

ВІДГУК

офіційного опонента Панченка Анатолія Івановича на дисертаційну роботу
Мілтих Вікторії Станіславівни
на тему «Підвищення енергоефективності насосної станції з насосами типу Д
впливом геометричних параметрів їх робочих коліс на форму напірної
характеристики»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Актуальність теми досліджень.

Проблема підвищення енергоефективності технологічних споживачів у різних галузях промисловості та сільського господарства завжди була дуже актуальною, а в нинішній час, особливо. Вирішення цієї проблеми вимагає комплексного підходу щодо впровадження вітчизняного наукоємного енергоспоживаючого обладнання, зокрема насосного. Зважаючи на фінансові можливості підприємств, наявність установленого на них обладнання, одним із шляхів зниження енергоспоживання є модернізація насосів, що експлуатуються, шляхом розробки і заміни лише їх робочих органів.

Тому, у представленій роботі розглядається актуальна задача підвищення енергоефективності функціонування насосної станції з насосами типу Д шляхом заміни існуючих робочих коліс на колеса спроектовані з наперед визначеною крутизною напірної характеристики. За результатами досліджень, проведених у рамках дисертаційної роботи отримано нові науково обґрунтовані результати, які вирішують науково-прикладну проблему подальшого розвитку науково-методичного забезпечення проектування насосного обладнання для підвищення енергетичної ефективності роботи насосних станцій з насосами типу Д шляхом визначення та узгодження форми напірних характеристик окремих насосів проектуванням змінних робочих коліс з наперед визначеною крутизною напірної характеристики.

Дисертаційна робота виконана на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету відповідно до науково-технічної програми Міністерства освіти і науки України. Результати роботи використані при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт «Створення ефективних енергозберігаючих систем опалення та гарячого водопостачання на базі багатofункціональних теплогенеруючих агрегатів» (№ ДР 0111U002153). Окремі положення дисертаційної роботи розроблялися при виконанні господарсько-договірної теми СумДУ (замовник Департамент інфраструктури міста Сумської міської ради, м. Суми) «Розроблення системи

енергоефективного функціонування КНС каналізаційного напірного колектору міста Суми з визначенням технічних характеристик насосного та технологічного обладнання, що використало свої технічні можливості», при проведенні робіт з теми «Розробка та впровадження енергозберігаючих заходів для підвищення енергоефективності роботи насосного агрегату насосної станції № 2 Власівського водозабору» (замовник КП «Кременчукводоканал», м. Кременчук).

Достовірність та ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Наукові положення, висновки та рекомендації, які викладені у роботі, є достовірними та науково обґрунтованими. Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій базуються на аналізі літературних джерел за даною проблемою, коректній постановці наукових задач, використанні сучасних методів дослідження, всебічному аналізі отриманих результатів і порівнянні їх з результатами інших дослідників.

Достовірність отриманих результатів підтверджується збіжністю числових результатів з експериментальними даними і результатами промислового впровадження, а також під час апробацій на науково-практичних конференціях. Все це дозволяє зробити висновок, що сформульовані автором висновки ґрунтуються на результатах досліджень та не викликають сумніву.

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше отримана математична залежність крутизни напірної характеристики від ширини робочого колеса на виході за умови незмінності інших геометричних розмірів елементів проточної частини насосів типу Д. Для коліс насосів типу Д з $n_s = 85 \dots 160$ вперше визначено діапазон зміни крутизни напірної характеристики, яка досягається зміною ширини робочого колеса на виході, за умови відхилення показників енергоефективності функціонування насоса у межах 5 % від їх номінальних значень.

Уточнено математичну модель функціонування насосної станції з насосами типу Д при використанні ступеневого регулювання її подачі, яка комплексно враховує характеристику гідравлічної мережі, форму напірної характеристики насоса та спосіб регулювання подачі насосної станції.

Вперше визначено вплив відносної ширини b_2/D_2 робочого колеса на енергетичні показники (потужності) робочого процесу у насосах типу Д з $n_s = 85 \dots 160$.

Практичне значення одержаних результатів.

Встановлено, що зі зменшенням відносної ширини робочого колеса b_2/D_2 , функція характеристики потужності зменшує швидкість зростання, а при деякому її значенні потужність починає зменшуватися у діапазоні подач більших за $Q_{розр}$. Обґрунтовано доцільність використання змінних робочих коліс зі зменшеним значенням його ширини на виході при модернізації насосів типу Д на насосних станціях водопостачання. Обґрунтовано використання теорії системного аналізу при виборі способу вирішення проблем, що виникають на насосних станціях водопостачання. Удосконалено методіку модернізації насосної станції водопостачання з метою підвищення енергоефективності її функціонування: обґрунтовано використання теорії системного аналізу при виборі способу вирішення проблем, що виникають на насосних станціях водопостачання; уточнено модель функціонування насосної станції з двома насосами типу Д при використанні ступеневого регулювання її подачі при змінному опорі мережі у часі; методіка проектування робочого колеса двостороннього входу доповнена залежністю крутизни напірної характеристики від ширини робочого колеса на виході. Застосування цієї методіки дозволить у подальшому проводити модернізацію насосної станції з насосами типу Д шляхом проектування змінного робочого колеса з наперед визначеною крутизною напірної характеристики.

Основні результати досліджень дисертації використані при проведенні робіт з модернізації насоса Д 3200-75-2 насосної станції № 2 «Власівського водозабору» КП «Кременчукводоканал» та в навчальному процесі СумДУ, що підтверджується відповідними актами.

Оцінка змісту роботи, її завершеність.

Дисертаційна робота Мілтих В.С. представляє собою закінчену наукову працю і складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 81 найменування на 10 сторінках та 3 додатків на 10 сторінках. Повний обсяг дисертації складає 132 сторінки та включає 48 рисунків, із яких 2 рисунка на окремих сторінках та 11 таблиць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано її мету та задачі, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи.

У **першому розділі** проаналізовано сучасний стан енергоспоживання насосним обладнанням в Україні та світі, розглянуто та досліджено існуючі проблеми функціонування насосних станцій, визначено основні причини неефективної їх роботи, а також розглянуті можливі шляхи їх вирішення.

У розділі звернута увага на те, що найбільш раціональною є модернізація існуючих насосних агрегатів шляхом заміни робочих коліс без зміни геометричних параметрів інших елементів їх проточних частин. Така модернізація дозволяє адаптувати параметри насоса під вимоги системи регулювання та узгодити витрату насосної станції з потребами мережі за визначених наперед вимог технологічних споживачів.

У відповідності до обраного способу регулювання подачі має бути визначена форма напірної характеристики. Проведений аналіз показав, що ефективність обраного способу регулювання подачі насоса у значній мірі залежить від крутизни його напірної характеристики K . Найбільший вплив на неї серед геометричних розмірів усіх елементів робочого колеса чинить кут нахилу лопаті на виході з робочого колеса β_2 та його ширина на виході b_2 . При цьому зазначено, що методика визначення ширини робочого колеса на виході b_2 в залежності від необхідної крутизни напірної характеристики насоса K відсутня. Цим визначено необхідність проведення подальших досліджень щодо впливу геометричних параметрів робочого колеса двостороннього входу на крутизну його напірної характеристики шляхом проведення однофакторного числового дослідження робочого процесу з варіюванням лише ширини робочого колеса на виході.

У **другому розділі** визначено та обґрунтовано методику проведення однофакторного числового дослідження впливу геометричних параметрів робочого колеса двостороннього входу на крутизну його напірної характеристики, умови та засоби проведення такого експерименту.

Для дослідження були спроектовані робочі колеса з різною шириною на виході b_2 насосів Д 3200-75-2, Д 6300-80-2, СЕ 2500-180, СЕ 2500-180-8, Д 6300-27-3. Частина досліджень проведено для трьох модифікацій робочого колеса насоса Д 3200-75-2, у яких було змінено тільки кут нахилу лопаті на виході з робочого колеса β_2 , усі інші геометричні його параметри було збережено.

Для визначення можливості та коректності застосування числового моделювання для дослідження робочого процесу насосів типу Д використано метод порівняння результатів фізичного та числового експериментів на прикладі насоса Д 6300-80-2.

Результати проведеного числового моделювання робочого процесу робочих коліс двостороннього входу представлені у **третьому розділі**. За отриманими даними встановлено залежність між шириною робочого колеса (насосів типу Д) на виході b_2 та крутизною його напірної характеристики K і визначено інтегральний вплив геометричних параметрів інших елементів проточної частини насосів типу Д на крутизну їх напірної характеристики.

У розділі, за результатами проведених досліджень, визначено діапазони зміни крутизни напірної характеристики при зміні відносної ширини робочого колеса b_2/D_2 у межах 5 % зміни ККД ($\eta_{max} - 0,05 \eta_{max}$).

Проведені дослідження робочого процесу насосів шляхом постановки числового експерименту з урахуванням інтегрального впливу інших геометричних параметрів елементів проточної частини насоса, дали можливість оцінити кінцеву зміну крутизни їх напірної характеристики.

Оцінювання енергоефективності робочого процесу насосів при різних значеннях b_2/D_2 їх робочих коліс показує, що шляхом варіювання зміни їх ширини на виході можна змінювати не тільки крутизну напірної характеристики та напір, а й підвищувати енергоефективність робочого процесу.

Одержані дані мають враховуватися при проведенні модернізації зазначеного насосного обладнання шляхом модернізації заміною робочих коліс з метою підвищення енергоефективності його функціонування.

У **четвертому розділі** проаналізовано результати дослідження щодо узгодження напірних характеристик насосів типу Д з $n_s = 90 \dots 105$ на прикладі насосів Д 4000-95-2 та Д 3200-75-2, що мають працювати паралельно на одній насосній станції, для сумісної їх роботи на мережу. Узгодження їх напірних характеристик проведено шляхом заміни робочого колеса насоса Д 3200-75-2. Модернізація оригінального робочого колеса проведена зміною ширини з $b_2 = 59,6$ мм на $b_2 = 37,9$ мм. Оцінювання енергоефективності функціонування насосних агрегатів проведено на основі розрахункових та реальних значень питомих витрат електроенергії на перекачування 1 м^3 рідини.

За рахунок зміни ширини робочого колеса на виході збільшено крутизну напірної характеристики насоса Д 3200-75-2, і тим самим проведено узгодження напірних характеристик насосів для їх сумісної паралельної роботи на мережу за визначеної робочої точки насосної станції.

Згідно розрахунків, питомі витрати електроенергії при модернізації насоса шляхом зміни D_2 робочого колеса мають становити $0,19 \text{ кВт/м}^3$, а при зміні значення b_2 розрахункові питомі витрати становлять $0,167 \text{ кВт/м}^3$, що на 8 % менше. Фактичні питомі витрати електроенергії (за результатами проведених випробувань на місці експлуатації) становлять $0,174 \text{ кВт/м}^3$.

Отже, результати експериментальних досліджень підтвердили положення роботи щодо доцільності модернізації насосних агрегатів шляхом використання змінного робочого колеса зі зменшеним значенням його ширини на виході. Використання такого робочого колеса дозволяє отримати більше значення крутизни напірної характеристики без зниження ККД насосного агрегату та підвищити енергоефективність його робочого процесу.

П'ятий розділ присвячено методиці вирішення проблем функціонування насосних станцій, як технічно складних систем, з використанням методів вирішення проблем «оптимальне рішення» та «абсолютне рішення» теорії системного аналізу. Ця методика передбачає використання методу розрахунку робочого колеса з наперед визначеною крутизною напірної характеристики насоса. Застосування методики дозволяє проводити проектування змінних робочих коліс насосів типу Д при одночасній зміні крутизни напірної характеристики.

Існуючу математичну модель функціонування насосної станції з насосами типу Д при використанні ступеневого регулювання її подачі (за умови матеріального та енергетичного балансу системи «насосна станція - мережа»), яка комплексно враховує характеристику гідравлічної мережі та спосіб регулювання подачі насосної станції, доповнено математичною залежністю крутизни напірної характеристики від ширини робочого колеса на виході для врахування форми напірної характеристики при виконанні її модернізації

Повнота опублікованих основних результатів дослідження.

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно викладені у 10 наукових працях, з них: 5 робіт опубліковано у наукових фахових виданнях, які входять до затвердженого переліку (у тому числі 2 публікації у виданнях, що індексуються у міжнародній наукометричній базі Scopus), також опубліковані тези 5 доповідей на науково-технічних конференціях.

Рівень і кількість публікацій, а також апробація матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України, що ставляться до кандидатських дисертацій.

Відповідність автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату достатньо повно відображає основний зміст, основні положення та результати дисертаційної роботи, висновки в дисертації та в авторефераті повністю співпадають.

Загальні зауваження до дисертаційної роботи.

1. В авторефераті у формулюванні мети роботи пропущене словосполучення «проектування насосного обладнання», хоча в дисертаційній роботі воно присутнє і надає формулюванню мети: «Метою дисертаційної роботи є подальший розвиток науково-методичного забезпечення проектування насосного обладнання для підвищення енергетичної ефективності роботи насосних станцій з насосами типу Д шляхом визначення та узгодження форми напірних характеристик окремих насосів проектуванням

змінних робочих коліс з наперед визначеною крутизною напірної характеристики»

2. Обґрунтовуючи актуальність роботи, автор однією з причин неефективної роботи насосних станцій вбачає неможливість організації «гнучкого» регулювання подачі води насосами згідно нерівномірного графіку водоспоживання мережі (добового, тижневого, сезонного). Для вирішення цієї проблеми пропонує застосування ступінчатого регулювання з використанням групи одночасно працюючих насосів зі змінним робочим колесом одного або декількох насосів. Однак таке регулювання має свої вади з точки зору енергоефективності роботи насосної станції. Сучасним і досить ефективним є регулювання подачі зміною обертів ротора насоса. Натомість, у дисертаційній роботі недостатньо приділено уваги застосуванню комбінації цих методів регулювання для зміни подачі насосної станції.

3. У третьому розділі говориться, що при проектуванні робочого колеса з наперед визначеною крутизною напірної характеристики необхідно враховувати коефіцієнт Δ (ф-ла 3.25), що характеризує інтегральний вплив геометричних параметрів проточної частини насоса. Проте аналітичний вираз визначення цього коефіцієнта не надано.

4. Результати досліджень дисертаційної роботи обмежені лише напірними та енергетичними характеристиками (рис. 4.3, 4,4), при цьому не зроблено спроби оцінки впливу результатів модернізації вихідної частини робочого колеса на кавітаційні характеристики досліджуваних насосів.

5. У розділі Висновки (стор. 112) автор стверджує про підвищення енергоефективності функціонування насосної станції з насосами типу Д шляхом заміни їх робочих коліс на нові, спроектовані з наперед визначеною крутизною напірної характеристики, але не приводить кількісну оцінку підвищення енергоефективності функціонування саме насосної станції, а лише окремих насосів.

6. У тексті дисертації є постійно повторювана граматична помилка: слова «напередвизначений» написані разом (наприклад, стор. 12), хоча правильно писати їх окремо «наперед визначений» як в авторефераті.

Вказані зауваження стосуються окремих деталей дослідження і не знижують наукового та практичного рівня дисертаційної роботи в цілому та не впливають на позитивну оцінку роботи.

Висновок.

Дисертаційна робота Мілтих Вікторії Станіславівни «Підвищення енергоефективності насосної станції з насосами типу Д впливом геометричних

параметрів їх робочих коліс на форму напірної характеристики» є завершеною науково-дослідною роботою, що має теоретичне та практичне значення, містить нові рішення актуальної науково-практичної задачі, сутність якої полягає у підвищенні енергоефективності функціонування насосної станції з насосами типу Д шляхом заміни їх робочих коліс на нові, спроектовані з наперед визначеною крутизною напірної характеристики. Актуальність, практичне значення, новизна і закінченість досліджень, обґрунтування та достовірність висновків заслуговують позитивної оцінки.

Зміст і структура дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

В цілому дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», що висуваються до кандидатських дисертацій, профілю спеціалізованої вченої ради К 55.051.03 у Сумському державному університеті, а здобувач Мілтих Вікторія Станіславівна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри мобільних енергетичних
засобів Таврійського державного
агротехнологічного університету



А.І. Панченко

Підпис Панченка А.І. засвідчую
Начальник відділу кадрів



А.В. Терещенко