

**ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНИХ
АГРЕГАТИВ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ
ЗРОСТАННЯ ВАРТОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

М. М. Заблодський, доктор технічних наук, професор

В. В. Суржик, аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: zablodskiyinn@nubip.edu.ua, surzhyk.v@nubip.edu.ua

Анотація. Стаття присвячена актуальній проблемі підвищення енергоефективності насосних агрегатів систем водопостачання житлово-комунального сектору. Метою дослідження є пошук шляхів зниження витрат електричної енергії насосних агрегатів шляхом запровадження електродвигунів підвищеного класу енергоефективності. Для досягнення мети вирішувалися такі завдання: оцінка технічного стану та потенціалу загального споживання енергії насосних агрегатів; оцінка складових структури тарифу на водопостачання в Україні; проведення випробувань асинхронних двигунів різного класу енергоефективності, що живляться від перетворювача частоти, для визначення енергетичних і функціональних властивостей; оцінка рівня енергозбереження насосного агрегату на прикладі запровадження двигуна класу IE5. Використані спеціальні методи випробувань для визначення втрат і оцінки ефективності двигунів змінного струму, що живляться від перетворювача. Встановлені функціональні залежності крутного моменту і струму від швидкості обертання та енергетичних показників від рівня навантаження для асинхронних двигунів різного класу енергоефективності. Визначені дві категорії параметрів, які впливають на надійність насосних агрегатів при використанні асинхронних двигунів різного класу енергоефективності, а саме: максимальний крутний момент при регулюванні частоти напруги живлення; теплові граничні криві при перевантаженнях. Проведена експрес оцінка ефективності інвестицій по заміні двигунів з низькою енергоефективністю. Запропоновані шляхи для стримування зростання тарифів, серед яких найбільш прогнозованим і економічно доцільним є впровадження системи перетворювач частоти– двигун класу IE5 – насос. При заміні двигуна типу АИР на двигун класу IE5 очікуване зниження витрат електроенергії для двигуна 2,2 кВт складає 15,48 % з терміном окупності інвестицій 1,1 рік. Встановлені закономірності можуть бути використані в межах комплексного підходу у застосуванні енергоефективних заходів і підвищення надійності роботи насосних агрегатів систем водопостачання житлово-комунального сектору.

Ключові слова: енергоефективність, насосні агрегати, водопостачання, частотно-регульований привод, електродвигун

Актуальність. Серед усіх комунальних послуг першочерговими є забезпечення централізованого водопостачання, водовідведення та тепlopостачання в зимовий період. За довоєнними показниками доступ до централізованого водопостачання на початку 2022 р. мали 84 % міського населення та 26 % населення сільської місцевості. Оцінити показники в 2025 році дуже складно через ведення активних бойових дій і суттєву внутрішню та зовнішню еміграцію населення.

Сукупне загальне річне споживання електроенергії України в 2022 році склало 89 658 726 МВт·год, річне споживання водоканалами, як основними постачальниками послуг централізованого водопостачання, склало 1 493 598 МВт·год., що в структурі споживання держави складає 1,67 %. Дані наведені по 41 водоканалу, по яким здійснюється регулювання Національною комісією щодо державного регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Потенціал загального споживання насосних агрегатів (НА) в Україні з урахуванням комерційних організацій, які не входять до структури НКРЕКП, складає більше 20 %, що корелює з дослідження Міністерства енергетики Сполучених Штатів / Національної лабораторії Лоуренса Берклі та Європейської комісії які вказують, що понад 20 % світового споживання електричної енергії двигунів віднесено до НА [1].

Як бачимо, сектор водопостачання є досить енергоємним і потребує впровадження сучасних методів і технологій для зменшення залежності від енергоносіїв в умовах їх дефіциту, зростання їх вартості та зниження платіжної здатності населення через високий рівень інфляції.

Благодійною організацією USAID було проведено дослідження стану обладнання найбільших водоканалів України на предмет їхнього технічного стану і рівня енергоефективності обладнання, що використовується [2]. За результатами перевірки п'яти водоканалів було встановлено, що більшість НА нині є морально застарілими, що прямо впливає на їх рівень електроспоживання і, відповідно, на собівартість послуг та розмір тарифів.

USAID виділяє декілька основних напрямків з підвищення енергоефективності систем централізованого водопостачання в Україні, серед яких: реконструкція інженерних мереж та побудова ефективної системи обліку для зменшення втрат при

водопостачанні; впровадження сучасних систем SCADA; заміна морально застарілих НА на сучасні з високоефективними двигунами з одночасним впровадженням частотних перетворювачів VFD-EL. USAID виносить заміну агрегатів з низькою ефективністю на другий крок після модернізації мереж і впровадження систем моніторингу і контролю, але цей підхід має багато складнощів, у першу чергу пов'язаними з необхідністю значних інвестицій та значним терміном їх реалізації.

Враховуючи всю складність реалізації першого кроку рекомендацій, виникає потреба пошуку альтернативних способів вирішення проблеми.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання енергоефективності НА досить гостро стоїть у Європейському Союзі (ЄС) через екологічний аспект і вже нині необхідно робити кроки, щоб відповідати стандартам ЄС у цьому аспекті. У ЄС для загальнопромислового застосування допускаються асинхронні двигуни (АД) потужності 0,75-375 кВт класів енергоефективності не нижче, ніж ІЕ3. З 1 липня 2023 року згідно Регламенту Комісії (ЄС) 2019/1781 встановлені вимоги до екодизайну для електродвигунів і приводів із змінною швидкістю автономних циркуляційних насосів та безсальникових циркуляційних насосів, вбудованих в продукти. При цьому двигуни з потужністю понад 75 кВт мають відповідати класу ІЕ4 [3]. Надалі передбачено розширення, як обов'язкового, класу ІЕ4 на двигуни меншої потужності та перехід до обов'язкового класу ІЕ5 для потужних двигунів. Зважаючи на постійно зростаючі ціни на енергоносії і необхідність зниження впливу на навколишнє середовище, доцільним стає застосування двигунів класів ІЕ4 і ІЕ5 та удосконалення конструкції НА [4,5].

За літературними джерелами, рівень проектування насосів для більшості застосувань вже надзвичайно високий, тоді як продуктивність системи може бути додатково покращена нормативними документами, а середній потенціал економії енергії, який можна досягти за допомогою регулювання насосної системи, становить близько 30 %. Саме застосування передових методів регулювання НА, заснованих на обчислювальному інтелекті, можливе досягнення таких показників [6].

В роботі [7] визначено кількісні та якісні параметри частотного регулювання електропривода НА мережі централізованого теплопостачання. Практичне значення отриманих результатів, полягає у тому, що вони можуть бути використані для модернізацій електропривода НА мережі централізованого теплопостачання.

Режими роботи АД є квазісталими, які пов'язані з періодичною зміною моменту опору, наявністю значних пульсацій частоти обертання ротора, струмів та електромагнітних моментів, що призводить до погіршення енергетичних показників асинхронних двигунів та зниженню їх енергоефективності [8].

Мета дослідження – пошук шляхів підвищення енергоефективності насосних агрегатів і зниження частки вартості електроенергії при формуванні структури тарифів на централізоване водопостачання та водовідведення шляхом запровадження електродвигунів підвищеного класу енергоефективності.

Матеріали і методи дослідження. Оцінка складових структури тарифу на централізоване водопостачання в Україні проведено, спираючись на загальну статистику по Україні, надану НКРЕКП [9].

Для визначення енергетичних і функціональних властивостей проведені випробування асинхронних двигунів різного класу енергоефективності, які передбачають живлення від перетворювача частоти. Додатково проведене порівняння цін на двигуни. У якості об'єктів дослідження взяті асинхронні двигуни 2,2 кВт, 3000 об/хв виробництва WEG Group і двигун типу АІР. Використані спеціальні методи випробувань для визначення втрат і оцінки ефективності двигунів змінного струму, які живляться від перетворювача [10].

Розробка стандартів тестування енергоефективності та класифікації двигунів і кінцевого обладнання (в даному випадку, насосів) була обмежені компонентами, не враховуючи взаємодії між ними. Енергозбереження, яке можна досягти шляхом вирішення проблеми та вдосконалення всієї системи, потенційно є набагато вищим порівняно з тим, що можна досягти, розглядаючи окремі компоненти. Серія стандартів IEC61800-9 Power Drive System дозволяє оцінювати енергоефективність системи силового привода з урахуванням різних робочих точок типових НА [11].

Використовуючи результати лабораторних випробувань у поєднанні з даними, наданими виробниками, оцінка рівня енергозбереження НА проведена на прикладі запровадження двигуна класу IE5. Для аналізу економічної використано онлайн інструмент WEGSEE+ для експрес оцінки ефективності інвестицій по заміні двигунів з низькою ефективністю [12].

Результати досліджень та їх обговорення. Для кращого розуміння актуальної ситуації в системі централізованого водопостачання розглянемо структуру тарифу на кінець 2024 р. Спираючись на загальну статистику по Україні, надану НКРЕКП, визначено, що доля вартості електроенергії в тарифі (рис.1) складає 31,2 % і основним споживачем безпосередньо є НА [9].



Рис. 1. Структура тарифу на водопостачання в Україні [9]

У період 2024 року відбулось стрімке підвищення тарифів не тільки на електричну енергію, але й на більшість комунальних послуг. Аналізувати причини такого зростання ми не будемо, а спробуємо зрозуміти, яким повинен бути алгоритм дій водопостачальних організацій та, відповідно, споживачів, якщо тарифи стрімко ростуть, при низькій динаміці зростання доходів.

Яскравим прикладом зростання тарифів у 2024 році є ситуація у м. Запоріжжі. За інформацією КП «Водоканал» у 2024 році відбулось зростання тарифу [13]: для комерційних споживачів зростання становить 58 % (до 7,944 грн. за 1 куб.м); для приватних споживачів – 67 % (18,948 грн. за 1 куб.м з ПДВ). Серед основних причин зростання тарифу за інформацією комунального підприємства стало зменшення об'єму реалізації на 26 % та зростання витрат на електроенергію на 46 % (при зменшенні рівня споживання електроенергію на 12 % через зменшення попиту).

Якщо аналізувати структуру собівартості тарифу на послуги водопостачання, то на прикладі КП «Водоканал» [14] сума прямих матеріальних витрат на 1 м³ складає 10,3099 грн, серед яких вартість електроенергії – 6,4715 грн., тобто більше 62 % складають витрати на електричну енергію, яку безпосередньо споживають НА. Аналізуючи структуру тарифу (рис.1) відмічаємо, що можна впливати тільки на рівень електроспоживання НА, оскільки суттєво зменшити фонд оплати праці та податкове навантаження майже неможливо.

За прогнозами спеціалістів у 2025 році очікується продовження зростання більшості тарифів на комунальні послуги. На певному етапі вони можуть досягти такого рівня, що більшість споживачів просто не зможуть ними скористатися. Багато науковців у світі займаються пошуком оптимальних способів та моделей підвищення ефективності НА. У статті [15] запропонована прогресивна модель оцінки енергоефективності НА за допомогою об'єднання двовимірних моделей ефективності насосу, двигуна та частотного перетворювача. У своїй праці автори [16] вже активно аналізують і моделюють застосування вискоелективних двигунів IE4 та IE5, хоча вказують, що широке впровадження двигунів класу IE5 потребує значних обсягів досліджень.

На наш погляд, оптимальним алгоритмом дій у сфері підвищення енергоефективності є кроки, що зображені на рис.2. Кожен з цих кроків можна виконувати як окремо, так і в комплексі, в залежності від поставленої задачі з оптимізації.



Рис. 2. Алгоритм дій в сфері підвищення енергоефективності насосних агрегатів

На рис. 3 – 6 представлені результати випробувань АД різного класу енергоефективності з визначення енергетичних і функціональних властивостей. Номінальні параметри АД для визначення відносних величин наведені в табл.1. Властивості АД класу енергоефективності ІЕ2 значно поступаються (рис.3) у величинах пускового і максимального крутного моменту порівняно з АД класів енергоефективності ІЕ3, ІЕ4. Крім того, у АД класу енергоефективності ІЕ4 майже відсутній провал механічної характеристики на (10 – 40) відсотковій зоні швидкості обертання. В той же час спостерігається зростання в 1,3 рази пускового струму АД класу енергоефективності ІЕ4 порівняно з АД класу енергоефективності ІЕ2, що потрібно враховувати в пускових режимах НА. Енергетичні показники АД (рис.4) класів енергоефективності ІЕ3, ІЕ4 суттєво перевищують показники АД класу ІЕ2 не тільки при номінальній потужності навантаження, але і в зонах, що дуже важливо, недовантаження, тобто (30-70) відсотків номінальної потужності.

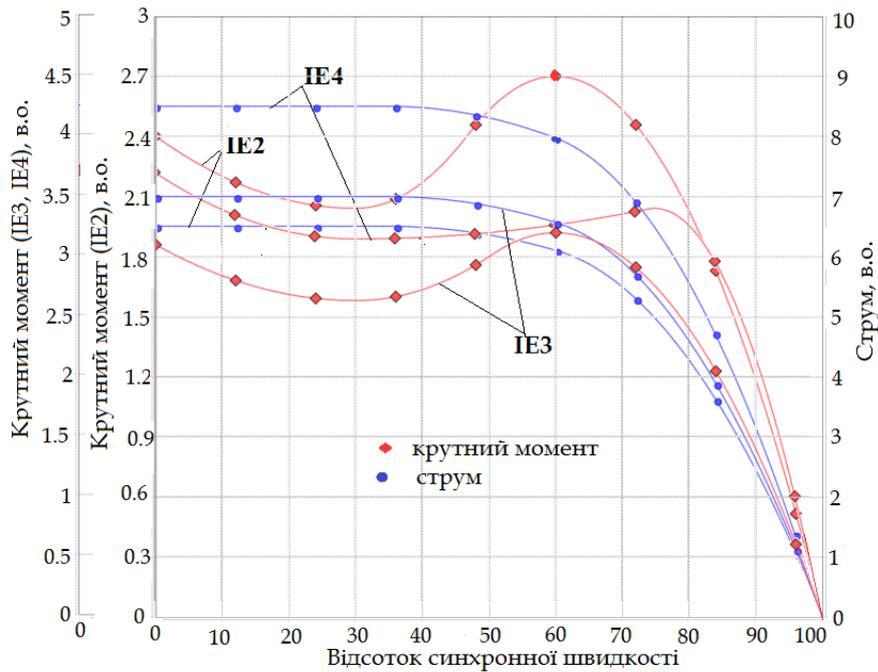


Рис. 3. Вплив класу енергоефективності АД на функціональні залежності крутного моменту і струму від швидкості обертання

1. Номінальні параметри АД для визначення відносних величин

Номінальні параметри	Клас енергоефективності АД		
	IE2	IE3	IE4
Крутний момент, Н·м	7.345	7.326	7.335
Струм при напрузі 380 В, А	4.73	4.69	4.47

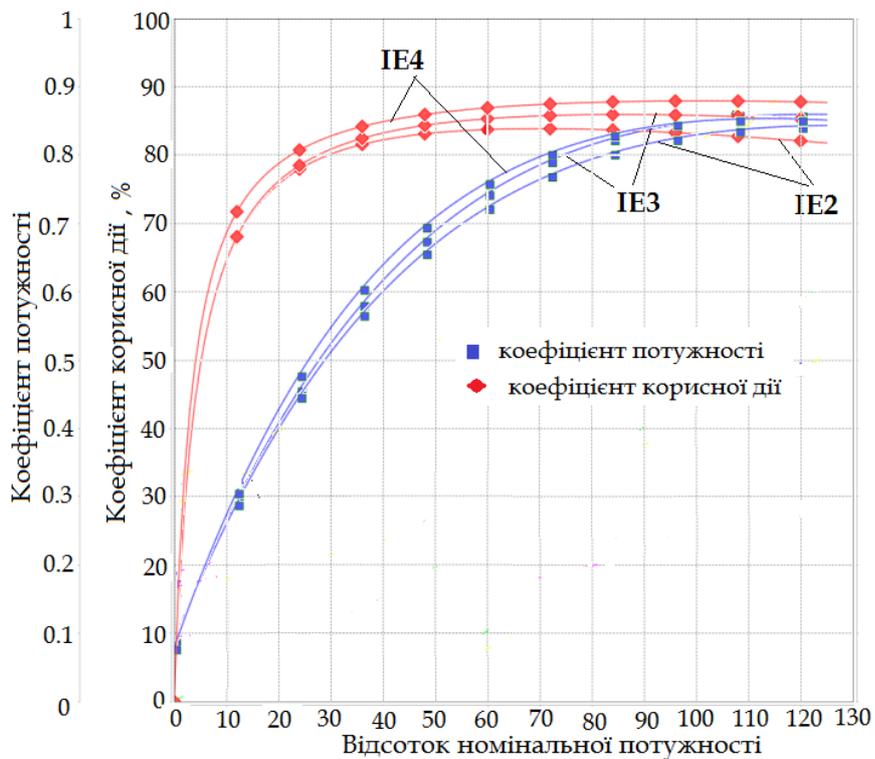


Рис. 4. Порівняння енергетичних показників АД різного класу енергоефективності

Важливим показником слід вважати величину максимального крутного моменту АД при регулюванні частоти напруги живлення (рис.5). Крім загального перевищення максимального крутного моменту АД класів енергоефективності ІЕ3, ІЕ4 порівняно з АД класу ІЕ2, відзначимо існування зони стабільного максимального крутного моменту при регулюванні частоти напруги живлення в діапазоні (10 – 50) Гц для АД різного класу енергоефективності.

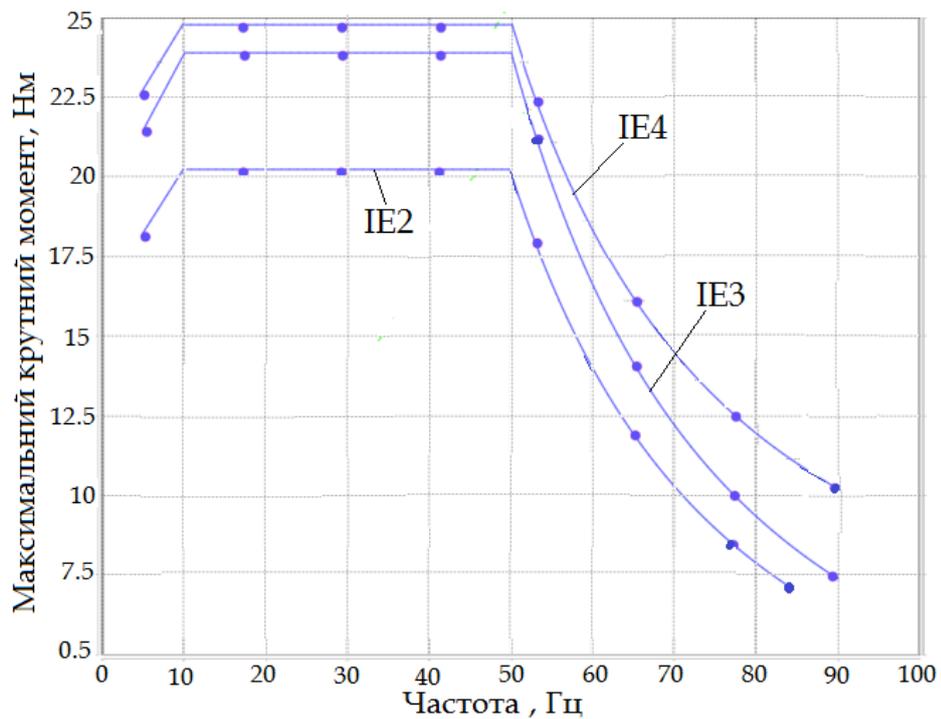


Рис. 5. Максимальний крутний момент АД різного класу енергоефективності при регулюванні частоти напруги живлення

Час досягнення граничних температур для системи ізоляції при струмових перевантаженнях для АД класу енергоефективності ІЕ4 майже вдвічі перевищує показник для нижчих класу енергоефективності, що свідчить про досягнутий високий рівень надійності АД класу енергоефективності ІЕ4.

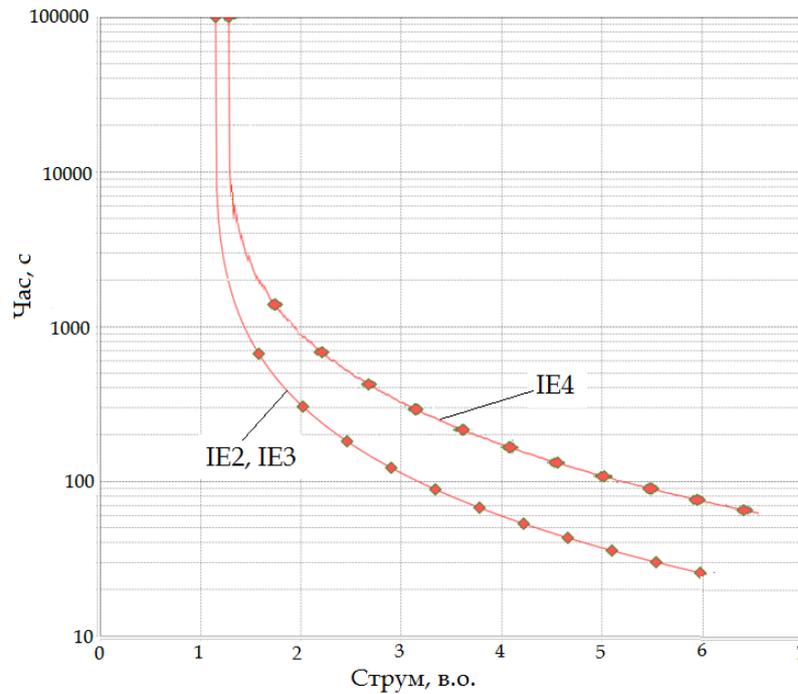


Рис. 6. Теплові граничні криві АД різного класу енергоефективності при перевантаженнях

На рис.7 наведені результати порівняння цін АД потужністю 2,2 кВт, 3000 об/хв різного класу енергоефективності. Як впливає з гістограми, двигун класу IE3 майже в 2 рази, а двигун класу IE5 більш ніж в 4 рази дорожчий за АИР. При цьому двигун класу IE5 на 69 % дорожчий за IE3 та 34 % дорожчий порівняно з двигуном класу IE4. Різниця в ціні суттєва і може викликати сумнів у доцільності інвестицій у двигун, який в 4 рази дорожчий. Проведемо аналіз за допомогою онлайн інструменту WEGSEE+ експрес оцінку ефективності інвестицій для НА при заміні двигунів з низькою ефективністю.



Рис. 7. Порівняння цін АД різного класу енергоефективності

Змоделюємо ситуацію, коли маємо НА з двигуном типу АІР 2,2 кВт, 3000 об/хв додатковими умовами будуть: термін експлуатації 5 років і за цей період 1 раз виконувалась перемотка обмоток двигуна; існуючий двигун запускався прямим пуском і працює 365 днів на рік. Приймаємо рішення виконати заміну АД на серію W22 IE5. При переході на двигун IE5 нам буде необхідно додатково встановити частотний перетворювач. Орієнтовні прямі інвестиції складуть 910,00 євро. На рис.8 показано результати моделювання і ми можемо бачити, що за 1,1 рік інвестиції повністю окупаються. Потенційне зниження рівня електроспоживання складає 15,48 % порівняно з двигуном типу АІР і складе 3632,13 кВт при тарифі 0,23 євро за 1 кВт-год.

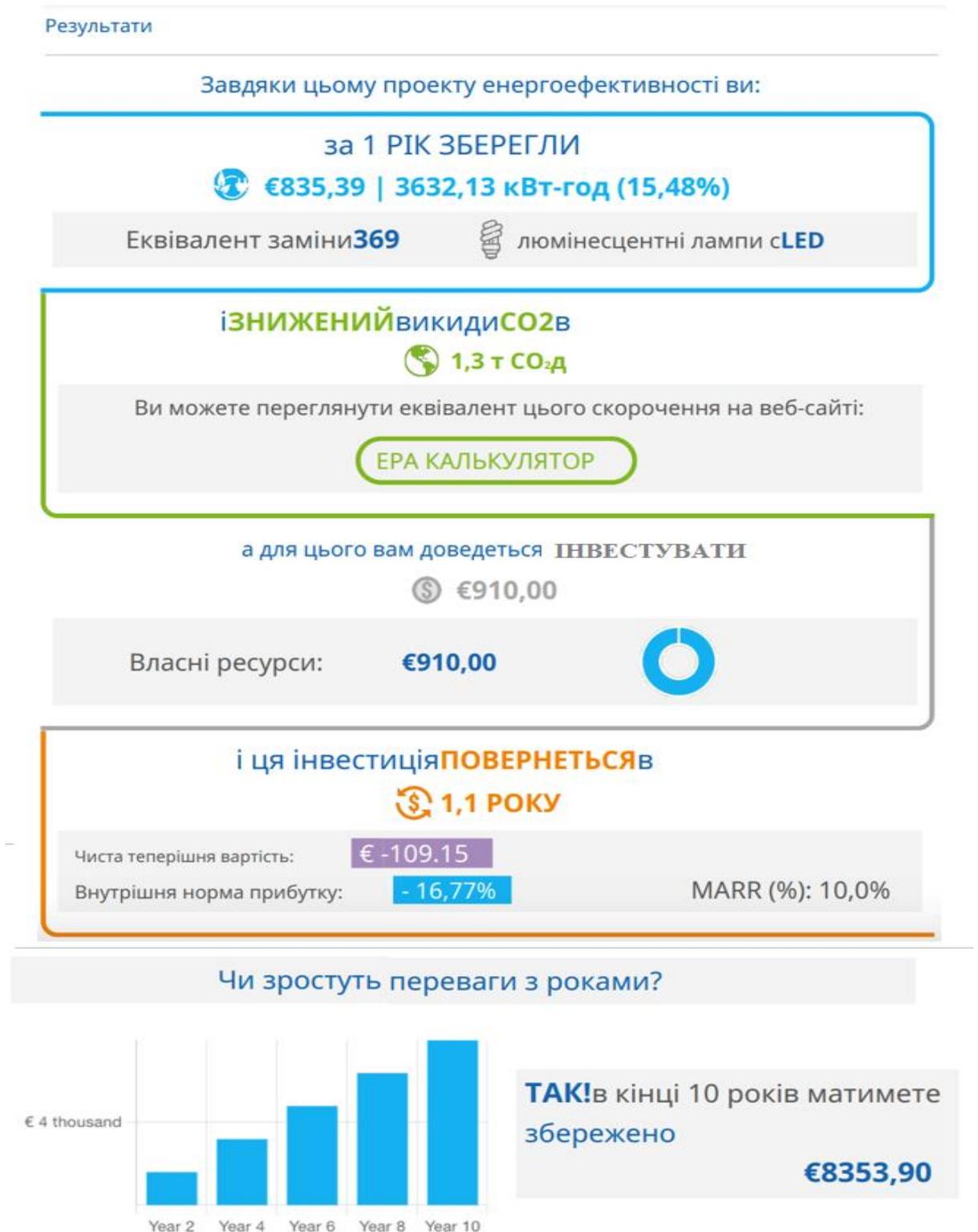


Рис. 8. Результати моделювання з визначення ефективності інвестицій при заміні двигунів з низькою енергоефективністю

Необхідно відмітити, що проводяться подальші дослідження щодо підвищення ефективності промислових електродвигунів з використанням нанокристалічних сплавів, удосконалень конструкції та діючого стандарту IEC/TS 60034-2-3 для

поділу втрат і вимірювання ефективності асинхронного двигуна при живленні з застосуванням широтно-імпульсної модуляції [17].

Висновки і перспективи. Енергоефективність систем водопостачання в Україні на пряму залежить від ефективності двигунів, які використовуються в насосних агрегатах. Більше третини в тарифі на послуги водопостачання та водовідведення складає витрати на електроенергію. Стрімке зростання вартості енергоносіїв змушує комунальні підприємства піднімати тарифи на свої послуги, що в умовах складної економічної ситуації може стати значною проблемою для приватних і комерційних споживачів, які використовують велику кількість води для технологічних потреб. Єдиним шляхом для стримування зростання тарифів є зниження витрат на електричну енергію. На наш погляд, найбільш прогнозованим і економічно зрозумілим є впровадження системи «перетворювач частоти – двигун ІЕ5 – насос». При заміні двигуна типу АІР на ІЕ5 очікуване зниження витрати електроенергії для двигуна 2,2 кВт складає 15,48 % з терміном окупності інвестицій 1,1 рік. Додатковий потенціал енергозбереження полягає в можливості регулювання частоти обертів двигуна відповідно до добового графіку водоспоживання. Для швидкої оцінки інвестиційної привабливості можна використати інструменти, які надають виробники електродвигунів, одним із таких є WEGSEE+, що дозволяє оцінити економічний та екологічний ефект.

Список використаних джерел

1. Augustyn, T. (2012). Energy efficiency and savings in pumping systems—The holistic approach. 2012 Southern African Energy Efficiency Convention (SAEEEC), 1–7. <https://doi.org/10.1109/SAEEEC.2012.6408587>.
2. USAID. 2023. Assessment of the Power Needs of Ukraine's Water and Sanitation Service Providers. Washington, DC, USAID Water, Sanitation, and Hygiene Partnerships and Learning for Sustainability 0 (дата звернення: 01.02.2025).
3. Commission Regulation (EU) 2019/1781 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for electric motors and variable speed drives pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, amending Regulation (EC) No 641/2009 with regard to ecodesign requirements for glandless standalone circulators and glandless circulators integrated in products and repealing Commission Regulation (EC) No 640/2009, Document 32019R1781. Available at: <https://eurlex.europa.eu/eli/reg/2019/1781/oj..>

4. Annex to the Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019, COM (2019) 640 final. Available at: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication-annex-roadmap_en.pdf.

5. Poorly designed pumps use 10% of world energy (2019, June 25). URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/Poorly-designed-pumps-use-10-of-world-energy/> (дата звернення: 01.02.2025).

6. Gan X., Pei J., Pavesi G., Yuan S., Wang, W. (2022). Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review. Energy Reports. 2022. Vol. 8. P. 11592-11606. <https://doi.org/10.1016/j.egyр.2022.09.016>

7. Федірко, М., Брич, В., Горлачук, М., Завитій, О., & Головка, Р. (2023). Частотне регулювання електроприводу насосних агрегатів мережі централізованого теплопостачання на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Загальнодержавний науково-виробничий та інформаційний журнал «Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит», (7-8 (185-186)), 22-32. DOI: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2023.07.02>

8. Попович, О. М., & Бібік, О. В. (2018). Пошук і оцінка шляхів підвищення енергоефективності моноблочного насосу за застосування комплексного проектування. Вісник Національного технічного університету «ХПІ».Серія: Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії, 5 (1281), Article 5 (1281). <http://emepe.khpi.edu.ua/article/view/135209>

9. Структури середньозважених тарифів на централізоване водопостачання та централізоване водовідведення URL: <https://bit.ly/4bZBx7L> (дата звернення: 01.02.2025).

10. ДСТУ EN IEC 60034-2-3:2022 Машини електричні обертові. Частина 2-3. Спеціальні методи випробувань для визначення втрат і ефективності двигунів змінного струму, що живляться від перетворювача .

11. Fong, J., Ferreira, F. J. T. E., Silva, A. M., & de Almeida, A. T. (2020). IEC61800-9 System Standards as a Tool to Boost the Efficiency of Electric Motor Driven Systems Worldwide. Inventions, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/inventions5020020>.

12. WEGSEE+ is the definitive solution for optimizing resources in energy efficiency projects :<https://www.weg.net/institutional/US/en/news/products-and-solutions/wegsee-is-the-definitive-solution-for-optimizing-resources-in-energy-efficiency-projects> ((дата звернення: 22.03.2025).

13. КП «Водоканал» інформує, що з 01.06.2024 року набирає чинності постанова НКРЕКП від 28.05.2024 року №1007 щодо встановлення тарифів на централізоване водопостачання та централізоване водовідведення URL: <https://vodokanal.zp.ua/?p=1094> (дата звернення: 01.02.2025).

14. Структура тарифів на централізоване водопостачання та централізоване водовідведення комунального підприємства «Водоканал» (м. Запоріжжя) URL: https://vodokanal.zp.ua/wpcontent/themes/vodokanal_v2/assets/head_list/tarifs/vart_tarifs/2331_24.12.2024.pdf (дата звернення: 01.02.2025).

15. Lavrič, H., Drobnič, K., & Fišer, R. (2024). Model-Based Assessment of Energy Efficiency in Industrial Pump Systems: A Case Study Approach. *Applied Sciences*, 14(22), 10430. <https://doi.org/10.3390/app142210430>.

16. Дзеніс, С., Шайда, В., Юр'єва, О. (2024). Шляхи подолання бар'єру при переході асинхронних двигунів до класу енергоефективності ІЕ5. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика, 1 (11), Article 1 (11). <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2024.1.11>.

17. Akçomak, M., & Partal, S. Z. (2024). Design of a 2.2kW 4-Pole IE5 Efficiency Class Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motor. 2024 6th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), 190–198. <https://doi.org/10.1109/GPECOM61896.2024.10582573>.

References

1. Augustyn, T. (2012). Energy efficiency and savings in pumping systems—The holistic approach. 2012 Southern African Energy Efficiency Convention (SAEEEC), 1–7. <https://doi.org/10.1109/SAEEEC.2012.6408587>.

2. USAID. 2023. Assessment of the Power Needs of Ukraine's Water and Sanitation Service Providers. Washington, DC, USAID Water, Sanitation, and Hygiene Partnerships and Learning for Sustainability 0 (дата звернення: 01.02.2025).

3. Commission Regulation (EU) 2019/1781 of 1 October 2019 laying down ecodesign requirements for electric motors and variable speed drives pursuant to Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, amending Regulation (EC) No 641/2009 with regard to ecodesign requirements for glandless standalone circulators and glandless circulators integrated in products and repealing Commission Regulation (EC) No 640/2009, Document 32019R1781. Available at: <https://eurlex.europa.eu/eli/reg/2019/1781/oj..>

4. Annex to the Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. Brussels, 11.12.2019, COM (2019) 640 final. Available at: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication-annex-roadmap_en.pdf.

5. Poorly designed pumps use 10% of world energy (2019, June 25). URL: <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/Poorly-designed-pumps-use-10-of-world-energy/> (дата звернення: 01.02.2025).

6. Gan X., Pei J., Pavesi G., Yuan S., Wang, W. (2022). Application of intelligent methods in energy efficiency enhancement of pump system: A review. *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. P. 11592-11606. <https://doi.org/10.1016/j.egyrs.2022.09.016>

7. Fedirko, M., Brych, V., Horlachuk, M., Zavytiy, O., & Holovko, R. (2023). Frequency control of the electric drive of pumping units of the district heating network based on asynchronous motors with a squirrel-cage rotor. *National scientific and production and information journal "Energy saving. Power engineering. Energy audit"*, (7-8 (185-186)), 22-32. DOI: <https://doi.org/10.20998/2313-8890.2023.07.02>

8. Popovych, O. M., & Bibik, O. V. (2018). Search and evaluation of ways to

increase the energy efficiency of a monoblock pump using integrated design. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Electric Machines and Electromechanical Energy Conversion, 5 (1281), Article 5 (1281). <http://emepe.khpi.edu.ua/article/view/135209>

9. Structures of weighted average tariffs for centralized water supply and centralized water disposal URL: <https://bit.ly/4bZBx7L> (access date: 01.02.2025).

10. DSTU EN IEC 60034-2-3:2022 Rotating electrical machines. Part 2-3. Specific test methods for determining losses and efficiency of converter-fed AC motors.

11. Fong, J., Ferreira, F. J. T. E., Silva, A. M., & de Almeida, A. T. (2020). IEC61800-9 System Standards as a Tool to Boost the Efficiency of Electric Motor Driven Systems Worldwide. *Inventions*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/inventions5020020>.

12. WEGSEE+ is the definitive solution for optimizing resources in energy efficiency projects :<https://www.weg.net/institutional/US/en/news/products-and-solutions/wegsee-is-the-definitive-solution-for-optimizing-resources-in-energy-efficiency-projects> ((дата звернення: 22.03.2025).

13. KP "Vodokanal" informs that from 01.06.2024, the resolution of the National Commission for the Regulation of the National Energy and Public Utilities Commission of Ukraine No. 1007 dated 28.05.2024 on establishing tariffs for centralized water supply and centralized wastewater disposal comes into force. URL: <https://vodokanal.zp.ua/?p=1094> (date of application: 01.02.2025).

14. Structure of tariffs for centralized water supply and centralized wastewater disposal of the municipal enterprise "Vodokanal" (Zaporizhzhya) URL: https://vodokanal.zp.ua/wpcontent/themes/vodokanal_v2/assets/head_list/tarifs/vart_tarifs/2331_24.12.2024.pdf (date of application: 01.02.2025).

15. Lavrič, H., Drobnič, K., & Fišer, R. (2024). Model-Based Assessment of Energy Efficiency in Industrial Pump Systems: A Case Study Approach. *Applied Sciences*, 14(22), 10430. <https://doi.org/10.3390/app142210430>.

16. Dzenis, S., Shaida, V., & Yuryeva, O. (2024). Ways to overcome the barrier when transitioning asynchronous motors to the energy efficiency class IE5. Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problems of improving electrical machines and devices. Theory and practice, 1 (11), Article 1 (11). <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2024.1.11>.

17. Akçomak, M., & Partal, S. Z. (2024). Design of a 2.2kW 4-Pole IE5 Efficiency Class Line-Start Permanent Magnet Synchronous Motor. 2024 6th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM), 190–198. <https://doi.org/10.1109/GPECOM61896.2024.10582573>.

WAYS TO IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF PUMPING UNITS OF WATER SUPPLY SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF THE INCREASE IN THE COST OF ELECTRICITY

M. Zablodsky, V. Surzhyk

Abstract. *The article is devoted to the urgent problem of increasing the energy efficiency of pumping units of water supply systems of the housing and communal sector. The purpose of the study is to find ways to reduce the electric energy consumption of pumping units by introducing electric motors of an increased energy efficiency class. To*

achieve the goal, the following tasks were solved: assessment of the technical condition and potential of the total energy consumption of pumping units; assessment of the components of the water supply tariff structure in Ukraine; testing of asynchronous motors of different energy efficiency classes powered by a frequency converter to determine the energy and functional properties; assessment of the level of energy saving of a pumping unit using the example of the introduction of an IE5 class motor. Special test methods were used to determine losses and assess the efficiency of AC motors powered by a converter. Functional dependences of torque and current on the speed of rotation and energy indicators on the load level for asynchronous motors of different energy efficiency classes were established. Two categories of parameters that affect the reliability of pumping units when using asynchronous motors of different energy efficiency classes are determined, namely: maximum torque when regulating the supply voltage frequency; thermal limit curves during overloads. An express assessment of the effectiveness of investments in replacing motors with low energy efficiency is carried out. Ways are proposed to curb the growth of tariffs, among which the most predictable and economically feasible is the implementation of the frequency converter - IE5 class motor - pump system. When replacing an AIR type motor with an IE5 class motor, the expected reduction in electricity costs for a 2.2 kW motor is 15.48% with an investment payback period of 1.1 years. The established patterns can be used within the framework of a comprehensive approach to applying energy-efficient measures and increasing the reliability of the operation of pumping units of water supply systems in the housing and communal sector.

Key words: *energy efficiency, pumping units, water supply, variable frequency drive, electric motor*