

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2026-1\(97\)-365-371](https://doi.org/10.26642/ten-2026-1(97)-365-371)  
УДК 621.317

**Ю.О. Подчашинський, д.т.н., проф.  
Я.В. Магалецький, аспірант**  
*Державний університет «Житомирська політехніка»*

## **Аналіз впливу зміни гідравлічного навантаження на механічні характеристики відцентрового насосу з асинхронним електроприводом**

*У статті проведено аналіз впливу зміни гідравлічного навантаження на механічні характеристики відцентрового насосу з асинхронним електроприводом. Вимірювання таких механічних характеристик здійснюється в робочих умовах експлуатації відцентрових насосів.*

*Асинхронні електроприводи широко використовуються в насосних установках у системі водопостачання. Для оцінки параметрів асинхронного електроприводу насосних установок для перекачування води, необхідно перш за все розуміти поведінку гідравлічної частини в умовах змінного навантаження. Оскільки її вплив на електричний двигун насоса є визначальним, то врахування параметрів гідравлічної частини насоса при оцінці механічних характеристик приводу насоса дозволить значно розширити функціонал та підвищити точність вимірювань. Дослідження проводилось на основі одноступінчатого відцентрового насосу TP 200-200/4 A-F-A-DAQF-QW3. Виконано підбір оптимальної робочої точки для насосу та досліджено зміщення робочої точки насосу TP 200-200/4 в режимах високої та низької витрати. В реальних умовах процес зміщення робочої точки часто відбувається непомітно, задається зовнішніми факторами і не залежить від насосу. Це може призводити до швидкого зносу вузлів агрегату. Такі насоси не відпрацьовують навіть свій сервісний інтервал. Моніторинг та вимірювання параметрів електроприводу та насосів водопостачання дозволить будувати системи прогнозування та оцінювати знос установки або її елементів і вчасно здійснювати її обслуговування.*

*Моніторинг та вимірювання параметрів електроприводу та насосів водопостачання в промисловості та цивільному водопостачанні дозволить будувати системи прогнозування та оцінювати знос установки або її елементів і вчасно здійснювати її обслуговування, запобігаючи повній зупинці виробництва або водопостачання критичної інфраструктури, враховуючи великі потужності та продуктивності таких установок.*

**Ключові слова:** асинхронний двигун; насосний агрегат; вимірювання механічних величин; механічні характеристики; робоча точка насосу; коефіцієнт корисної дії; об'ємна витрата рідини.

**Актуальність теми.** Для більш раціонального використання обладнання систем водопостачання необхідно вчасно виконувати сервісне обслуговування та ремонт. Складність сучасних двигунів і недосконалість обладнання сервісних центрів обслуговування. Аналіз впливу зміни гідравлічного навантаження на механічні характеристики відцентрового насосу з асинхронним електроприводом систем водопостачання дозволить прогнозувати та оцінювати знос обладнання і вчасно здійснювати його технічне обслуговування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Теорія електроприводу розглянута авторами К.В. Vimal [1], V.Kumar, R.K. Behera [2], В.М. Wilamowski, J.D. Irwin [3], О.М. Закладний, В.В. Прокопенко [4], Б.О. Баховець [5], О.М. Безвесільна, І.В. Коробійчук, Г.С. Тимчик [6]. Питання діагностування стану електричних двигунів насосних установок розглянуто у працях [8–11]. Але для прогнозування та оцінювати зносу асинхронного електроприводу, відцентрового насосу та їх елементів, вчасного здійснення технічного обслуговування, запобігання повній зупинці виробництва та/або водопостачання критичної інфраструктури потрібно враховувати великі потужності та продуктивність таких установок, що працюють в несприятливих робочих умовах. Тому аналіз впливу зміни гідравлічного навантаження на механічні характеристики відцентрового насосу з асинхронним електроприводом потребує подальших досліджень.

**Метою статті** є аналіз впливу зміни гідравлічного навантаження на механічні характеристики відцентрового насосу з асинхронним електроприводом, що вимірюються здійснюється в робочих умовах експлуатації асинхронного приводу відцентрових насосів.

**Викладення основного матеріалу.** Конструкція відцентрового насоса передбачає гідравлічну та механічну привідну частини. Гідравлічна частина отримує механічну енергію обертання від, як правило, електроприводу. Відповідно в даній системі виникають зворотні зв'язки, які впливають на привід насосної установки.

Асинхронні електроприводи широко використовуються в насосних установках у системі водопостачання. Для оцінки параметрів асинхронного електроприводу насосних установок для перекачування води, необхідно перш за все розуміти поведінку гідравлічної частини в умовах змінного

навантаження. Оскільки її вплив на електричний двигун насоса є визначальним, то врахування параметрів гідравлічної частини насоса при оцінці механічних характеристик приводу насоса дозволить значно розширити функціонал та підвищити точність вимірювань.

Дослідження проводилось на основі одноступінчатого, відцентрового насосу TP 200-200/4 A-F-A-DAQF-QW3 зі всмоктуючим та напірним патрубками однакового діаметру, розташованими на одній лінії [12]. Конструкція насоса дозволяє розбирання зверху, тобто головну частину (двигун, голову насоса та робоче колесо) можливо зняти для ремонту або обслуговування, доки корпус насоса залишається на трубопроводі. Насос обладнаний збалансованим кільцевим ущільненням. Ущільнення вала відповідає стандарту EN 12756. Трубне з'єднання здійснюється за допомогою фланців PN 16 DIN (стандарти EN 1092-2 та ISO 7005-2). Насос оснащений асинхронним короткозамкненим двигуном з вентиляційним охолодженням (рис. 1). Технічні характеристики насоса і асинхронного двигуна наведено в таблицях 1 і 2 відповідно.



Рис. 1. Зовнішній вигляд насосного агрегата TP 200-200/4 A-F-A-DAQF-QW3

Таблиця 1

Технічні характеристики насоса

Швидкість насоса, за якої розраховані його характеристики	1470 об/хв
Номінальна витрата	439,9 м <sup>3</sup> /год
Номінальний напір	14,36 м
Максимальний напір	200 дм
Поточний діаметр робочого колеса	247 мм
Робоча рідина	Вода
Діапазон температур рідини	0 .. 120 °С
Температура рідини, що перекачується	20 °С
Щільність	998,2 кг/м <sup>3</sup>

Таблиця 2

Технічні характеристики асинхронного двигуна

Тип електродвигуна	INNOMOTICS
Номінальна потужність – P2	22 кВт
Частота мережі живлення	50 Гц
Номінальна напруга	3 x 380-420D/660-725Y В
Номінальний струм	41/24 А
Пусковий струм	680 %
cos φ – характеристика потужності	0,83
Номінальна швидкість	1470 об/хв
Ефективність електродвигуна за повного навантаження	93 %
Ефективність двигуна за 3/4 навантаження	93,6 %
Ефективність електродвигуна за 1/2 навантаження	93,6 %
Кількість полюсів	4
Клас захисту (IEC 34-5)	IP55
Клас ізоляції (IEC 85)	F
Вбудований захист електродвигуна	PTC

При моделюванні відцентрового насоса задамо залежності напору  $H$ , споживаної потужності  $P$  та коефіцієнту корисної дії (ККД)  $\eta$  від витрати  $Q$ . Типова характеристика насосу – спадаюча крива  $H(Q)$ , при якій максимальний напор досягається при нульовій витраті і поступово зменшується до нуля при максимальній витраті. На реальних графіках залежностей зазвичай вказуються ділянки, на яких можлива робота відповідного насосу.

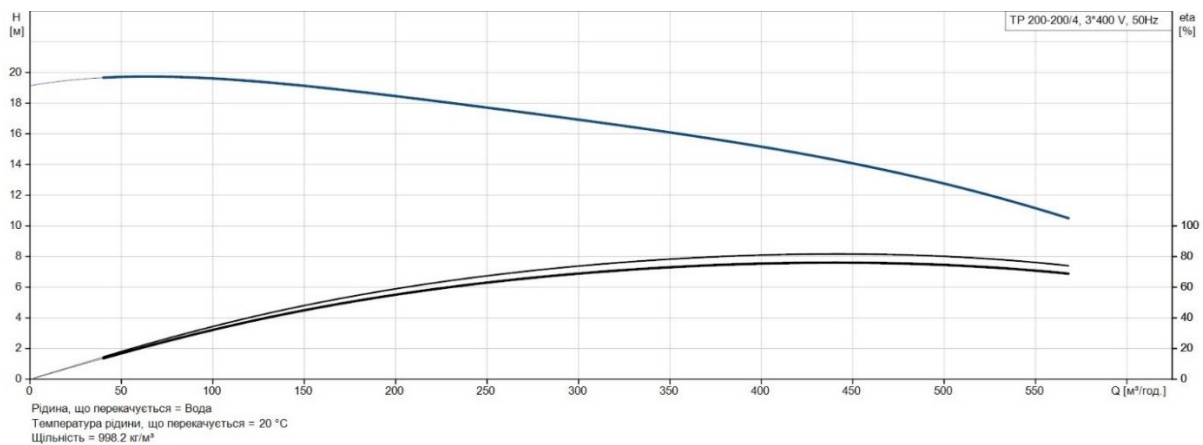


Рис. 2. Графік залежності  $H(Q)$  та  $\eta$  для насоса TP 200-200/4

З графіку на рисунку 2 видно, що ККД насосів  $\eta$  зростає від нуля при  $Q = 0$  до максимуму на деякому оптимальному  $Q$  і знову спадає при перевищенні витрати. Споживана потужність на валу (механічна потужність насоса) визначається як:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H(Q)}{\eta(Q)},$$

де  $P$  – механічна потужність, яку потрібно подати на вал насоса, [Вт];

$\rho$  – густина рідини, [кг/м³];

$g$  – прискорення вільного падіння, [м/с²];

$Q$  – об'ємна витрата рідини, [м³/с];

$H(Q)$  – гідравлічний напір, що розвивається насосом при витраті  $Q$ , [м];

$\eta(Q)$  – коефіцієнт корисної дії насоса при витраті  $Q$ .

На кривих рисунка 3 проілюстровано залежність механічної та електричної потужності асинхронного двигуна насосного агрегата від об'ємної витрати рідини  $Q$  та режиму роботи насосу (нижня крива на графіку позначає кавітаційний запас  $NPSH$ )

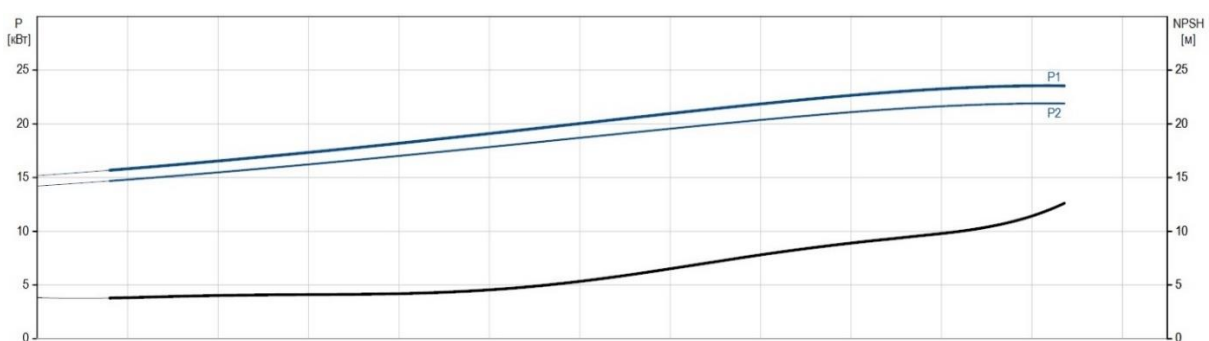


Рис. 3. Крива механічних характеристик  $H(Q)$  та  $\eta$  для насоса TP 200-200/4

При аналізі режимів роботи насосу враховують баланс енергії в гідравлічному контурі: в робочій точці виконується рівність напору насоса та навантаження системи:

$$H_{\text{нас}}(Q) = H_{\text{системи}}(Q),$$

де  $H_{\text{нас}}(Q)$  – напір, що створює насос при витраті  $Q$ , [м];

$H_{\text{системи}}(Q)$  – загальні втрати напору в трубопроводі (статичні та динамічні) при витраті  $Q$ , [м].

Значення  $Q$ , при якому обидві сторони рівняння рівні називається *робочою точкою насоса* (рис. 4).

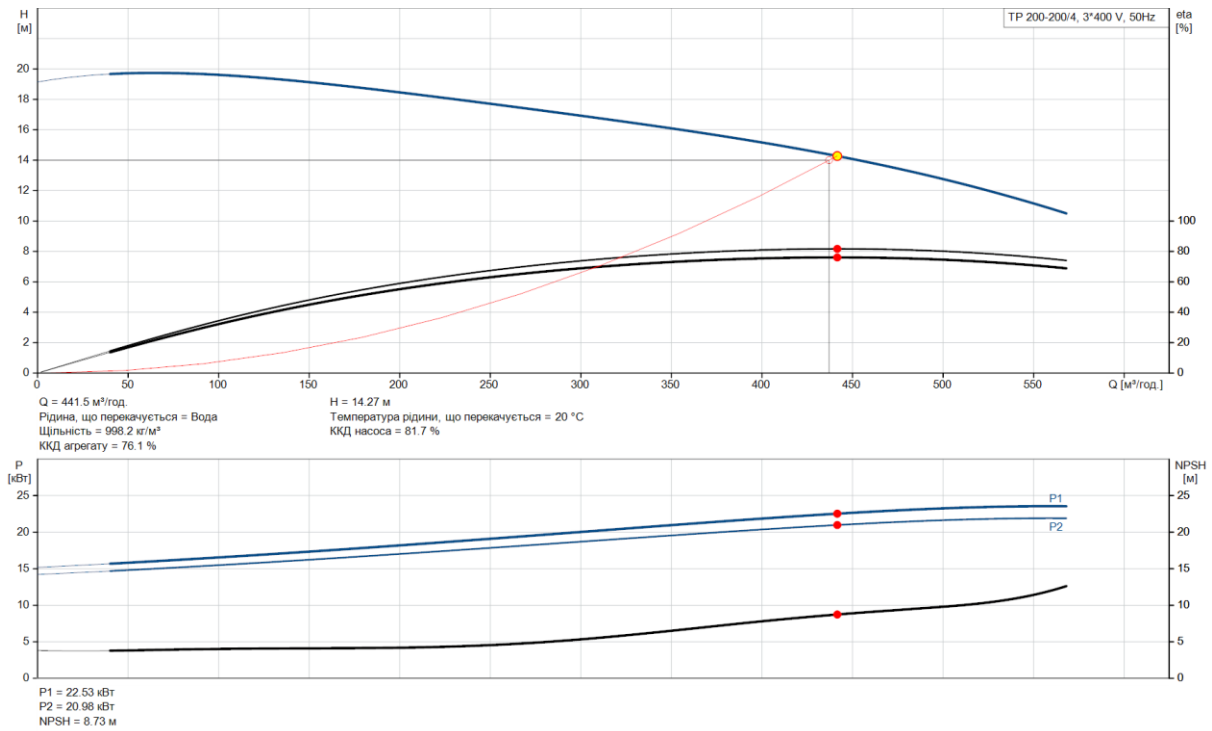


Рис. 4. Підбір оптимальної робочої точки для насосу TP 200-200/4

З графіка на рисунку 3 видно, що при роботі даного насосу в оптимальній робочій точці  $Q = 441,5 \text{ м}^3/\text{год}$  та  $H = 14,27 \text{ м}$ , отримуємо оптимальну механічну ( $P_2 = 20,98 \text{ кВт}$ ) та електричну ( $P_1 = 22,53 \text{ кВт}$ ) потужності двигуна, а також достатній кавітаційний запас  $NPSH = 8,73 \text{ м}$ . Також ККД насоса є найвищим (81,7 %).

Далі, якщо змінити параметри системи водопостачання, то це вплине на робочу точку насосного агрегату і відповідно зміняться параметри електроприводу.

Для дослідження цього явища, запустимо насос в режимі недовантаження (повністю відкритий гідравлічний клапан на виході) та в режимі перевантаження (майже закритий клапан на виході). Побудуємо гідравлічні характеристики, які зображені на рисунках 5 та 6 відповідно.

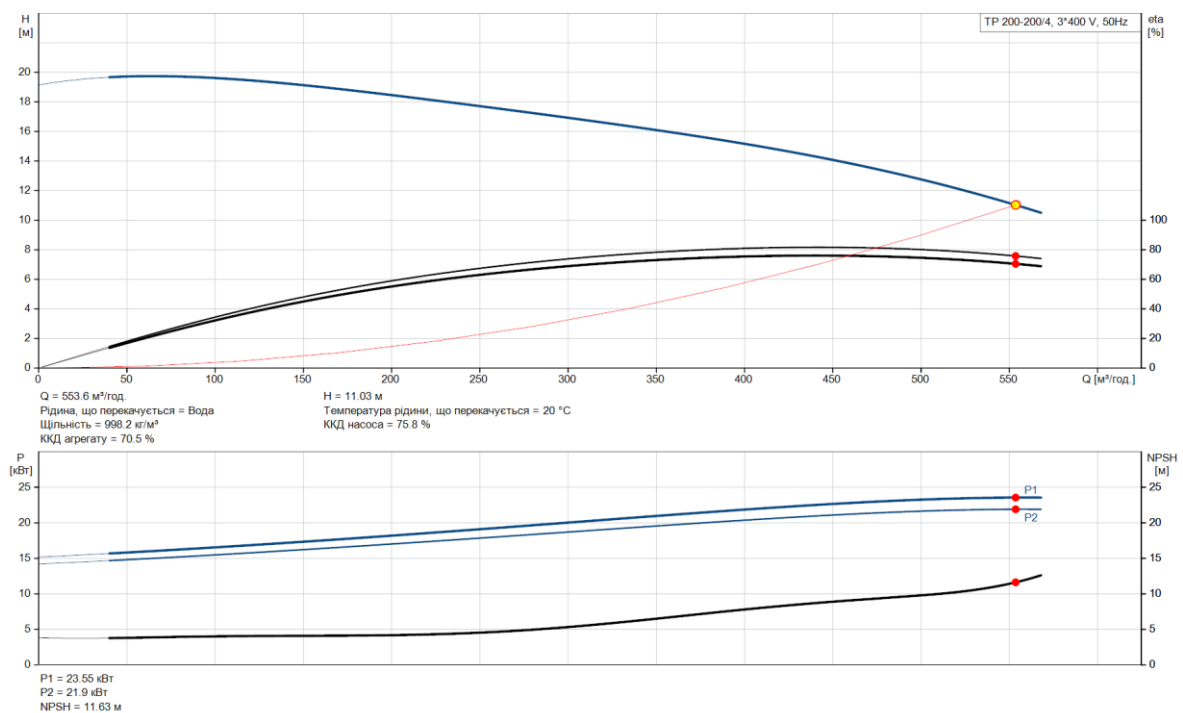


Рис. 5. Зміщення робочої точки для насосу TP 200-200/4 в режимі високої витрати

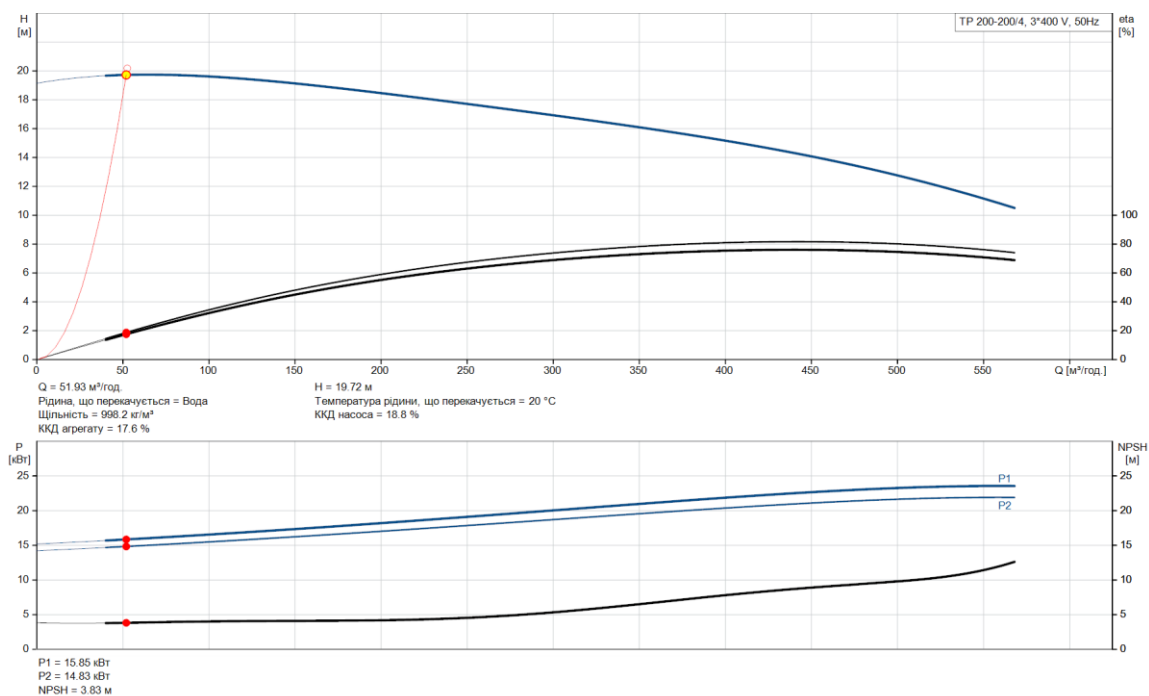


Рис. 6. Зміщення робочої точки для насосу TP 200-200/4 в режимі низької витрати

З графіків на рисунках 5 та 6 видно наскільки змінюються, крім гідравлічних характеристик, характеристики електроприводу. При роботі даного насосу за межами розрахункових режимів, при  $Q = 553,6 \text{ м}^3/\text{год}$  та  $H = 11,03 \text{ м}$  (рис. 5), отримуємо зміну потужності на валу двигуна до  $P_2 = 21,90 \text{ кВт}$  та споживану  $P_1 = 23,55 \text{ кВт}$ . Бачимо, що при такому зміщенні робочої точки, отримали перевищення номінальної потужності двигуна та ККД агрегату впав до 75,8 %.

Вибравши іншу критичну робочу точку, зображену на рисунку 6, при  $Q = 51,93 \text{ м}^3/\text{год}$  та  $H = 19,72 \text{ м}$ , отримуємо недопустимі параметри потужності на валу двигуна до  $P_2 = 14,83 \text{ кВт}$  та споживану  $P_1 = 15,85 \text{ кВт}$ . При такому зміщенні робочої точки отримали зниження номінальної потужності двигуна та ККД насосу впав до 18,8 %.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Зміна гідравлічних параметрів системи суттєво впливає на роботу насосної установки. Зокрема зміщення робочої точки відцентрового насосу одразу ж сприймається приводним асинхронним двигуном, виводячи його за межі оптимальних робочих характеристик. Тому вимірювання параметрів електроприводу дає змогу оцінювати стан та режим роботи насосного агрегату.

В реальних умовах процес зміщення робочої точки часто відбувається непомітно, задається зовнішніми факторами і не залежить від насосу. Це може призводити до швидкого зносу вузлів агрегату. Такі насоси не відпрацьовують навіть свій сервісний інтервал. Моніторинг та вимірювання параметрів електроприводу та насосів водопостачання в промисловості та цивільному водопостачанні дозволить будувати системи прогнозування та оцінювати знос установки або її елементів і вчасно здійснювати її обслуговування, запобігаючи повній зупинці виробництва або водопостачання критичної інфраструктури, враховуючи великі потужності та продуктивності таких установок.

#### Список використаної літератури:

1. Bimal K. Bose Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends / K.Bimal. – Second Edition. – Academic Press, 2021. – 1097 p.
2. Power Electronics, Drives, and Advanced Applications / V.Kumar, R.K. Behera, D.Joshi, R.Bansal. – CRC Press, 2020. – 790 p.
3. Wilamowski B.M. Power Electronics and Motor Drives / B.M. Wilamowski, J.D. Irwin. – 2-nd edition. – CRC Press, 2011 – 974 p.
4. Закладний О.М. Електропривод : навч. посіб. / О.М. Закладний, В.В. Прокопенко, О.О. Закладний. – К. : НТУУ «КПІ», 2008. – 316 с.
5. Колб Ант.А. Теорія електроприводу : навч. посіб. / Ант.А. Колб, А.А. Колб. – 2-ге вид. перероб. і доп. – Д. : Національний гірничий університет, 2011. – 540 с.
6. Баховець Б.О. Автоматизований електропривод : навч. посіб / Б.О. Баховець. – Рівне : НУВГП, 2010. – 238 с.

7. *Безвесільна О.М.* Автоматизований електропривод : підручник / *О.М. Безвесільна, І.В. Коробійчук, Г.С. Тимчик.* – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 452 с.
8. *Закладний О.О.* Діагностування стану електричних двигунів насосних установок / *О.О. Закладний // Електромеханічні та енергетичні системи. Методи моделювання та оптимізації : збірник наукових праць XVIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів, 4–6 листопада.* – Кременчук : КрНУ імені Михайла Остроградського, 2020. – С. 55–57.
9. *Подчашинський Ю.О.* Аналіз проблематики та розробка структури комп'ютеризованої інформаційно-вимірювальної системи механічних характеристик асинхронного електропривода в насосному обладнанні / *Ю.О. Подчашинський, Я.В. Магалецький // Технічна інженерія.* – 2024. – № 1 (93). – С. 295–300. DOI: 10.26642/ten-2024-1(93)-295-300.
10. *Магалецький Я.В.* Комп'ютеризована інформаційно-вимірювальна система для визначення миттєвої швидкості обертання асинхронних двигунів відцентрових насосів / *Я.В. Магалецький, Ю.О. Подчашинський, Л.О. Чепюк // Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення : тези VII Всеукраїнської науково-технічної конференції, 2–3 грудня.* – Житомир : ЖДТУ, 2024. – С. 425–426 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/01/povnyj-tekst-1.pdf>.
11. Вимірювання метрологічних характеристик електродвигунів [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://www.researchgate.net/publication/354171514\\_Rozrobka\\_stendu\\_dla\\_vimiruvanna\\_metrologichnih\\_harakteristik\\_elektrodviguniv/](https://www.researchgate.net/publication/354171514_Rozrobka_stendu_dla_vimiruvanna_metrologichnih_harakteristik_elektrodviguniv/).
12. Grundfos pumps [Electronic resource]. – Access mode : <https://product-selection.grundfos.com/uk/products/tp-tp/tp-200-2004-93426800?pumpssystemid=2739194793&tab=variant-curves>.

#### References:

1. Bimal, K. (2021), *Bose Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends*, Second Edition, Academic Press, 1097 p.
2. Kumar, V., Behera, R.K., Joshi, D. and Bansal, R. (2020), *Power Electronics, Drives, and Advanced Applications*, CRC Press, 790 p.
3. Wilamowski, B.M. and Irwin, J.D. (2011), *Power Electronics and Motor Drives*, 2-nd edition, CRC Press, 974 p.
4. Zakladnyi, O.M., Prokopenko, V.V. and Zakladnyi, O.O. (2008), *Elektropryvod, navch. posib.*, NTUU «KPI», K., 316 p.
5. Kolb, Ant.A. and Kolb, A.A. (2011), *Teoriia elektropyvodu, navch. posib.*, 2nd ed., pererob. i dop., Natsionalnyi hirnychiy universytet, D., 540 p.
6. Bakhovets, B.O. (2010), *Avtomatykovani elektropyvod, navch. posib.*, NUVHP, Rivne, 238 p.
7. Bezvesilna, O.M., Korobiichuk, I.V. and Tymchuk, H.S. (2015), *Avtomatykovani elektropyvod, pidruchnyk*, ZhDTU, Zhytomyr, 452 p.
8. Zakladnyi, O.O. (2020), «Diahnostuvannya stanu elektrychnykh dvyhuniv nasosnykh ustanovok», *Elektromekhanichni ta enerhetychni systemy. Metody modeliuvannya ta optymizatsii*, zbirnyk naukovykh prats XVIII Mizhnarodnoi nauково-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistiv, 4–6 lystopada, KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho, Kremenchuk, pp. 55–57.
9. Podchashynskiy, Yu.O. and Mahaletskiy, Ya.V. (2024), «Analiz problematyky ta rozrobka struktury kompiuteryzovanoi informatsiino-vymiriualnoi systemy mekhanichnykh kharakterystyk asynkronnoho elektropyvoda v nasosnomu obladnanni», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 1 (93), pp. 295–300, doi: 10.26642/ten-2024-1(93)-295-300.
10. Mahaletskiy, Ya.V., Podchashynskiy, Yu.O. and Chepiuk, L.O. (2024), «Kompiuteryzovana informatsiino-vymiriualna systema dlia vyznachennia myttievoi shvydkosti obertannia asynkronnykh dvyhuniv vidtsentrovnykh nasosiv», *Kompiuterni tekhnolohii: innovatsii, problemy, rishennia*, Tezy VII Vseukrainskoi nauково-tekhnichnoi konferentsii, 2–3 hrudnia, Zhytomyr, ZhDTU, pp. 425–426, [Online], available at: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/01/povnyj-tekst-1.pdf>
11. «Vymiriuvannya metrolohichnykh kharakterystyk elektrodvyhuniv», [Online], available at: [https://www.researchgate.net/publication/354171514\\_Rozrobka\\_stendu\\_dla\\_vimiruvanna\\_metrologichnih\\_harakteristik\\_elektrodviguniv/](https://www.researchgate.net/publication/354171514_Rozrobka_stendu_dla_vimiruvanna_metrologichnih_harakteristik_elektrodviguniv/)
12. *Grundfos pumps*, [Online], available at: <https://product-selection.grundfos.com/uk/products/tp-tp/tp-200-2004-93426800?pumpssystemid=2739194793&tab=variant-curves>

**Подчашинський** Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання;
- інформаційні системи та технології.

**Магалецький** Ярослав Валентинович – аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- вимірювання механічних величин;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання.

**Podchashynskiy Yu.O., Mahaletskiy Ya.V.**

**Analysis of the influence of changing hydraulic load on the mechanical characteristics of a centrifugal pump with an asynchronous electric drive**

The article analyzes the influence of changing hydraulic load on the mechanical characteristics of a centrifugal pump with an asynchronous electric drive. Measurement of such mechanical characteristics is carried out in the operating conditions of centrifugal pumps.

Asynchronous electric drives are widely used in pumping units in the water supply system. To assess the parameters of the asynchronous electric drive of pumping units for pumping water, it is necessary first of all to understand the behaviour of the hydraulic part under variable load conditions. Since its influence on the electric motor of the pump is decisive, taking into account the parameters of the hydraulic part of the pump when assessing the mechanical characteristics of the pump drive will significantly expand the functionality and increase the accuracy of measurements. The study was conducted on the basis of a single-stage, centrifugal pump TP 200-200/4 A-F-A-DAQF-QW3. The optimal operating point for the pump was selected and the shift of the operating point of the TP 200-200/4 pump in high and low flow modes was studied. In real conditions, the process of shifting the operating point often occurs imperceptibly, is set by external factors and does not depend on the pump. This can lead to rapid wear of the unit components. Such pumps do not even work out their service interval. Monitoring and measuring the parameters of the electric drive and water supply pumps will allow building forecasting systems and assessing the wear of the installation or its elements and carrying out its maintenance in a timely manner.

Monitoring and measuring the parameters of the electric drive and water supply pumps in industry and civil water supply will allow building forecasting systems and assessing the wear of the installation or its elements and carrying out its maintenance in a timely manner, preventing a complete stop of production or water supply to critical infrastructure, taking into account the large capacities and productivity of such installations.

**Keywords:** asynchronous motor; pumping unit; measurement of mechanical values; mechanical characteristics; pump operating point; efficiency; volumetric fluid flow rate.

Стаття надійшла до редакції 30.12.2025.