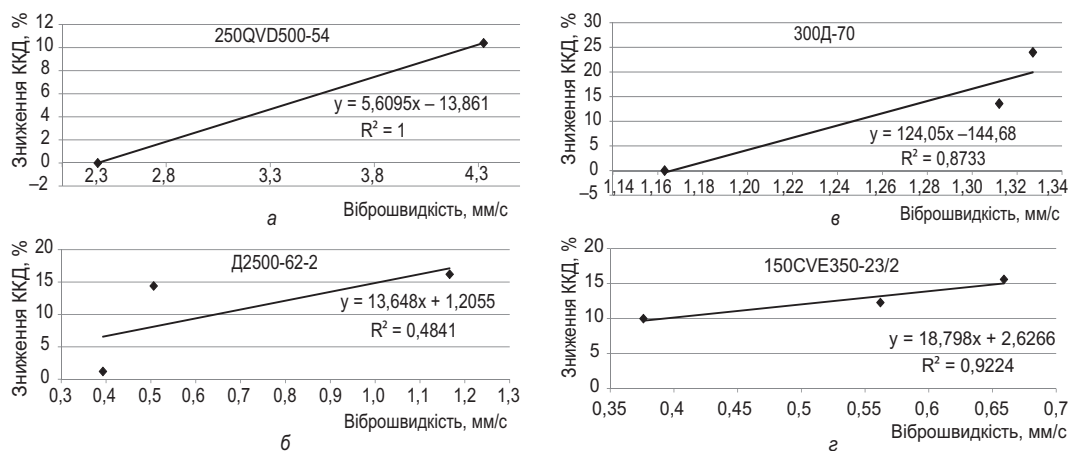


Рис. 3. Залежності абсолютного відхилення ККД різних марок НА від рівнів віброшвидкості: а – марка 250QVD 500-54; б – марка Д2500-62-2; в – марка 300Д-70; г – марка 150СVE 350-23/2

за якого ККД НА знижується до гранично допустимої межі і за якого слід припинити експлуатацію агрегату та вчасно провести ремонтно-відновлювальні роботи. Гранично допустимі межі рівнів вібрації визначають за Міжнародним стандартом [12].

При оцінюванні технічного стану НА визначають допустимі рівні вібрації, за яких його ККД буде задовольняти вимогам енергоефективної водоподачі, що установлені відомчим нормативним документом для різних типів насосів [15].

Висновки

Запропонована методика оцінювання технічного стану НА за рівнями вібрації та показниками енергоефективності дасть можливість об'єктивно оцінити технічний стан насосно-силового обладнання

НС зрошувальних систем, своєчасно визначити терміни проведення технічного обслуговування та капітального ремонту, а також контролювати енергоспоживання НА при водоподачі.

Попов В.Н.¹, Шлихта В.В.²

Институт водных проблем и мелиорации НААН, ул. Васильковская, 37, Киев, 03022, Украина; e-mail: ¹v_popov15@ukr.net, ²sh.vova@outlook.com

Методика оцeнивания технического состояния насосных агрегатов по уровням вибрации и показателям энергоэффективности

Цель. Разработать методику оценивания технического состояния насосных агрегатов (НА) по уровням вибрации и показателям энергоэффективности, которая даст возможность своевременно определить сроки проведения технического обслуживания и капитального ремонта насосно-силового оборудования насосных станций (НС) оросительных систем в условиях их эксплуатации. Провести анализ результатов натурных обследований НС, полученных при проведении энергетических обследований

(энергоаудита) и вибромониторинга. Установить корреляционную связь между вибрацией и ее влиянием на эксплуатационную надежность и энергоэффективность работы НА. **Методы.** Информационно-аналитический — для анализа и оценки отечественных и зарубежных научных трудов по данной теме; экспериментальный — для определения энергетических характеристик и уровней вибрации НА с применением современных средств измерительной техники и вибромониторинга; статистический и системный подходы — для анализа и обработки экспериментальных данных. **Результаты.** Проанализированы данные, полученные при натурных обследованиях НС оросительных систем. Предложено научно-методологический подход оценивания технического состояния НА по уровням вибрации и показателям энергоэффективности, основанный на гипотезе о корреляции между показателями

вібрації (віброскорості і віброускорення) і отклонением коэффициента полезного действия (КПД) НА. **Выводы.** Доказана необхідність совершенствования методики проведения энергетических обследований НС с оценением технического состояния НА по уровням вибрации, которая даст возможность объективно оценить техническое состояние насосно-силового оборудования НС оросительных систем.

Ключевые слова: вібрація, енергоефективність, насосні агрегати, центробежні насоси, технічне стан, методика, коефіцієнт корисної дії.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201807-08>

Popov V.¹, Shlikhta V.²

Institute of water problems and melioration of NAAS, Vasyukivska Str., 37, Kyiv, 03022, Ukraine; e-mail: ¹v_popov15@ukr.net, ²sh.vova@outlook.com

Technique of assessment of technical condition of pump units according to the levels of vibration and energy efficiency indicators

The purpose. To develop a technique of assessment of technical condition of pump units (PU) according to the levels of vibration and indexes of power efficiency which will enable in due time to determine time of holding engineering service and major overhaul of pump-power facilities of pumping stations (PS) of irrigation systems in conditions of their

exploitation. To carry out analysis of results of on-site investigations of PS gained at power diagnostic studies and vibration monitoring. To determine correlation between vibration and its influence on use reliability and power efficiency of PU. **Methods.** Information-analytical — for the analysis and assessment of domestic and foreign proceedings on the yielded theme; experimental — for determination of power characteristics and levels of vibration of PU with application of modern means of measurement technology and vibration monitoring; statistical and system approaches — for the analysis and processing experimental data. **Results.** Data gained at on-site investigations of PS of irrigation systems are analyzed. Scientific-methodological approach is offered to assessment of technical condition of PS according to the levels of vibration and indexes of power efficiency, based on a hypothesis about correlation between indexes of vibration (vibration speed and vibration acceleration) and aberration of coefficient of performance (CP) of PU. **Conclusions.** Necessity is proved of perfecting technique of holding power diagnostic studies of PU with assessment of technical condition of PS according to the levels of vibration which will enable objectively assess technical condition of pump-power facilities of PS of irrigation systems.

Key words: vibration, power efficiency, pump units, centrifugal pumps, technical condition, technique, efficiency.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201807-08>

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. (Нормативний документ).
3. Christopher E. Brennen. Hydrodynamics of Pumps. Cambridge University Press, 2011. 300 p.
4. Елин А.В., Цема А.Д., Павловская В.В. О необходимости разработки стандарта по нормированию вибрации центробежных насосов. Вибродиагностика для начинающих и специалистов. *Вибродиагностика для начинающих и специалистов*. URL <http://www.vibration.ru/about-stds/about-stds.shtml>.
5. Сундуков Е.В. Проблемы измерения и нормирования общей вибрации энергетических установок на базе авиационных ГТД. Труды международной научно-технической конференции. Сер. Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королёва. Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва. 2003. С. 202–205.
6. Заміховський Л.М., Паньків Ю.В. Вибір раціо-

нальної діагностичної ознаки для контролю технічного стану відцентрових насосних агрегатів системи підтримання пластового тиску. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2008. № 32. С. 58–61.

7. Cernetic J. The use of noise and vibration signals for detecting cavitation in kinetic pumps. *Mechanical Engineering Science*. 2009. № 223. 1645–1655 p. doi: 10.1243/09544062JMES1404

8. Sebastian Costel Mustata, Dragos Dracea, Augustina Sandina Tronac, Nicoleta Sarbu, Elena Constantin. Diagnosis and vibration diminishing in pump operation. *International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automatio*. 2014. № 25. 970–976 p. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.456

9. Michael Robichaud J., Eng P. Reference Standards for Vibration Monitoring and Analysis. *Bretech Engineering Ltd*, 2011. 90 p.

10. Правила експлуатації автоматизованої системи контролю режимів роботи агрегатів крупних насосних станцій. Київ: ІВПіМ, 2013. 20 с.

11. Шліхта В.В., Попов В.М. Нормування вібрації насосних агрегатів зрешувальних систем з метою підвищення енергоефективності та експлуатаційної надійності. *Матеріали Міжнародної*

науково-практичної конференції «Управління водними ресурсами в умовах змін клімату», присвяченої Всесвітньому дню води. Київ: ІВГПМ, 2017. С. 90–91.

12. ISO 10816–1:1995 Mechanical vibration — evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 1: General guidelines]. ISO, Geneva, 2012. 19 p.

13. *Справочник* економіста сільського господарства; под ред. Н.П. Кононенко, Н.Я. Кушвида. Київ: Урожай, 1985. 528 с.

14. Жминько В.И., Мацкевич В.П., Куринная Л.Н. Себестоимость продукции растениеводства на орошаемых землях. Днепропетровск: Проминь, 1980. 61 с.

15. *Нормування* питомих витрат електроенергії на перекачування води насосними станціями. Методичні вказівки: ВНД 33-3.1-08-2004. Офіц. вид. Київ: Державний комітет України по водному господарству, 2004. 33 с. (Відомчий нормативний документ).

ОГОЛОШЕННЯ

**НАЦІОНАЛЬНА НАУКОВА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА БІБЛІОТЕКА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ**

**Оголошує конкурсний прийом у 2018 році до аспірантури та докторантури
за спеціальністю 032 — Історія та археологія**

Вступники до аспірантури подають такі документи:

- заяву на ім'я директора бібліотеки;
- особовий листок з обліку кадрів, засвідчений печаткою тієї установи, в якій вступник до аспірантури навчається або працює;
- 2 фотокартки 3×4;
- автобіографію;
- список опублікованих наукових праць і винаходів; ксерокопії опублікованих статей/тез (за наявності) або дослідницьку пропозицію з обраної спеціальності;
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 086/о;
- засвідчену копію диплома про закінчення вищого навчального закладу;
- рекомендацію вченої ради вищого навчального закладу або наукової установи (за наявності);
- копію довідки про присвоєння ідентифікаційного коду;
- копію паспорта;
- міжнародний сертифікат з іноземної мови, який засвідчує рівні С1–С2 (за наявності);
- папку-швидкозшивач.

Особи, які вступають до докторантури, подають такі документи:

- заяву на ім'я директора бібліотеки;
- особовий листок з обліку кадрів з фотокарткою, завірений за місцем роботи;
- 2 фотокартки 3×4;
- автобіографію;
- список опублікованих наукових праць і винаходів, завірений за місцем роботи;
- медичну довідку про стан здоров'я за формою № 086/о;
- план-проспект докторської дисертації;
- письмову характеристику наукової діяльності вступника, написану передбачуваним науковим консультантом;
- лист-направлення від організації (або витяг із засідання вченої ради; кафедри) з рекомендацією до вступу в докторантуру з характеристикою наукової діяльності, підписаний керівником установи, яка направляє на навчання;
- копію диплома про вищу освіту;
- копії документів про науковий ступінь, вчене звання, завірених за місцем роботи;
- копії паспорта та ідентифікаційного коду;
- папку-швидкозшивач.

Документи приймаються з 23 липня до 23 серпня поточного року.

Паспорт і диплом про вищу освіту подаються особисто.

Документи подавати або надсилати за такою адресою:

03127, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 10.

Довідки за телефоном: **(044) 258-21-42.**