

НАСОСИ КОНТРОТОРНІ ТА НАСОСИ ІНШИХ ТИПІВ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ

Куліков Олександр Андрійович

молодший науковий співробітник

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-7222-8766

o.kulikov@pgm.sumdu.edu.ua

Ратушний Олександр Валерійович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський державний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-3525-0953

o.ratushnij@pgm.sumdu.edu.ua

Івченко Олександр Володимирович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет,

Сумська філія державного підприємства

«Полтавський регіональний науково-технічний центр стандартизації,

метрології та сертифікації»,

м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0002-4274-7693

oleksandr.ivchenko@snau.edu.ua

Андрусак Владислав Олегович

асистент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-2089-9423

v.andrusiak@pgm.sumdu.edu.ua

Герасименко Владислав Олександрович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна

ORCID: 0000-0001-5875-8517

Vladzaoch@ukr.net

Насосне обладнання є важливим елементом багатьох промислових і комунальних систем, забезпечуючи транспортування рідин у різних галузях. Ефективність роботи насосів безпосередньо впливає на загальну продуктивність технологічних процесів, рівень енергоспоживання та економічні витрати підприємств. Тому оцінка ефективності насосного обладнання є актуальним завданням для оптимізації виробничих систем. Вибір насоса з оптимальними характеристиками дозволяє значно знизити витрати.

Різні типи насосного обладнання мають свої конструктивні особливості, які визначають їхню ефективність у конкретних умовах експлуатації. Одним із найпоширеніших типів насосів, що використовуються у промислових процесах є багатосекційні насоси типу ЦНС. Багатосекційні насоси типу ЦНС використовуються для перекачування рідин під високим тиском. Консольні насоси, навпаки, вирізняються компактністю та простотою конструкції.

Контроторні насоси, на відміну від попередніх двох типів, мають унікальну конструкцію, що поєднує переваги як багатосекційних, так і консольних насосів. Завдяки особливій будові з двома протилежно обертовими робочими колесами вони можуть забезпечувати високий напір, порівнянний із насосами типу ЦНС, водночас зберігаючи компактні габарити, характерні для консольних насосів. Це дозволяє використовувати їх у тих випадках, коли потрібно зменшити розміри насосного обладнання, не втрачаючи ефективності.

У даній роботі проведено детальне дослідження ефективності різних типів насосного обладнання, зокрема багатосекційних насосів типу ЦНС, консольного насоса та контроторного насоса. Аналіз базується на використанні показників енергоспоживання та матеріалоемності, які дозволяють комплексно оцінити експлуатаційні та конструктивні особливості досліджуваних насосів. Дослідження дозволяє оцінити переваги та недоліки кожного типу насосного обладнання. Отримані результати дозволять визначити доцільність використання контроторного насоса у порівнянні з іншими типами насосів, а також оцінити його технічні та економічні аспекти.

Ключові слова: насос, енергоспоживання, матеріалоемність, напірно-енергетичні характеристики, багатоступеневий насос, консольний насос, енергоефективність, проектування техніки, оптимізація конструкцій.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2025.1.7>

Вступ. Насосне устаткування є одним із найважливіших елементів промислових, комунальних та енергетичних систем розвинутих держав. Його ефективність і надійність безпосередньо впливають на виробничі процеси, вартість експлуатації та загальну економічну ефективність виробництва. Вибір насоса залежить від багатьох чинників, зокрема: його вага, енергоспоживання, матеріаломісткість та комплексна вартість життєвого циклу. Аналіз відповідних даних дозволяє визначити найбільш раціональне рішення для конкретних умов експлуатації.

Вага насоса безпосередньо пов'язана з його конструктивними особливостями та матеріалами, з яких він виготовлений. Моделі, які мають більшу вагу, зазвичай мають і кращі показники міцності та довговічності, проте потребують додаткових витрат щодо транспортування, монтажу та обслуговування. Масогабаритні характеристики визначають можливості встановлення обладнання в існуючі технологічні системи та впливають на загальну вартість експлуатації. Водночас енергоспоживання насоса є одним із найважливіших показників, що впливає на довгострокові витрати. Насоси з високою енергоефективністю дозволяють значно знизити витрати на електроенергію, що робить їх більш привабливими з точки зору економічної доцільності.

Показник матеріаломісткості насосного обладнання, що визначає кількість матеріалу, використаного для виготовлення насоса у співвідношенні до його продуктивності, може вказувати на довговічність основної конструкції, в той же час прямо корелює з показником ваги та вартості агрегату. Іншими словами, раціональне співвідношення між матеріаломісткістю, енергоефективністю та експлуатаційними витратами є критично важливим при виборі насосного обладнання.

Таким чином, оцінювання ефективності насосних агрегатів повинна базуватися на комплексному аналізі його ключових характеристик, зокрема, ваги, масогабаритних розмірів, показника енергоспоживання та матеріаломісткості. В той же час обчислення комплексної вартості життєвого циклу насоса дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо вибору оптимального варіанту обладнання для конкретних виробничих умов експлуатації.

Постановка проблеми. Насосне устаткування споживає найбільшу частку енергії в промисловості, наприклад, за даними роботи (Fluid Future KSB) в ЄС ця частка становить 300 ТВт·год за рік. Відповідно питання підвищення енергоефективності насосного обладнання є досить актуальне. Це підтверджується, зокрема, імплементованими в Україні Директивами ЄС та гармонізованими нормативними документами, а саме:

- загальні концепції Сталого розвитку (sustainable development), а саме 12 ціль «відповідальне споживання та виробництво» (The 17 goals);

- директива № 2009/125/ЄС від 21.10.2009 – встановлення вимог до екодизайну для пов'язаних з енергоспоживанням продуктів, а саме водяних насосів (Directive – 2009/125 – EN, 2009);

- «Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy

efficiency and amending Regulation», ця Директива встановлює стратегію скорочення енергоспоживання в ЄС на 12% (Directive – 2023/1791 – EN, 2023);

- Закон України Про енергетичну ефективність, що регламентує питання енергоефективності у виробництві та транспортуванні, а також розподілі, передачі та споживання енергії (Pro enerhetychnu efektyvnist № 1818-IX, 2022);

- Регламент Комісії (ЄС) № 547/2012, що встановлює межу мінімальної енергоефективності насосного устаткування, в точці максимальної енергоефективності (BEP) та регламентує режими роботи обладнання, а саме недовантаження (PL) та перевантаження (OL) (Regulation – 547, 2012);

- Регламент Комісії (ЄС) № 641/2009 від 22 липня 2009 року Про виконання Директиви 2005/32/ЄС Європейського Парламенту та Ради стосовно екодизайну для безсальникових автономних циркуляційних насосів та безсальникових циркуляційних насосів, визначає значення індексу енергоефективності (EEI) (Regulation – 641, 2009).

Ці законодавчі акти вказують на наявність проблеми енергоефективності як явища, та встановлюють системний підхід щодо його подолання.

Аналіз наукових праць та промислових звітів показує велику кількість робіт присвячених вирішенню проблеми підвищення енергоефективності насосного устаткування.

В роботі (Yates & Weybourne, 2001) автори роблять акцент на те, що енергоефективність насосів є важливим аспектом зниження витрат на електроенергію та зменшення викидів парникових газів. Відповідні дослідження, показують, що оптимізація роботи насосних установок може сприяти зниженню енергоспоживання на 30–50%. Основними заходами для досягнення цієї мети є оновлення обладнання, вдосконалене планування систем з декількома насосами, використання сучасних технологій (наприклад, високоефективних двигунів), оптимальний вибір насосів і контроль їхньої продуктивності, а також мінімізація гідравлічних втрат та постійний моніторинг станцій з високим енергоспоживанням.

Робота (Pump life cycle costs, 2001) присвячена аналізу наукових досліджень та спеціальної технічної літератури щодо питання вибору насосного обладнання на основі його основних параметрів. Зроблено висновок щодо важливості оптимального поєднання масогабаритних характеристик та надійності конструкції, оскільки занадто важкі насоси можуть спричиняти додаткові витрати на транспортування та монтаж.

Дослідження, що наведено в роботі (Ivchenko et al., 2023) вказує на те, що основною проблемою енергоефективності підприємств є правильний вибір насосного обладнання та його ефективне використання. Запропонована методика оцінки насосів, на основі міжнародних стандартів, що розглядає визначення показника енергоефективності насосного устаткування для полегшення підбору устаткування за оптимальною витратою енергії. Для визначення оптимальної витрати енергії на перекачування рідини запропоновано використано метод

базової точки, який допомагає знайти найкращий баланс між ефективністю та енергоспоживанням.

В дослідженні (Kondus et al., 2023) розглядається питання енергоемності глибоких насосів у системах централізованого водопостачання. Автори роботи основну увагу акцентують на підвищенні енергоефективності та зменшенні ваги й розмірів насосів. Збільшивши швидкість обертання з 3 000 об/хв до 6 000 об/хв, дозволяє значно збільшити напір насосу (з 15 м до 65 м). Ця модифікація дозволяє насосу досягти бажаного напору лише з двома запроєктованими ступенями, у порівнянні з вісьмома ступенями, необхідних для базової конструкції. Відповідно, маса насоса зменшилася з 200 кг до 45 кг, тобто на 77,5%. Крім того, енергоефективність підвищилася з 74,6% до 79,4%, тобто на 5%. Ці досягнення сприяють значному зниженню вартості життєвого циклу глибоких насосних установок.

Розглянуті наукові праці доводять актуальність досліджень в сфері енергоефективності насосного устаткування, та відповідно різних шляхів її досягнення.

В роботі розглянуто питання оцінювання енергоефективності насосного обладнання різних типів конструктивного виконання на прикладі співставлення контрроторного насоса, насосів лінійки ЦНС та консольних відцентрових насосів (за доступною інформацією щодо їх технічних характеристик з відкритих джерел).

Матеріали і методи досліджень. У процесі дослідження ефективності роботи насосного обладнання використовуються показники енергоспоживання та матеріалоемності, які дозволяють оцінити раціональність витрат енергетичних і матеріальних ресурсів.

Показник енергоспоживання насоса (ε_{ef}) визначає, скільки потужності споживається насосом на одиницю подачі рідини при заданому напорі. Він є ключовим параметром при виборі насосного обладнання, оскільки дозволяє оцінити рівень енергоефективності різних моделей. Зниження цього показника означає оптимізацію витрат електроенергії та зменшення експлуатаційних витрат, що особливо важливо для підприємств із великим енергоспоживанням. Крім того, цей показник дає змогу не лише оцінювати енергоефективність окремого насоса, а й проводити порівняльний аналіз обладнання різних виробників та модифікацій. Насоси з низьким показником більш економічні та екологічні, оскільки споживають менше енергії на перекачування однакових обсягів рідини та використовують менше ресурсу під час їх виготовлення. Це має значний вплив на загальну ефективність технологічних процесів.

Формула для розрахунку показника енергоспоживання має вигляд:

$$\varepsilon_{ef} = \frac{N_m}{Q_m \cdot H_m}$$

де, Q_m – витрата рідини в розрахунковій точці, м³/год;

H_m – напір в розрахунковій точці, м;

N_m – споживана потужність в розрахунковій точці,

Вт.

Другим важливим параметром є показник матеріалоемності (ε_{mat}), який визначає, скільки матеріалу (у

масі) витрачається на одиницю транспортованої рідини при заданому напорі. Він є значним для аналізу конструктивної ефективності насоса, оскільки дозволяє оцінити, наскільки раціонально використані матеріали в процесі його виготовлення. Чим менше значення цього показника, тим більш економічна конструкція обладнання. Визначення матеріалоемності насосів є важливим не лише з точки зору зниження виробничих витрат, а й у контексті екологічної безпеки. Зменшення використання матеріалів у виробництві насосного обладнання сприяє зниженню споживання природних ресурсів та зменшенню викидів CO₂, пов'язаних із виробництвом металів і композитних матеріалів. Крім того, оптимізація конструкції насоса шляхом зниження його матеріалоемності може позитивно вплинути на експлуатаційні характеристики обладнання, зокрема на вагу, транспортування та монтаж. Легші конструкції полегшують процес встановлення і зменшують навантаження на опорні конструкції.

Формула для розрахунку матеріалоемності має вигляд:

$$\varepsilon_{mat} = \frac{M}{Q_m \cdot H_m}$$

де, Q_m – витрата рідини в розрахунковій точці, м³/год;

H_m – напір в розрахунковій точці, м;

M – маса насоса, кг.

Показники енергоспоживання (ε_{ef}) та матеріалоемності (ε_{mat}) є основними критеріями оцінки насосного обладнання у багатьох галузях. Вони дозволяють:

- визначити ефективність використання електроенергії насосом;
- оцінити конструктивну раціональність насоса;
- порівняти різні моделі насосів за експлуатаційними характеристиками;
- обґрунтовано вибрати оптимальне насосне обладнання для конкретних умов експлуатації;
- прогнозувати витрати на технічне обслуговування та ремонт насосного обладнання;
- оцінювати вплив насоса на загальну ефективність технологічного процесу.

Застосування цих показників у дослідженнях насосного обладнання дозволяє оптимізувати як енергетичні, так і матеріальні витрати, що в свою чергу сприяє зниженню експлуатаційних витрат. Використання цих формул дає змогу приймати обґрунтовані інженерні рішення щодо модернізації насосного обладнання та впровадження нових технологічних рішень у промисловості.

В таблиці 1 представлені характеристики насосів лінійки ЦНС 180.

У статті (Kulikov et al., 2024) детально розглядаються переваги використання контрроторних технологій у насособудуванні, зокрема вплив на напірні характеристики та енергоефективність у порівнянні з традиційними насосами типу ЦНС. В дослідженні порівнювались характеристики контрроторного ступеня у складі з відповідним пристроєм з різними напірними характеристиками насоса ЦНС. Представлені результати експериментальних

Характеристики насосів лінійки ЦНС 180
(Nasos TsNS 180-383; Bahatostupenevi sektsiini nasosy; Nasos TsNS 180-340)

Модель насоса ЦНС	180–425	180–383	180–340	315–297
Потужність, кВт	297	268	238	300
Частота обертання, об/хв	1475	1475	1475	1480
ККД, %	70	70	70	75
Вага, кг	1680	1550	1420	1930
Кавітаційний запас	6	6	6	3,5
Призначення насоса	Для чистої рідини			
Напір	425	383	340	286
Подача	180	180	180	180
Допустимі механічні присадки, %	0,1	0,1	0,1	0,1

досліджень демонструють переваги контрроторного підходу у насосних системах. Окрім того, у статті висвітлено перспективи подальшого розвитку контрроторних технологій у контексті сучасних тенденцій промисловості. Базуючись на проведених дослідженнях були проаналізовані характеристики матеріалоемності та показник енергоспоживання насосів та проведене порівняння.

За попередніми розрахунками контрроторний консольний насос має вагу 325 кг. В протизвагу, консольний

насос з параметрами $H = 120$ м, $Q = 180$ м³/год важитиме 275 кг (Konsolnyi nasosnyi; Kupyty Atmos).

Результати. З дослідження (Kulikov et al., 2024) зняті напірно-енергетичні характеристики, а саме напір, потужність та ККД насосів лінійки ЦНС 180–425; ЦНС 180–383; ЦНС 180–340 та ЦНС 180–297 з кроком 10 м³/год. Для кожного розрахункового режиму визначений показник матеріалоемності та показник енергоспоживання. Всі значення занесені до табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Характеристики насосів ЦНС 180–425 та 180–383

ЦНС 180–425						ЦНС 180–383					
Подача Q, м ³ /год	Напір H, м	Потужність N, кВт	ККД η	$\xi_{\text{еф}}$	$\xi_{\text{мат}}$	Подача Q, м ³ /год	Напір H, м	Потужність N, кВт	ККД η	$\xi_{\text{еф}}$	$\xi_{\text{мат}}$
0	490	100	0	X	X	0	440	90	0	X	X
10	494	117	0,12	23,684	32,794	10	442	104	0,12	23,529	34,095
20	497	133	0,21	13,380	16,298	20	444	119	0,21	13,401	16,971
30	498	147	0,29	9,839	10,843	30	445	133	0,29	9,963	11,288
40	500	161	0,36	8,050	8,100	40	445	146	0,36	8,202	8,466
50	498	175	0,41	7,028	6,506	50	446	156	0,41	6,996	6,758
60	497	188	0,46	6,304	5,433	60	444	168	0,46	6,306	5,657
70	494	199	0,5	5,755	4,685	70	442	179	0,5	5,785	4,871
80	492	209	0,53	5,310	4,116	80	440	188	0,53	5,341	4,281
90	488	220	0,56	5,009	3,689	90	437	198	0,56	5,034	3,832
100	485	229	0,59	4,722	3,340	100	434	206	0,59	4,747	3,472
110	481	238	0,61	4,498	3,062	110	430	214	0,61	4,524	3,186
120	475	248	0,63	4,351	2,842	120	425	223	0,63	4,373	2,955
130	470	257	0,65	4,206	2,651	130	419	230	0,65	4,223	2,767
140	463	265	0,66	4,088	2,499	140	412	238	0,66	4,126	2,613
150	455	273	0,67	4,000	2,374	150	407	246	0,67	4,029	2,468
160	445	281	0,68	3,947	2,275	160	399	253	0,68	3,963	2,361
170	437	290	0,69	3,904	2,181	170	392	260	0,69	3,902	2,261
180	425	300	0,7	3,922	2,118	180	383	268	0,7	3,887	2,186
190	410	308	0,7	3,954	2,080	190	368	277	0,7	3,962	2,155
200	395	318	0,69	4,025	2,051	200	355	284	0,69	4,000	2,123
210	375	327	0,69	4,152	2,057	210	335	293	0,69	4,165	2,142
220	350	337	0,68	4,377	2,104	220	313	302	0,68	4,386	2,188

Характеристики насосів ЦНС 180–340 та 180–297

ЦНС 180–340						ЦНС 180–297					
Подача Q, м³/год	Напір Н, м	Потужність N, кВт	ККД η	ε _{еф}	ε _{мат}	Подача Q, м³/год	Напір Н, м	Потужність N, кВт	ККД η	ε _{еф}	ε _{мат}
0	389	80	0	X	X	0	339	69	0	X	X
10	392	93	0,12	23,724	35,561	10	342	81	0,12	23,684	37,632
20	394	105	0,21	13,325	17,690	20	343	91	0,21	13,265	18,761
30	395	117	0,29	9,873	11,764	30	344	102	0,29	9,884	12,471
40	396	130	0,36	8,207	8,801	40	345	112	0,36	8,116	9,326
50	395	140	0,41	7,089	7,058	50	345	121	0,41	7,014	7,461
60	394	150	0,46	6,345	5,897	60	344	131	0,46	6,347	6,235
70	392	158	0,5	5,758	5,080	70	343	138	0,5	5,748	5,360
80	390	168	0,53	5,385	4,468	80	342	146	0,53	5,336	4,704
90	389	176	0,56	5,027	3,982	90	340	152	0,56	4,967	4,206
100	387	182	0,59	4,703	3,602	100	339	159	0,59	4,690	3,796
110	383	191	0,61	4,534	3,309	110	336	166	0,61	4,491	3,482
120	380	197	0,63	4,320	3,057	120	333	172	0,63	4,304	3,221
130	374	205	0,65	4,216	2,867	130	330	178	0,65	4,149	3,000
140	369	211	0,66	4,084	2,698	140	325	185	0,66	4,066	2,829
150	363	218	0,67	4,004	2,560	150	319	191	0,67	3,992	2,690
160	356	224	0,68	3,933	2,447	160	312	196	0,68	3,926	2,578
170	348	231	0,69	3,905	2,356	170	305	203	0,69	3,915	2,482
180	340	238	0,7	3,889	2,278	180	297	208	0,7	3,891	2,407
190	328	246	0,7	3,947	2,237	190	286	215	0,7	3,957	2,368
200	316	252	0,69	3,987	2,206	200	274	221	0,69	4,033	2,349
210	299	262	0,69	4,173	2,220	210	258	229	0,69	4,227	2,375
220	279	269	0,68	4,383	2,271	220	243	236	0,68	4,415	2,407

Для контрроторного насоса було знято напірно-енергетичні характеристики з кроком подачі 36 м³/год. Робочі точки, отримані під час вимірювань, зафіксовано у табл. 4. Відповідно до цих даних для кожного робочого режиму було обчислено показник матеріалоемності та показник енергоспоживання.

З метою розширення аналізу та проведення більш детального порівняння контрроторного насоса не лише з насосами серії ЦНС, а й із консольними одноступеневими насосами, аналогічні розрахунки були виконані й для цієї групи обладнання. Усі отримані дані представлено в табл. 5.

Таблиця 4

Характеристика контрроторного відцентрового насоса

Подача Q, м³/год	Напір Н, м	Потужність N, кВт	ККД η	ε _{еф}	ε _{мат}
36	382	200	0,19	14,543	2,363
72	388	215	0,35	7,696	1,163
109	386	231	0,49	5,490	0,772
144	387	256	0,59	4,594	0,583
161	395	268	0,64	4,214	0,511
180	399	275	0,71	3,829	0,453
198	382	287	0,72	3,794	0,430
215	356	293	0,71	3,828	0,425
234	335	301	0,71	3,840	0,415
252	327	322	0,70	3,908	0,394
270	295	333	0,65	4,181	0,408
288	263	339	0,61	4,476	0,429
306	224	343	0,54	5,004	0,474
323	180	345	0,46	5,934	0,559

Характеристика консольного відцентрового насоса

Подача Q , м ³ /год	Напір H , м	Потужність N , кВт	ККД η	$\epsilon_{\text{эф}}$	$\epsilon_{\text{мат}}$
36	137	48,2	0,28	9,773	5,576
72	135	50,6	0,52	5,206	2,829
108	132	57	0,68	3,998	1,929
144	130	66,7	0,76	3,563	1,469
162	130	71	0,8	3,371	1,306
180	122	74,5	0,8	3,393	1,252
198	111	77,4	0,77	3,522	1,251
216	106	80,7	0,77	3,525	1,201
233	101	83,3	0,77	3,540	1,169
251	94	86	0,75	3,645	1,166

Обговорення. Аналізуючи характеристики насосів різного виконання, встановлено наступне.

Для кожного робочого режиму коефіцієнти життєвого циклу, а саме показник матеріалоемності та показник енергоспоживання, змінюються залежно від робочої точки. Важливо зазначити, що ці коефіцієнти мають певну закономірність у своїх змінах.

На початкових етапах роботи насоса ці коефіцієнти можуть мати відносно високі значення, що зумовлено відхиленням від оптимальних режимів роботи. Проте в міру наближення до точки з максимальним значенням коефіцієнта корисної дії (ККД) показник матеріалоемності та показник енергоспоживання поступово знижуються. Саме в цій точці вони досягають свого мінімального значення, що вказує на найбільш ефективний режим роботи насоса.

Після досягнення цієї оптимальної робочої точки коефіцієнти знову починають зростати. Це пояснюється тим, що при відхиленні від точки максимального ККД насос працює менш ефективно, що спричиняє підвищення енергоспоживання та матеріалоемності.

З метою порівняння ефективності представлених насосів були обрані оптимальні робочі токи з подачами 180 м³/год та 215 м³/год що становить $Q_{\text{ном}}$ та $1,2Q_{\text{ном}}$ відповідно. Коефіцієнти життєвого циклу насосів в оптимальних робочих точках представлено в табл. 6.

Аналіз даних табл. 6 показує те, що насоси серії ЦНС демонструють стабільний рівень енергоефективності, маючи показник 3,9. Контрроторний насос демонструє дуже близьке значення енергоефективності – 3,83, це обумовлено тим, що він лише трохи поступається насосам ЦНС за цим параметром.

Однак, якщо розглядати інший показник – коефіцієнт матеріалоемності, то тут ситуація суттєво змінюється.

Контрроторний насос значно випереджає насоси серії ЦНС, оскільки його коефіцієнт матеріалоемності складає всього 0,45. Це означає, що для його виробництва та експлуатації потрібно значно менше ресурсів, що робить його більш економічно вигідним. Для насосів ЦНС цей показник коливається в межах 2,1–2,4, це вказує на їхню більшу матеріалоемність і, відповідно, потенційно вищі витрати на виготовлення, транспортування та утилізацію.

Консольний насос має ще нижчий коефіцієнт енергоефективності порівняно з насосами ЦНС – 3,4. Проте в аспекті матеріалоемності він займає проміжну позицію: його коефіцієнт складає 1,2. Це краще, ніж у насосів ЦНС, що свідчить про меншу витрату матеріалів на його виготовлення, але водночас гірше, ніж у контрроторного насоса, який залишається беззаперечним лідером за цим показником.

Таким чином, можна зробити висновок, що контрроторний насос демонструє найбільш збалансоване поєднання високої енергоефективності та мінімальної матеріалоемності. Він вимагає найменше матеріальних ресурсів для виробництва та має один із найкращих показників енергоспоживання. З іншого боку, насоси серії ЦНС хоч і мають високу енергоефективність, проте значно поступаються за матеріалоемністю, що може стати важливим фактором під час вибору обладнання для конкретних умов експлуатації.

Висновок. Аналіз життєвого циклу насосів різного виконання дає змогу оцінити ефективність їхнього використання з точки зору енергоспоживання та матеріалоемності. Кожен із розглянутих типів насосів має свої переваги та недоліки, що визначає доцільність їх застосування в різних умовах експлуатації.

Контрроторний насос виявився найбільш збалансованим варіантом, оскільки поєднує високий рівень

Таблиця 6

Коефіцієнти життєвого циклу насосів

Подача Q, м³/год	ЦНС								Контрроторный насос		Консольный насос	
	180–425		180–383		180–340		180–297					
	ε _{эф}	ε _{мат}	ε _{эф}	ε _{мат}	ε _{эф}	ε _{мат}	ε _{эф}	ε _{мат}	ε _{эф}	ε _{мат}	ε _{эф}	ε _{мат}
180	3,92	2,12	3,89	2,19	3,89	2,28	3,89	2,41	3,83	0,45	3,39	1,25
215	4,15	2,07	4,17	2,14	4,17	2,22	4,23	2,38	3,83	0,43	3,56	1,20

енергоефективності з низьким рівнем матеріалоемності. Це означає, що для його виробництва потрібно значно менше матеріальних ресурсів, а експлуатація супроводжується нижчими витратами на енергію. Саме тому цей тип насоса може бути найбільш економічно вигідним вибором.

Насоси серії ЦНС, хоч і демонструють високу енергоефективність, мають значно вищий рівень матеріалоемності. Це може стати вагомим фактором, оскільки велика кількість матеріалів на їх виготовлення та подальша утилізація спричиняють додаткові витрати. Проте в ситуаціях, де першочерговим критерієм є максимізація ККД, насоси ЦНС залишаються конкурентоспроможними.

Консольний насос, у свою чергу, займає проміжну позицію за ключовими характеристиками. Його

коефіцієнт енергоефективності є нижчим, ніж у насосах ЦНС, однак він вигідніший з точки зору матеріалоемності.

Загалом, вибір оптимального типу насоса залежить від конкретних умов експлуатації та спеціальних вимог до промислового устаткування. Якщо основним критерієм є зниження матеріальних витрат, а також забезпечення високої енергоефективності, контрроторний насос є найбільш раціональним та збалансованим рішенням. Він поєднує мінімальні витрати матеріальних ресурсів із гарними показниками енергоспоживання, що робить його найкращим вибором у більшості випадків.

Фінансування. Цей проект отримав фінансування за програмою Європейського Союзу з досліджень та інновацій «Горизонт 2020» за грантовою угодою № 871072.

Бібліографічні посилання:

1. Bahatostupenevi sektsiini nasosy TsNS-180 [Multistage sectional pumps CNS-180] / UkrNasosServis. [https://ukrnasos.com.ua/pumps/bagatostup%D1%96nchast%D1%96-sekcz%D1%96jn%D1%96-nasosi-czns,-czns\(g\)/bagatostupinchastisekczjini-nasosi-czns-180](https://ukrnasos.com.ua/pumps/bagatostup%D1%96nchast%D1%96-sekcz%D1%96jn%D1%96-nasosi-czns,-czns(g)/bagatostupinchastisekczjini-nasosi-czns-180) (in Ukrainian)
2. Directive – 2009/125 – EN – EUR-Lex. (b. d.). The official portal for European data / data.europa.eu. <http://data.europa.eu/eli/dir/2009/125/oj>.
3. Directive – 2023/1791 – EN – eur-lex. (b. d.). EUR-Lex – Access to European Union law – choose your language. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:JOL_2023_231_R_0001&qid=1695186598766.
4. FluidFuture KSB: Konsultatsii z pytan enerhoefektyvnosti y optymizatsii nasosiv ta ustanovok. [KSB – leading supplier of pumps, valves and services] / KSB. <https://www.ksb.com/uk-ua/tehnichni-poslugi/konsultacii-ta-analiz/konsultacii-z-energoefektivnosti> (in Ukrainian)
5. Ivchenko, O., Andrusiak, V., Kondus, V., Pavlenko, I., Petrenko, S., Krupińska, A., Włodarczak, S., Matuszak, M., & Ochowiak, M. (2023). Energy efficiency indicator of pumping equipment usage. *Energies*, 16(15), 5820. <https://doi.org/10.3390/en16155820>
6. Kondus, V., Pavlenko, I., Kulikov, O., & Liaposhchenko, O. (2023). Development of a high-rotational submersible pump for water supply. *Water*, 15(20), 3609. <https://doi.org/10.3390/w15203609>
7. Konsolnyi nasosnyi ahrehat KM 150-125-250 z dvyhunom 18,5 kvт 1450 об.мyn. [Console pump unit KM 150-125-250 with 18.5 kW 1450 rpm engine] / Internet mahazyn nasosnoho obladnannia №1 Nep.ua. <https://nep.ua/konsolnye/km150-125-250-s-dvigatелеm-185-kvt-1450-obmin>
8. Kulikov, O., Ratushnyi, O., Ivchenko, O., Andrusiak, V., & Herasymenko, V. (2024). COMPARISON OF CHARACTERISTICS OF THE COUNTER-ROTOR STAGE WITH AVAILABLE CNA-180 LINE PUMPS. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, №3 (57), 10-17. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.2>
9. Kupyty Atmos GIGA-N 65/160-18,5/2 konsolnyi nasos Wilo so sklada – Politeх. [Atmos GIGA-N 65/160-18.5/2 console pump Wilo]. Politeх. <https://politeх.com.ua/atmos-giga-n-65-160-18-5-2-konsolnyy-nasos-wilo> (in Ukrainian)
10. Nasos TsNS 180-340 vidtsentrovyyi dlia vody. [Centrifugal pump CNS 180-340 for water] "TOV "TB "MAKS"" – kontakty, tovary, posluhy, tsyny. <https://nasos-2005.com.ua/p238745926-nasos-tsns-180.html> (in Ukrainian)
11. Nasos TsNS 180-383. [Central heating pump 180-383]. / SLЭMZ – Vidtsentrovi nasosy. Nasosy dlia vody. <https://konsolnik.com.ua/nasosy-sektsionnye-tsns-tsns-g/nasos-tsns-g-180-383/> (in Ukrainian)
12. Zakon Ukrainy «Pro enerhetychnu efektyvnist» [Law Of Ukraine «On Energy Efficiency»] / Ofitsiinyi vebportal parlamentu Ukrainy. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (in Ukrainian)
13. Pump life cycle costs: A guide to LCC analysis for pumping systems – executive summary. (2001). Office of Scientific and Technical Information (OSTI). <https://doi.org/10.2172/15008857>
14. Regulation – 547/2012 – EN – EUR-Lex. / The official portal for European data | data.europa.eu. <http://data.europa.eu/eli/reg/2012/547/oj>
15. Regulation – 641/2009 – EN – EUR-Lex. / The official portal for European data | data.europa.eu. <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/641/oj>
16. THE 17 GOALS / Sustainable Development. <https://sdgs.un.org/goals>
17. Yates, M. A., & Weybourne, I. (2001). Improving the energy efficiency of pumping systems. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 50(2), 101–111. <https://doi.org/10.2166/aqua.2001.0010>

Kulikov O. A., Research Assistant, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Ratushnyi O. V., PhD, Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine
Ivchenko O. V., PhD, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Andrusiak V. O., Research Assistant, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine
Herasymenko V. O. PhD, Associate Professor, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Counter-rotor pumps and other types of pumps: a comparative analysis of efficiency

Pumping equipment is a crucial element of many industrial and municipal systems, ensuring the transportation of liquids. Its efficiency directly affects the productivity of technological processes, energy consumption levels, and economic costs, making the selection of optimal pumping equipment a critically important task. Pumps can significantly impact overall operational efficiency, as their operating costs constitute a substantial portion of total energy expenses. That is why it is important to choose equipment that provides high efficiency, low energy consumption, and optimal performance.

Different types of pumping equipment have their design features that determine their efficiency in specific operating conditions. One of the most common types of pumps used in industrial processes is the multistage pump of the CNS type. Multistage pumps of the CNS type are used for transferring liquids under high pressure. Console pumps, on the other hand, stand out for their compactness and simple design.

Counter-rotor pumps, unlike the previous two types, have a unique design that combines the advantages of both multistage and cantilever pumps. Due to their special structure with two oppositely rotating impellers, they can provide a high head comparable to CNS-type pumps while maintaining the compact dimensions characteristic of cantilever pumps. This allows them to be used in situations where reducing the size of the pumping equipment is necessary without sacrificing efficiency.

This study presents a detailed analysis of the efficiency of different types of pumping equipment, specifically multistage CNS-type pumps, cantilever pump, and counter-rotor pump. The analysis is based on energy consumption and material intensity indicators, which enable a comprehensive evaluation of the operational and structural characteristics of the studied pumps. The research allows for an assessment of the advantages and disadvantages of each type of pumping equipment. The obtained results will help determine the feasibility of using counter-rotor pumps compared to other types of pumps, as well as evaluate their technical and economic aspects.

Key words: pump, energy consumption, material consumption, pressure-energy characteristics, multistage pump, cantilever pump, energy efficiency, equipment design, structural optimization.