

ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТРРОТОРНОГО СТУПЕНЯ З НАЯВНИМИ НАСОСАМИ ЛІНІЙКИ ЦНС-180¹

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 Олександрович

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

Контрроторні системи, що базуються на використанні двох роторів, які обертаються у протилежні сторони, викликають все більший інтерес у промислових галузях завдяки їх високій ефективності та здатності знижувати вібраційні навантаження. Це робить їх надзвичайно привабливими для багатьох секторів економіки, включаючи авіацію, суднобудування, автомобілебудування та енергетику, де надійність і енергоефективність відіграють ключову роль. У світі сучасних технологій, що стрімко розвиваються, контрроторний ефект пропонує унікальні можливості для оптимізації роботи обладнання, що відповідає зростаючим вимогам до якості та продуктивності. Така технологія також сприяє підвищенню загальної продуктивності, що важливо в умовах сучасних стандартів щодо енергозбереження.

У насособудівній промисловості контрроторні технології відкривають нові горизонти для розробки компактних і водночас високопродуктивних насосних систем. Завдяки двом роторним елементам, що обертаються в різні сторони, вдається досягти більш ефективного переміщення рідини, а також знизити енергетичні втрати. Це дає можливість зменшити габаритні розміри обладнання без втрати його потужності та надійності. З огляду на це, у статті особлива увага приділяється порівнянню контрроторних насосних систем з традиційними центробіжними насосами типу ЦНС, які широко використовуються у різних сферах. У статті наводяться дані про напірні характеристики та енергоефективність, що демонструють суттєву перевагу контрроторних систем у конкретних умовах експлуатації.

В експериментальній частині статті представлені результати тестування контрроторних ступенів з відповідними пристроями. Ці результати підтверджують, що така технологія не лише підвищує ефективність роботи насосів, але й дозволяє ефективно використовувати енергію, що є особливо важливим у сучасному контексті боротьби з енергетичними витратами.

¹ Цей проєкт отримав фінансування за програмою Європейського Союзу з досліджень та інновацій «Горизонт 2020» за грантовою угодою № 871072.

Таким чином, контрроторні системи являють собою перспективний напрямок у розвитку сучасного промислового обладнання, здатний забезпечити вищу продуктивність і енергоефективність при зменшенні вібрацій та навантажень. Продовження досліджень у цій сфері може привести до створення нових рішень, які сприятимуть подальшому вдосконаленню промислових процесів та обладнання, що використовуються в різних галузях.

Ключові слова: насос, контрроторний ступінь, напірно-енергетичні характеристики, багатоступеневий насос, проєктування, чисельне моделювання, розрахункова ступінь, прототип.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.2>

Вступ. Контрроторний ефект, заснований на принципі обертання двох роторів у протилежних напрямках, відкриває нові перспективи для підвищення ефективності та надійності в різних галузях промисловості. Зростання популярності цього підходу свідчить про його значний потенціал у вирішенні завдань, що стоять перед сучасними інженерами та технологіями. Технологія, яка раніше вважалася революційною, сьогодні впевнено інтегрується в повсякденні процеси у таких сферах, як авіація, суднобудування, автомобілебудування та енергетика.

В авіаційній промисловості контрроторний ефект дозволяє підвищити стабільність і керованість. У гелікоптерах з контрроторами (тобто з двома співвісними роторами, які обертаються в протилежні сторони) знижується або повністю усувається необхідність у використанні хвостового ротора. Це підвищує керованість літального апарату та зменшує його вібрацію. Збільшується вантажопідйомність завдяки більш рівномірному розподілу підйомної сили між двома роторами без значного збільшення маси самого літального апарату.

В енергетиці використання контрроторних систем у вітрових турбінах дозволяє збільшити ефективність енергогенерації за рахунок зменшення турбулентності і підвищення стійкості системи. Два ротори, що обертаються в протилежні сторони, дозволяють використовувати енергію вітру більш ефективно.

У суднобудуванні з контрроторними гребними гвинтами підвищується ефективність руху. Це відбувається завдяки зменшенню втрат енергії, які виникають через турбулентність, що утворюється від одного гвинта. Протилежний оберт другого гвинта компенсує цю турбулентність.

Однак саме у насособудівній промисловості контрроторний ефект виявляється особливо ефективним і перспективним, дозволяючи створювати насосні системи нового покоління з поліпшеними характеристиками.

Насоси є невід'ємною частиною багатьох технологічних процесів, забезпечуючи перекачування рідин у промислових і побутових системах. Від якості роботи насосів залежить не тільки ефективність роботи всієї системи, але й витрати на енергоспоживання, ремонт і обслуговування обладнання. У цьому контексті використання контрроторних насосів стає стратегічно важливим рішенням для багатьох підприємств. Завдяки своїй конструкції контрроторні насоси пропонують низку унікальних переваг, які роблять їх більш конкурентоспроможними в порівнянні з традиційними моделями.

Постановка проблеми. Для країн, що входять до складу Європейського Союзу розроблений комплекс заходів щодо зниження енергоспоживання. Стратегія

спрямована на зменшення споживання електричної енергії на рівні Європейського Союзу майже на 12% до 2030 року. «Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation».

Окремо 13 листопада 2021 року набрав чинності Закон України № 1818-IX "Про енергетичну ефективність". Зокрема, Закон стосується забезпечення енергоефективності у виробництві, транспортуванні, передачі, розподілі, постачанні та споживанні енергії. Закон імплементує Директиву ЄС 2012/27/ЄС про енергоефективність, Директиву 2009/125/ЄС про рамки для встановлення вимог до екодизайну для продуктів, пов'язаних з енергетикою, та Регламент (ЄС) 2017/1369, що встановлює рамки для енергетичного маркування не харчової продукції.

Саме тому насосні агрегати постійно модернізуються з метою зменшення енергоспоживання та матеріаломісткості шляхом зміни його дизайну, форми проточної частини, удосконалення робочого колеса, дослідження меридіонального перерізу міжлопатевої камери, тощо (Kondus et al., 2024; Pavlenko et al., 2023).

Для покращення передачі енергії від робочого органу до рідини в насособудуванні є відцентрові контрроторні насоси в яких контрроторний ефект наразі досліджується, та показує свою ефективність (Kulikov et al., 2021).

Використання контрроторного ефекту сприяє підвищенню напірності насосного агрегата в порівнянні зі звичайними насосами консольного типу. З метою дослідження залежності діаметрів контрроторних ступенів на їх напірно-енергетичні характеристики були проведені дослідження підрізки ступенів. В цих дослідженнях доведено, що при деяких параметрах підрізки робочого колеса, енергія, що отримує рідина використовується на створення закрутки потоку на вході в лопатовий тиск, а не напору, як такого (Pavlenko et al., 2023).

Проводилися дослідження контрроторних ступенів, що комбінувалися з закритих та напіввідкритих робочих колес та лопатевих дисків. Таке дослідження мало в собі мету зменшити об'ємні втрати в насосі, з метою збільшення загального коефіцієнта корисної дії (Kulikov et al., 2022).

Підвищення частоти обертання ротора також сприяє збільшенню напору насоса з одночасним зменшенням габаритних розмірів. Цей ефект був використаний при розробці високообертового занурювального насоса, основною вимогою якого є зменшені габаритні розміри та гарні напірно-енергетичні характеристики (Kondus et al., 2023).

Матеріали і методи досліджень. У роботі досліджувалась контрроторна ступінь з відповідним пристроєм, за

результатами якої були побудовані напірно-енергетичні характеристики. Робоче колесо контрроторної ступені становить базове робоче колесо насоса ЦНС 180-1900. Для дослідження було створено лопатевий до робочого колеса, що досліджувалась разом з відповідним пристроєм. Характеристики, що були отримані в результаті дослідження порівнювались з характеристиками наявних триступневих насосів ЦНС лінійки 180 м³/год.

Всього проводилося два етапи досліджень. На першому етапі за допомогою математичного моделювання були отримані значення напору, ККД та потужності в кожному розрахунковому режимі залежно від подачі для побудови характеристик.

На другому етапі отримані характеристики контрроторного ступеню з відповідним пристроєм порівнювались з характеристиками насосів ЦНС 180-383, ЦНС180-340 та ЦНС180-297.

Після проектування за допомогою програмного комплексу SolidWorks були створені моделі відповідних пристроїв. За допомогою програми ANSYS CFX створені моделі були розбиті на поверхні (рис. 1 а) та створені розрахункової сітки. Після чого для кожної моделі були задані умови входу, виходу, налаштування перекачуваного середовища та задавання конкретних приграничних умов такі як шорсткість стінок, частота обертання, параметри входу, виходу та ін. (рис. 1 б). Після чого проводився чисельний розрахунок контрроторних ступенів за допомогою програмного продукту ANSYS CFX, в якому моделювання турбулентного потоку рідини виконано за допомогою рівнянь Рейнольдса (Rzhebaeva et al., 2009; Cheng et al., 2020).

В основу даного програмного продукту ANSYS CFX закладений метод чисельного вирішення фундаментальних законів гідромеханіки: рівнянь руху в'язкої рідини спільно з рівняннями нерозривності. Це є достатньою умовою обґрунтованості застосування результатів чисельного дослідження. Слід зазначити, що ANSYS CFX неодноразово випробувався при вирішенні задач насособудування, розбіжність результатів чисельного і фізичного моделювання не перевищує 5%, тому даний

програмний продукт придатний для вирішення поставленого завдання дослідження (Kondus et al., 2018; Kondus et al., 2017).

Для швидкого розрахунку задачі, програма ANSYS CFX дозволяє використовувати вихідні дані попереднього розрахунку для проведення наступного. В нашому випадку, дослідження проводилися окремо один від одного. Тобто на результати кожного наступного дослідження не впливали вихідні показники, які були отримані в попередньому розрахунку. Це дозволило виключити похибки і не сумувати їх при проведенні досліджень.

Результати. За результатами досліджень значення напору потужності та коефіцієнту корисної дії в досліджуваних робочих точках були занесені до таблиці 1 за якими потім побудовано характеристику контрроторного ступеня з відповідним пристроєм (рис. 2).

Характеристика контрроторного ступеню плогопадаюча, без зони западання. Потужність при цьому має лінійну залежність. Максимальне значення к.к.д. склало 72% при подачі 120Q_{ном} або 215 м³/год. Це є гарним показником враховуючи те, що у відповідному пристрої втрачається найбільша кількість енергії. Робоча зона досліджуваної ступені порівняно з базовим робочим колесом насоса ЦНС змістилася в сторону більших подач. Замість 180 м³/год склала 198-215 м³/год.

Довготривала робота агрегату за рекомендаціями ISO 13709:2009 знаходиться в межах подач від 185 до 227 м³/год, що відповідає діапазону подач від 400м до 345м теоретично, або від 385м до 350м фактично. Фактичний режим роботи може бути збільшений не впливаючи на напірно-енергетичні характеристики агрегату. Верхня точка має наступні параметри: Q-180 м³/год, H-400м, η-71%. Нижня точка має наступні параметри: Q-252 м³/год, H-327м, η-70%.

На рисунку 3 наведена течія рідини в проточних частинах при різних подачах. Зі збільшенням подачі збільшується швидкість рідини в проточній частині. При номінальній подачі (рис. 3а), що складає 180 м³/год рідина розподіляється рівномірно, без вихроутворень. При подачі 215 м³/год (рис. 3б), що характеризується

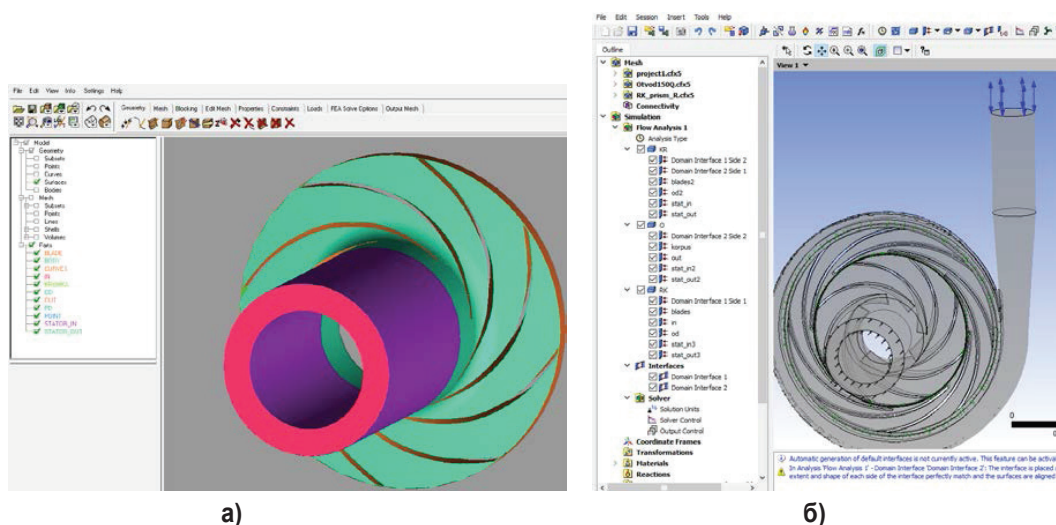


Рис. 1. Етапи проектування: генератор ICFM CFD (а) та препроцесор CFX (б)

Робочі точки контрроторного ступеня з відповідним пристроєм

Q _{ном}	20	40	60	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
H, м	382	388	386	387	395	399	382	356	335	327	295	263	224	180
N, кВт	200	215	231	256	268	275	287	293	301	322	333	339	343	345
Q, м ³ /год	36	72	109	144	161	180	198	215	234	252	270	288	306	323
η, %	0,19	0,35	0,49	0,59	0,64	0,71	0,72	0,72	0,71	0,70	0,65	0,61	0,54	0,46

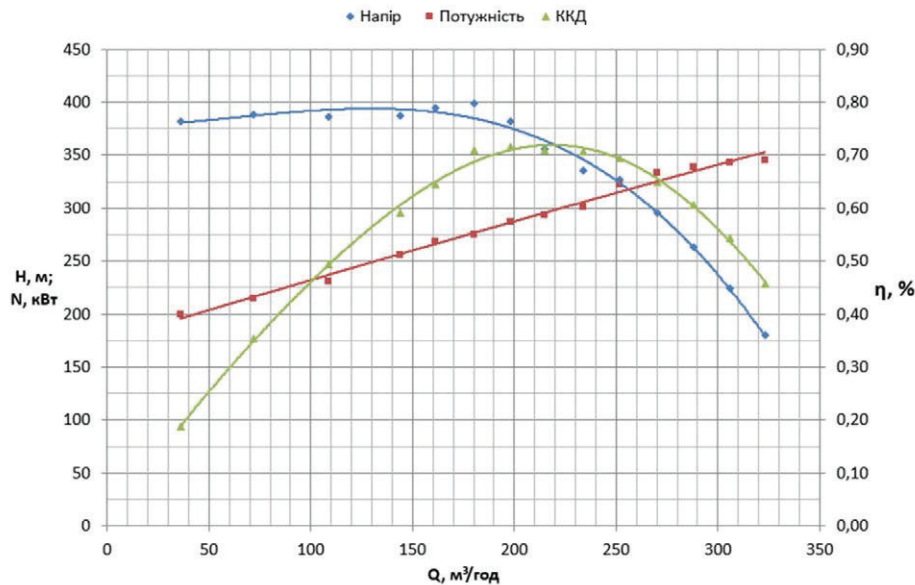
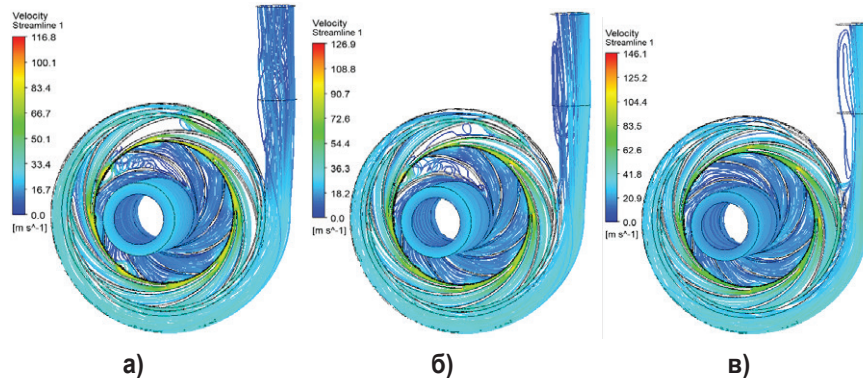


Рис. 2. Характеристика контрроторного ступеня з відповідним пристроєм

Рис. 3. Течія рідини у контрроторному ступені: а) при 180 м³/год; б) при 215 м³/год; в) при 270 м³/год

найвищим коефіцієнтом корисної дії, в робочому колесі та лопатевому диску течія рідини не змінюється, а у дифузорному каналі відповідного пристрою та напірному трубопроводі можна побачити незначне вихорутворення, спричинене великою швидкістю рідини. При збільшенні подачі до 270 м³/год (рис. 3в), швидкість рідини збільшується, та за рахунок відцентрових сил притискається до зовнішньої стінки відповідного пристрою. В результаті чого дифузорний канал має зону як підвищеного, так і зниженого тиску на протилежних його стінках. Це в свою чергу спричиняє вихорутворення, знижуючи загальний коефіцієнт корисної дії. Коефіцієнт корисної дії в цьому режимі склав 65%.

Обговорення. Так як базове робоче колесо, що знаходиться в контрроторних ступенях працює в насосах ЦНС з подачею 180 м³/год, то буде доцільно дану ступінь порівнювати з насосами ЦНС, що мають аналогічну характеристику подачі.

У світі існують триступеневі насоси ЦНС, що мають подачу 180 м³/год при частоті обертання 3000 об/хв, але вони не широко використовуються на вітчизняних виробництвах. Найпоширеніша лінійка цих насосів має дещо іншу частоту обертання, за рахунок чого кількість ступенів в такому насосі значно збільшується. Тому доцільно дану контрроторну ступінь порівнювати з цією лінійкою насосів.

На рисунку 4 наведена характеристика найпоширеніших насосів ЦНС 180-85...425 при частоті обертання 1475 об/хв.

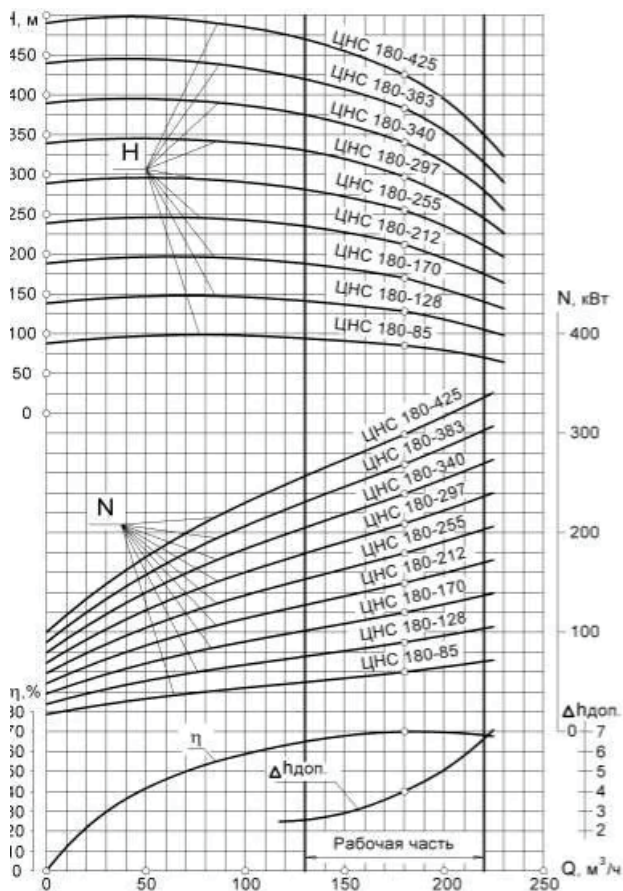


Рис. 4. Характеристика насосів ЦНС 180-85...425 при частоті обертання 1475 об/хв

Для порівняння характеристик були обрані наступні насоси ЦНС 180-425, ЦНС 180-383, ЦНС 180-340, ЦНС 180-297. Саме ці насоси найбільше підходять для порівняння характеристик.

Перше порівняння проводилося з насосом ЦНС 180-425 (рис. 5). Як можемо побачити з графіка, коефіцієнт корисної дії розрахункового контрроторного ступеня та насоса ЦНС 180-425 майже однаковий. Хоча розрахункова контрроторна ступінь має дещо більший ККД. Порівнявши потужності на робочих точках, можемо сказати, що вони виявилися однаковими. Хоча напірні характеристики прототипу виявилися дещо більшими, ніж характеристики розрахункового ступеню. Це можна пояснити тим, що енергія яка передається рідині в прототипі витрачається на створення напору, а в розрахунковому ступені на кількість перекачуваної рідини. Напір насоса ЦНС більше на 43м., потужність більша на 13 кВт, а подача менше на 18 м³/год.

Наступне порівняння проводилося з насосом ЦНС 180-383 (рис. 6). В цьому випадку потужність, що споживає розрахована ступінь дещо більше ніж потужність прототипу на 19 кВт. Напірні характеристики виявилися однаковими, хоча розрахована ступінь при малій різниці споживання потужності, здатна перекачати більшу кількість рідини. 198 м³/год замість 180 м³/год.

При порівнянні розрахованого контрроторного ступеня з насосом ЦНС 180-340 (рис. 7) можемо побачити значну зміну потужності, що споживається. Різниця складає 50 кВт. Хоча напірні характеристики та характеристики витрати розрахованої ступені виявляються кращі ніж прототипу. Напір розрахункової ступені виявився більшим на 42м. ніж порівняного з ним насосом.

При порівнянні останнього насосу ЦНС 180-297 (рис. 8) з розрахунковою ступеню, бачимо, що прототип має значно нижче напірні та енергетичні характеристики. Це було очікувано, так як розрахункова ступінь створює вищий напір та значно більшу подачу, ніж прототип. Різниця напору складає 85м. на користь розрахункової ступені. Що не можна сказати про потужність, яка виявилася більшою на 79 кВт.

Висновок. Використання контрроторного ефекту є перспективним напрямком у розвитку насособудування, що відкриває нові можливості для підвищення

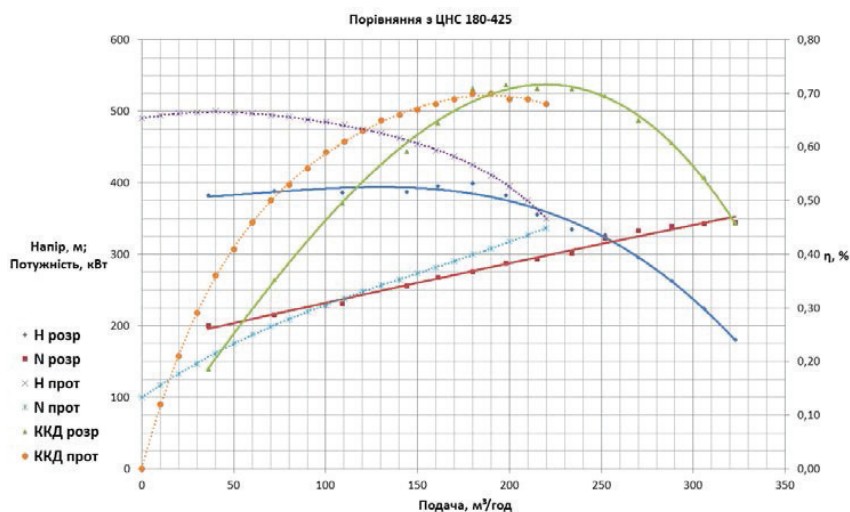


Рис. 5. Порівняння розрахункового контрроторного ступеня з насосом ЦНС 180-425

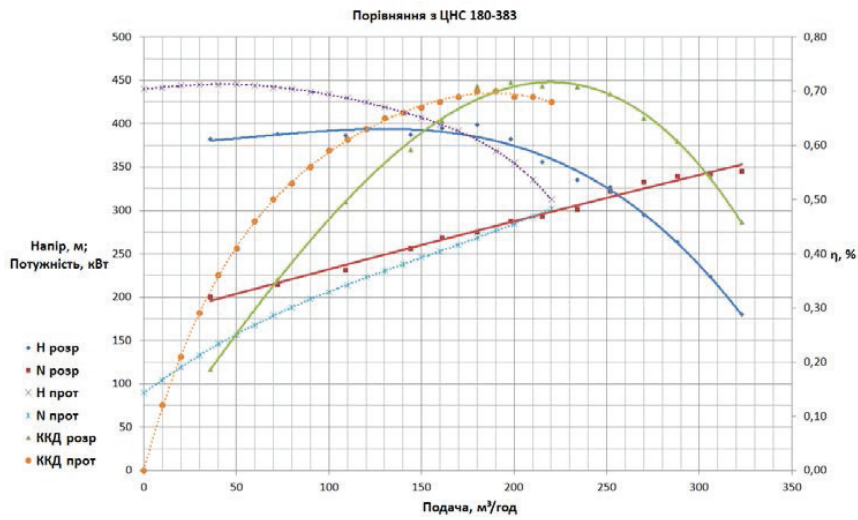


Рис. 6. Порівняння розрахункового контрроторного ступеня з насосом ЦНС 180-383

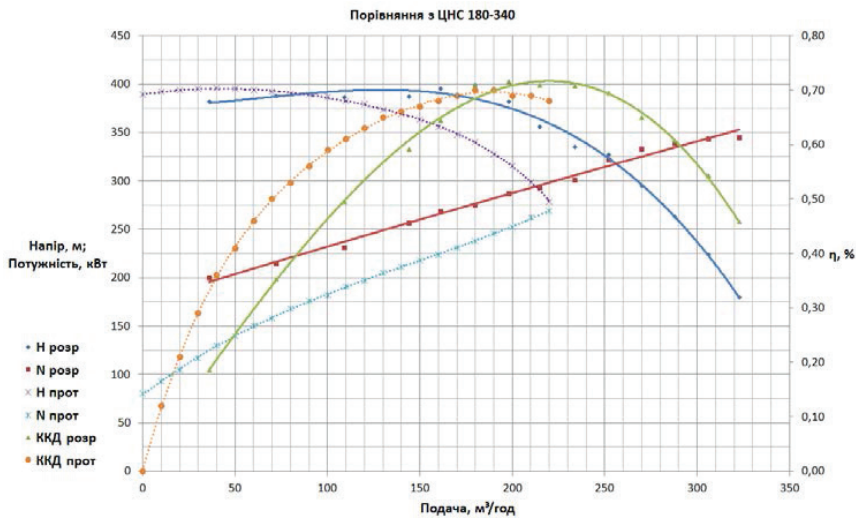


Рис. 7. Порівняння розрахункового контрроторного ступеня з насосом ЦНС 180-340

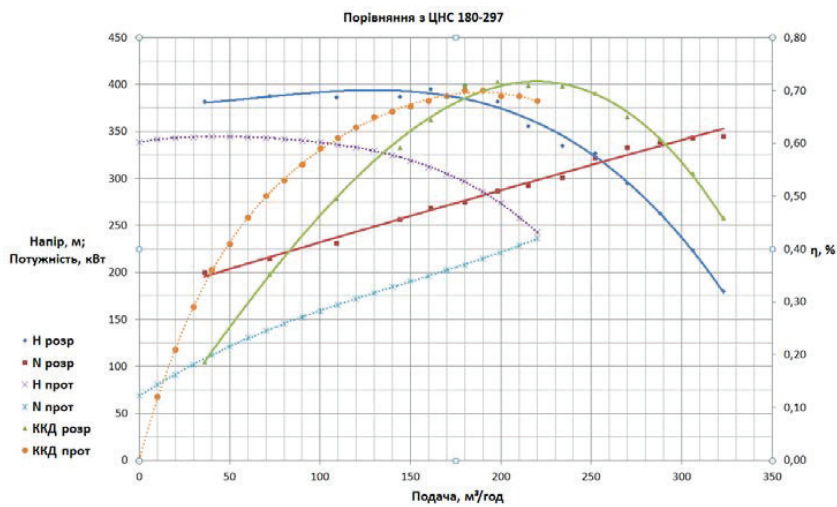


Рис. 8. Порівняння розрахункового контрроторного ступеня з насосом ЦНС 180-297

ефективності та надійності насосних систем. Запропонована контрроторна ступінь має ряд значних переваг, що роблять її конкурентоспроможною альтернативою традиційним багатоступеневим насосам типу ЦНС 180-383. Зокрема, така ступінь може замінити насос ЦНС, забезпечуючи при цьому дещо вищу потужність, що компенсується збільшеною подачею.

Серед ключових переваг використання контрроторної ступені слід виділити можливість зменшення кількості ступенів у насосі, що суттєво спрощує його конструкцію та знижує експлуатаційні витрати. Завдяки цьому, модернізація насосного обладнання з використанням контрроторних ступенів може призвести до значного зниження складності його обслуговування та ремонту, що особливо важливо в умовах промислових підприємств, де надійність та тривалість безперервної роботи насосів має вирішальне значення.

Контрроторна ступінь також відзначається високим коефіцієнтом корисної дії, що дозволяє ефективно використовувати електроенергію. Це, в свою чергу, сприяє економії енергоресурсів, що є важливим аспектом з огляду на сучасні вимоги до енергоефективності та екологічності промислових процесів.

Ще однією вагомою перевагою контрроторної ступені є її компактність. Насоси, побудовані на базі такої ступені, мають значно менші масо-габаритні розміри у порівнянні з традиційними насосами ЦНС. Це дозволяє зменшити простір, необхідний для їх встановлення.

Зменшення розмірів та ваги насосів також спрощує їх транспортування та монтаж, що позитивно впливає на зниження витрат на логістику та монтажні роботи.

Зменшення матеріаломісткості контрроторної ступені має значний вплив на зниження витрат на її виробництво. Використання меншої кількості матеріалів не тільки знижує собівартість виготовлення насосів, але й скорочує час, необхідний для їх виробництва. Крім того, зменшення кількості відходів на виробництві робить процес виготовлення насосів більш екологічно чистим, що відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку.

Таким чином, застосування контрроторної ступені є не тільки перспективним напрямком у розвитку насособудування, але й раціональним вибором для модернізації існуючих насосних систем. Висока ефективність, зниження експлуатаційних витрат, економія енергоресурсів, компактність та зменшення матеріаломісткості, а також впровадження таких технічних рішень сприятиме розвитку галузі насособудування в цілому, забезпечуючи її стале зростання та підвищення технологічного рівня.

З огляду на всі ці фактори, можна впевнено сказати, що контрроторні ступені мають значний потенціал для подальшого розвитку насособудування. Вони здатні не тільки підвищити ефективність роботи насосних систем, але й забезпечити істотне зниження витрат на їх експлуатацію, що робить їх привабливими для впровадження у виробництво.

Бібліографічні посилання:

1. Cheng, K., Wang, C., Fang, Y., & Wang, J. (2020). Calculation and analysis of stable operation of feed water pumps for floating nuclear power stations under marine conditions. *Journal of Physics: Conference Series*, 1600, 012077. doi:10.1088/1742-6596/1600/1/012077
2. Kondus, V., & Kotenko, A. (2017). Investigation of the impact of the geometric dimensions of the impeller on the torque flow pump characteristics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(1 (88)), 25–31. doi:10.15587/1729-4061.2017.107112
3. Kondus, V., Kalinichenko, P., & Gusak, O. (2018). A method of designing of torque-flow pump impeller with curvilinear blade profile. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(8 (93)), 29–35. doi:10.15587/1729-4061.2018.131159
4. Kondus, V., Pavlenko, I., Kulikov, O., & Liaposhchenko, O. (2023). Development of a high-rotational submersible pump for water supply. *Water*, 15(20), 3609. doi:10.3390/w15203609
5. Kondus, V., Pavlenko, I., Pitel, J., Kulikov, O., Rybalchenko, V., Ivanov, V., & Ciszak, O. (2024). Improvement of the sewage system for the nuclear power plant WWER-1000 reactor. *Advances in manufacturing IV* (с. 279–296). Cham: Springer Nature Switzerland. doi:10.1007/978-3-031-56463-5_21
6. Kulikov, A. A., Ratushnyi, A. V., Kovaliov, I. A., Mandryka, A. S., & Ignatiev, A. S. (2021). Numerical study of the centrifugal contra rotating blade system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1741, 012008. doi:10.1088/1742-6596/1741/1/012008
7. Kulikov, O., Ratushnyi, O., Moloshnyi, O., Ivchenko, O., & Pavlenko, I. (2022). Impact of the closed, semi-opened, and combined contra-rotating stages on volume loss characteristics. *Journal of Engineering Sciences*, 9(1), D6—D13. doi:10.21272/jes.2022.9(1).d2
8. Pavlenko, I., Ciszak, O., Kondus, V., Ratushnyi, O., Ivchenko, O., Kolisnichenko, E., & Ivanov, V. (2023). An increase in the energy efficiency of a new design of pumps for nuclear power plants. *Energies*, 16(6), 2929. doi:10.3390/en16062929
9. Pavlenko, I., Kulikov, O., Ratushnyi, O., Ivanov, V., Pitel, J., & Kondus, V. (2023). Effect of impeller trimming on the energy efficiency of the counter-rotating pumping stage. *Applied Sciences*, 13(2), 761. doi:10.3390/app13020761
10. Rzhebaeva N.K., Rzhebaev E.E. (2009). *Rozrakhunok ta konstruiuvannia vidtsentrovoykh nasosiv*. [Calculation and design of centrifugal pumps: a textbook]. Sumy State University, Sumy (in Ukrainian).

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

Comparison of characteristics of the counter-rotor stage with available CNA-180 line pumps

Counter-rotor systems, based on the use of two rotors that rotate in opposite directions, are of increasing interest in industrial sectors due to their high efficiency and ability to reduce vibration loads. This makes them extremely attractive to many sectors of the economy, including aviation, shipbuilding, automotive and energy, where reliability and energy efficiency play a key role. In the rapidly developing world of modern technology, the counter-rotor effect offers unique opportunities to optimize the operation of equipment that meets the growing demands for quality and productivity.

One of the main advantages of the counter-rotor technology is the significant reduction of vibrations that occur during the operation of the equipment. A balanced system with two rotors rotating in opposite directions helps to compensate for dynamic loads, reducing the risk of damage and extending the life of the systems. In addition, counter-rotor systems allow to increase the stability and controllability of mechanisms, which is especially important in such industries, where any deviation can lead to serious consequences. Such technology also contributes to an increase in overall productivity, which is important in the conditions of modern energy-saving standards.

In the pump industry, counter-rotor technologies open new horizons for the development of compact and at the same time high-performance pump systems. Thanks to two rotor elements rotating in different directions, it is possible to achieve more efficient movement of liquid, as well as to reduce energy losses. This makes it possible to reduce the overall dimensions of the equipment without losing its power and reliability. With this in mind, the article pays special attention to the comparison of counter-rotor pump systems with traditional centrifugal pumps of the CNA type, which are widely used in various fields. The authors of the article provide data on pressure characteristics and energy efficiency, which demonstrate a significant advantage of counter-rotor systems in specific operating conditions.

The experimental part of the article presents the results of testing counter-rotor stages with lead-off devices under different operating conditions. These results confirm that this technology not only increases the efficiency of pumps, but also allows efficient use of energy, which is especially important in modern realities. In addition, the article discusses the prospects for the development of counter-rotor systems, their possible implementation in various industries and further research in this direction.

Thus, counter-rotor systems represent a promising direction in the development of modern industrial equipment, capable of providing good productivity and energy efficiency while reducing vibrations and loads. Continuing research in this area can lead to the creation of new solutions that will contribute to the further improvement of industrial processes and equipment used in various industries.

Key words: Pump, counter-rotor stage, pressure-energy characteristics, multi-stage pump, projecting, numerical modeling, calculation stage, prototype.