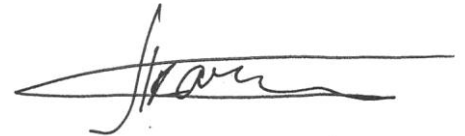


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ткач Павло Юрійович



УДК 621.65

**ВПЛИВ НАДРОТОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ШНЕКУ НА КАВІТАЦІЙНО-
ЕРОЗІЙНІ ЯКОСТІ ШНЕКОВОВІДЦЕНТРОВОГО СТУПЕНЯ НАСОСА**

05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті атомного і енергетичного насособудування (АТ «ВНДІАЕН»).

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Єлін Олександр Валерійович.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Роговий Андрій Сергійович
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, професор кафедри
теоретичної механіки та гідравліки;

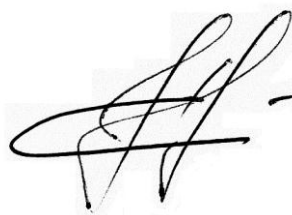
кандидат технічних наук,
Лугова Світлана Олегівна
АТ «Сумський завод «Насосенергомаш»,
завідуюча відділом проточних частин.

Захист відбудеться «14» грудня 2018 р. о 13⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.03 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розісланий: «13» листопада 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Є.М. Савченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з центральних проблем сучасності є проблема дефіциту енергетичних ресурсів. Виходячи з цього, одним з основних завдань України і світу в цілому є суттєве зменшення їх неефективного споживання. Як відомо, насосне обладнання використовується практично в усіх галузях промисловості і, за різними оцінками, споживає від 20 до 25 % усієї електричної енергії, що виробляється в світі, а в деяких галузях цей показник сягає 50 %. Для підвищення енергоефективності під час експлуатації насосного обладнання при його виборі використовується розрахунок вартості життєвого циклу насоса, що складається з собівартості, витрат на його технічне обслуговування та на електроенергію, які в свою чергу суттєво залежать від вибору конструкції насоса.

Важливим показником, що обумовлює конструкцію насоса є його кавітаційна характеристика. Одним із ефективних шляхів покращення всмоктувальної здатності насоса є використання першого шнекововідцентрового ступеня. Його конструкція прийшла до насособудування промислових насосів з ракетної галузі, в якій зменшення масогабаритних характеристик завжди було першочерговою метою, і на сьогодні зазнала широкого застосування у багатьох конструкціях відцентрових насосів. Використання першого шнекововідцентрового ступеня дозволяє знизити масогабаритні характеристики насоса за рахунок можливості переходу на підвищену частоту обертання ротора. Також застосування шнекововідцентрового ступеня у складі вертикальних конденсатних та нафтових підірних насосів дозволяє зменшити заглиблення першого ступеня, і, відповідно, скоротити їх осьові габарити, а у живильних насосних агрегатах – позбутися необхідності використання бустерного насоса. Все це ілюструє можливості зменшення масогабаритних характеристик, а, відповідно, і собівартості насоса, яка є вагомою складовою у вартості життєвого циклу, за рахунок використання шнекововідцентрового ступеня у складі відцентрових промислових насосів.

При цьому існує проблема застосування першого шнекововідцентрового ступеня: у разі його використання в насосі основних пошкоджень від кавітаційної ерозії зазнає головна складова шнекововідцентрового ступеня – передвключене колесо. Виходячи з того, що вимоги до кавітаційної стійкості робочих органів з ростом подач відцентрових насосів стають все жорсткішими, очевидно, що досягнутих показників стійкості перших шнекововідцентрових ступенів до кавітаційної ерозії стає замало. Тому задача підвищення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконувалася згідно з планом науково-дослідних робіт АТ «ВНДІАЕН». Експериментальні роботи проводилися згідно додаткової угоди № 524 до договору № 2009 на виконання науково-дослідної роботи за темою «Дослідження впливу надроторних елементів шнеку на кавітаційно-ерозійні якості шнекововідцентрового ступеня». Внесок здобувача: участь у якості відповідального виконавця науково-дослідної роботи, проектування надроторних елементів, випробування шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами над передвключеним

колесом на експериментальному стенді, отримання характеристик ступенів, складання звіту про виконання науково-дослідної роботи.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – покращення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня за допомогою надроторних елементів та розроблення рекомендацій до їх проектування.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні задачі:

– розгляд шляхів підвищення кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня;

– розроблення фізичної моделі течії у шнекововідцентровому ступені з надроторними елементами;

– визначення оптимального поєднання геометричних параметрів надроторних елементів, які визначально впливають на кавітаційно-ерозійні якості шнекововідцентрового ступеня, за допомогою фізичного експерименту;

– розроблення рекомендацій до проектування надроторних елементів для шнекововідцентрових ступенів.

Об'єкт дослідження – робочий процес у проточній частині шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами.

Предмет дослідження – вплив геометричних параметрів надроторних елементів над передвключеним колесом у шнекововідцентровому ступені на його кавітаційно-ерозійні характеристики.

Методи дослідження. Аналітичний аналіз проводився з використанням матеріалів по дослідженню та експериментальному відпрацюванню модельних шнекововідцентрових ступенів в АТ «ВНДІАЕН».

Віртуальний експеримент проводився методом числового вирішення системи диференційних рівнянь, які описують фундаментальні закони гідромеханіки – рівняння руху в'язкої рідини разом з рівнянням нерозривності. Достовірність отриманих за допомогою віртуального експерименту даних підтверджена шляхом порівняння з результатами зондування течії у шнекововідцентровому ступені.

Фізичний експеримент, як складова частина проведеного дослідження, являв собою випробування шнекововідцентрового ступеня на експериментальному стенді АТ «ВНДІАЕН». Достовірність отриманих результатів забезпечувалась використанням загальноприйнятої в насособудуванні практики проведення фізичного дослідження, а також допустимою похибкою вимірювання фізичних величин.

Наукова новизна отриманих результатів:

– вперше у вітчизняному насособудуванні запропоновано розрахункову модель шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами, що включає в себе 3D модель розрахункової області, систему диференційних рівнянь, які описують усталену течію рідини в проточній частині, модель турбулентності, а також початкові та граничні умови, що дозволило провести віртуальний експеримент та отримати верифіковані результати;

– вперше, на основі отриманих завдяки віртуальному експерименту картин і параметрів течії, сформульовані положення фізичної моделі течії у проточній частині шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами;

– досліджено вплив геометричних розмірів надроторних елементів на характеристики шнекововідцентрового ступеня насоса, що дозволило вперше визначити оптимальні співвідношення геометричних параметрів надроторної втулки для поліпшення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня насоса зі збереженням напірної та енергетичної характеристик;

– вперше запропоновано модель оцінки порогового параметра кавітаційної ерозії при використанні надроторних елементів, що дозволяє на етапі проектування оцінити ефективність їх застосування.

Практичне значення одержаних результатів для насособудування полягає в наступному:

– запропоновано схему поліпшення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня за допомогою установки надроторних елементів, на яку отримано патент України на корисну модель;

– отримано значення порогового параметра кавітаційної ерозії $K_{en} = 23,5$, що доводить можливість підвищення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрових ступенів за допомогою надроторних елементів, а також дозволяє розширити діапазон роботи насоса зі шнекововідцентровим ступенем;

– розроблено рекомендації з проектування надроторних елементів для шнекововідцентрового ступеня, що дозволяє на стадії проектування визначити геометричні параметри надроторної втулки для підвищення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня.

Основні результати роботи впроваджені на підприємствах АТ «ВНДІАЕН», АТ «Сумський завод «Насосенергомаш» і в навчальний процес Сумського державного університету, що підтверджено відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Постановка задач досліджень виконувалася здобувачем спільно з науковим керівником. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно.

У друкованих працях, опублікованих особисто і у співавторстві, автору належать: [1, 4, 5, 9, 20] – обґрунтування доцільності використання шнекововідцентрового ступеня у складі відцентрового насоса та можливості застосування надроторних елементів для покращення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня; [2, 10, 11] – аналіз існуючих методів оцінки кавітаційно-ерозійних якостей перших ступенів насосів та вибір методики проведення дослідження; [3, 12, 15] – опис експериментальної установки та обґрунтування виду цільової функції залежності віброприскорення від кавітації для шнекововідцентрового ступеня зі змінними геометричними параметрами надроторних елементів за допомогою планування багатofакторного експерименту; [7, 8, 18, 19] – проведення експериментального дослідження та аналіз отриманих результатів; [13, 14, 16, 17] – проведення чисельного моделювання потоку рідини у шнекововідцентровому ступені, аналіз отриманих картин течій та формулювання фізичної моделі; [6] – розробка моделі оцінки порогового параметру кавітаційної ерозії при використанні надроторних елементів, рекомендації до їх проектування.

Апробація результатів дисертації.

Основні положення і результати дисертації доповідалися й обговорювалися на:

– XVIII–XXIII Міжнародних науково-практичних конференціях «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Київ, 2013 р., 2015 р., 2016 р., 2018 р.; м. Кіровоград, 2014 р.; м. Черкаси, 2017 р.);

– XVI Міжнародній науково-технічній конференції «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Суми, 2015 р.);

– II–IV Всеукраїнських міжвузівських науково-технічних конференціях «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 2013–2015 рр.);

– XV Міжнародній науково-технічній конференції «Герметичність, вібронадійність і екологічна безпека насосного і компресорного обладнання» «Гервікон + насоси 2017» (м. Суми, 2017 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 20 наукових робіт, серед яких 6 статей у фахових виданнях України (1 з яких входить до наукометричної бази Scopus), 1 стаття в закордонному виданні (входить до наукометричної бази Scopus), 1 стаття у складі збірника, тези 11 доповідей на науково-технічних конференціях, а також 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи складає 134 сторінки. Дисертаційна робота містить 45 рисунків, 18 з яких у додатку; 11 таблиць, з яких 1 таблиця в додатку; 4 додатки на 16 сторінках, список використаної літератури з 118 джерел на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проведення дослідження, спрямованого на отримання покращених кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня насоса за допомогою використання надроторних елементів шнеку. Сформульовані мета та задачі дослідження, наводиться загальна характеристика роботи.

У **першому розділі** викладені результати інформаційно-аналітичного огляду сучасного стану проблеми, пов'язаної з дослідженням кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня.

Конструкції насосів з першим шнекововідцентровим ступенем відомі вже більше ніж півсотні років і знайшли початок свого застосування у ракетно-космічній промисловості, оскільки їх використання дозволяє зменшити масогабаритні характеристики насосного обладнання, що так важливі у цій галузі. На сьогодні перший шнекововідцентровий ступінь застосовує велика кількість виробників насосного обладнання для насосів різного конструктивного виконання та призначення. Вагомою перевагою шнекововідцентрового ступеня перед відцентровим є його покращені кавітаційні характеристики, значення критичного кавітаційного коефіцієнту швидкохідності $C_{кр}$ шнекововідцентрового ступеня досягає рівня 3000, на відміну від відцентрового ступеня зі значенням $C_{кр} = 1000–1100$. На рисунку 1 представлено конструкцію шнекововідцентрового ступеня.

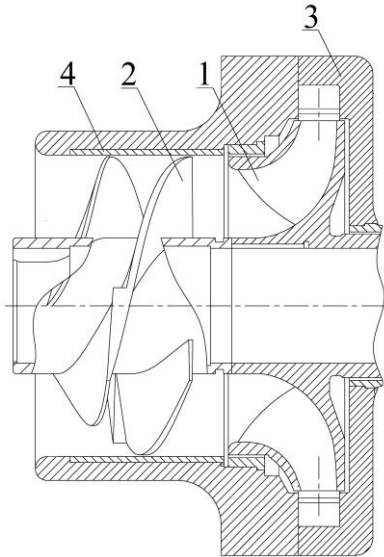


Рисунок 1 – Принципова схема шнековідцентрового ступеня:
 1 – відцентрове робоче колесо; 2 – передвключене колесо (шнек);
 3 – напрямний апарат; 4 – статорна втулка над передвключеним колесом

Основним недоліком шнековідцентрового ступеня є наявність складної просторової течії на вході, що проявляється у вигляді інтенсивних зворотних течій, які можуть приймати виражений нестационарний характер та негативно впливати на кавітаційно-ерозійні якості шнековідцентрового ступеня, що засвідчується у роботах Єршова Н.С., Боровського Б.І., Думова В.І., Щербатенко І.В. та ін. Також відомо, що основних пошкоджень від кавітаційної ерозії при використанні шнековідцентрового ступеня зазнає передвключене колесо (Карелін В.Я., Панайотті С.С., Шапіро А.С., Пірсол І., Гюйліх Й. та ін.), що проілюстровано на рисунку 2.

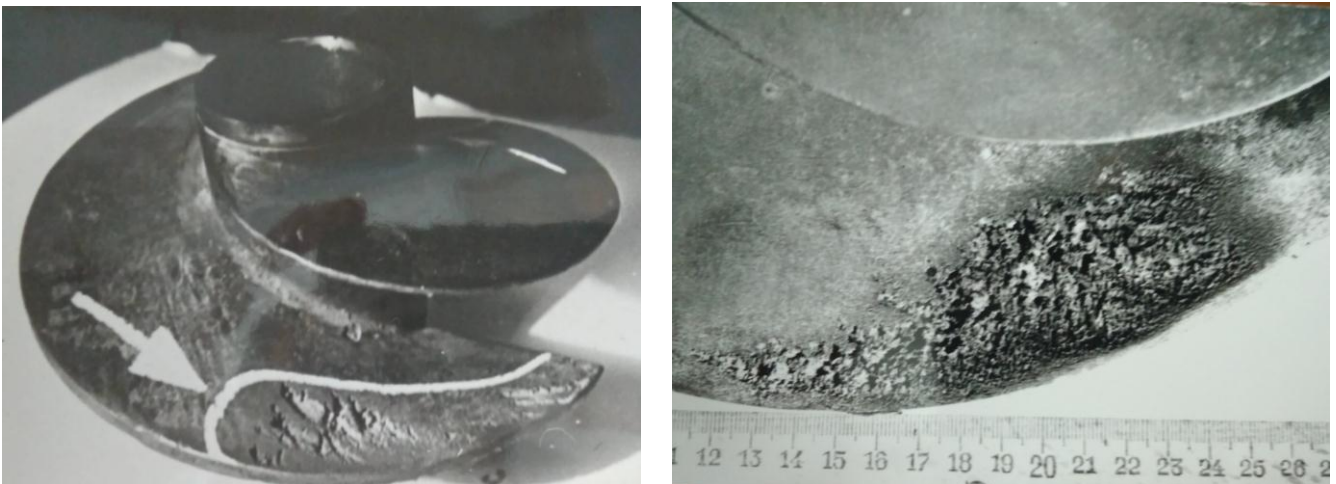


Рисунок 2 – Картини руйнувань передвключених коліс під впливом кавітаційної ерозії

Для того, щоб порівняти ступінь зносу від кавітаційної ерозії, необхідно визначити певний показник, вибір якого ускладнює широкий спектр особливостей

кавітаційного впливу і властивостей. Значний внесок у дослідження робочого процесу та природу кавітаційної ерозії у шнекововідцентрових ступенях зробили вітчизняні науковці Жуков В.М. та Куценко В.О. Так, Жуковим В.М. був запропонований параметр стійкості до кавітаційної ерозії K_e , який розраховується за формулою:

$$K_e = U_{uu} \cdot \sqrt{D_{uu}}, \quad (1)$$

де U_{uu} – колова швидкість на зовнішньому діаметрі лопатей передвключеного колеса, м/с; D_{uu} – зовнішній діаметр лопатей передвключеного колеса, м.

У разі, якщо величина параметра K_e менше деякого його порогового значення K_{en} – кавітаційна ерозія відсутня. У свою чергу порогове значення K_{en} залежить від режиму роботи, матеріалу і конструкції передвключеного колеса, середовища що перекачується та ін. У роботах Жукова В.М. та Куценко В.О. були отримані експериментальні значення параметру K_{en} , визначені для різних конструкцій передвключеного колеса зі сталі 20Х13Л та різних робочих рідин. Результати показали, що найбільш агресивною рідиною, з точки зору кавітаційно-ерозійного зношування, є холодна вода, а серед конструкцій передвключеного колеса можна виділити найбільш ефективну з точки зору стійкості до кавітаційної ерозії – це передвключене колесо з виступом на тильній поверхні лопаті зі значенням параметру $K_{en} = 20$, прийнятого за базове.

Аналіз літературних джерел говорить про те, що резерви покращення кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрових ступенів промислових насосів без суттєвого зниження величини $C_{кр}$ та економічності або збільшення габаритів лише за рахунок геометрії лопатевої системи передвключеного колеса майже вичерпані. Виходячи з цього, найбільш доцільним вбачається подальший пошук підвищення стійкості до кавітаційної ерозії передвключеного колеса за рахунок інших елементів шнекововідцентрового ступеня. Оскільки кавітаційна ерозія найчастіше проявляється на периферійних ділянках передвключеного колеса, що видно з рисунку 2, то в першу чергу увагу слід приділити цій області шнекововідцентрового ступеня, яка у традиційній конструкції являє собою гладку поверхню (рис.1). Існує ряд публікацій (Imamura H., Kurokawa J., Shimia N.), в яких досліджується вплив заміни гладкої поверхні над передвключеним колесом статорною втулкою, що має фігурні пази, на енергетичні та кавітаційні характеристики шнекововідцентрового ступеня. В дослідженнях на прикладі роботи насосів для ракетно-рідинних двигунів показано, що впровадження неглибоких повздовжніх пазів над передвключеним колесом дозволило отримати покращення кавітаційних характеристик насоса при незначному погіршенні економічних. У багатоступеневому промисловому насосі вдалося отримати покращення кавітаційних характеристик завдяки введенню п'ятизахідних гвинтових канавок, виконаних на внутрішній поверхні статорної втулки над передвключеним колесом. Автори цих публікацій висловлюють думку, що отриманий позитивний ефект від впровадження негладких статорних втулок пояснюється пригніченням вихрових структур та кавітаційних течій, зокрема зворотних течій, що виникають на вході у шнекововідцентровий ступінь, які, як відомо, є одними зі збудників погіршення

кавітаційно-ерозійних характеристик. Вищенаведені факти дозволили запропонувати впровадження надроторних елементів над передвключеним колесом для вирішення проблеми підвищення кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня.

Як правило, перші сліди кавітаційної ерозії в гідромашинах з'являються лише після так званого інкубаційного періоду, котрий може тривати десятки, а іноді й сотні годин. Така довга тривалість інкубаційного періоду дуже ускладнює можливість систематичних іспитів гідромашини на кавітаційне зношування для визначення її кавітаційно-ерозійної характеристики. Існує декілька методів оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин: метод, заснований на замірі кавітаційного шуму, шляхом заміру вібрації під час кавітаційних випробувань, замір довжини каверни, метод з використанням легкокоруйнівних лакофарбових покриттів, CFD методи та метод ресурсних випробувань.

З наведених методів для даного дослідження були обрані: CFD метод для можливості дослідження структури течії, метод заміру вібрації під час кавітаційних випробувань для отримання основних результатів, так як він дозволяє швидко та інформативно визначити кавітаційно-ерозійні якості шнекововідцентрового ступеня, і метод з використанням легкокоруйнівних лакофарбових покриттів для підтвердження отриманих результатів. Але при всіх своїх перевагах ці методи є непрямими і дають тільки якісну картину. Кількісну характеристику кавітаційно-ерозійних якостей можна отримати лише у результаті проведення ресурсних випробувань, однак вони потребують великих витрат часу та матеріальних ресурсів, тому не використовувались.

У другому розділі сформульовано мету роботи та задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети. Описано методи та способи проведення досліджень. У даній роботі використовувались традиційні методи досліджень проточної частини, а саме: аналітичні дослідження, віртуальний (ВЕ) і фізичний експерименти (ФЕ).

Оскільки достовірних методів оцінки кавітаційного руйнування за допомогою чисельного моделювання течії не існує, основною метою проведення ВЕ було отримання картин течії та формулювання положень фізичної моделі робочого процесу у каналах шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами, які б дозволили визначити геометричні параметри надроторних елементів, вплив яких необхідно враховувати при дослідженні за допомогою ФЕ. ВЕ складався з кількох етапів: створення рідкотільної геометричної моделі, що імітує об'єм рідини у каналах проточної частини ступеня, побудова розрахункової сітки, задання граничних умов, розрахунок та аналіз отриманих результатів. Для областей передвключеного і робочого коліс будувались неструктуровані розрахункові сітки з виділенням поблизу твердих стінок призматичних шарів. Для підводу та осьової ґратки будувались структуровані сітки. Загальна кількість елементів розрахункових сіток склала 4,87 млн. Моделювання течії проводилось у стаціонарній постановці, використовувалось однофазне середовище – вода при 25 °С на безкавітаційних режимах роботи. Режим течії – турбулентний, для замикання рівнянь Рейнольдса використовувалась стандартна $k-\epsilon$ модель турбулентності. На вході задавалася

величина масової витрати, на виході – величина статичного тиску. Для усіх стінок розрахункової області було задано умову рівності нулю швидкості (умова «прилипання»). Стінки були прийняті шорсткими, середнє арифметичне відхилення профілю (R_a) становило 3,2 мкм.

Вирішення решти задач проводилося експериментальним методом за допомогою ФЕ на модельному стенді АТ «ВНДІАЕН», що працює на технічній воді по замкнутій схемі циркуляції рідини, який дозволяє проводити енергетичні та кавітаційні випробовування досліджуваного шнекововідцентрового ступеня. Визначення напірних, енергетичних, кавітаційних та вібраційних характеристик у рамках даної роботи проводилося за загальноприйнятою методикою для динамічних насосів у відповідності до вимог нормативних документів. Засоби вимірювання пройшли атестацію і перевірку в установленому порядку. Розрахунки похибок визначення експериментальних параметрів досліджуваного ступеня свідчать про знаходження їх величин у допустимих межах.

За показник кавітаційно-ерозійних якостей досліджуваних шнекововідцентрових ступенів з негладкою статорною втулкою над передвключеним колесом використовувалось порогове значення параметра стійкості до кавітаційної ерозії K_{en} :

$$K_{en} = K_{en(\bar{\sigma})} \cdot \sqrt[3]{\frac{w_{k(\bar{\sigma})}}{w_{k(\bar{\sigma})}}}, \quad (2)$$

де $w_{k(\bar{\sigma})}$ і $w_{k(\bar{\sigma})}$ – значення віброприскорення від кавітації, для шнекововідцентрового ступеня, що досліджується, та для базового шнекововідцентрового ступеня з гладкою надроторною втулкою відповідно, м/с²; $K_{en(\bar{\sigma})}$ – порогове значення параметра кавітаційної ерозії для базового шнеку.

Розглянуто питання місця встановлення вібродатчику, що є важливим моментом, оскільки у залежність (2) входить відношення віброприскорення від кавітації, та вирішено розміщувати вібродатчик в експериментальному приладі безпосередньо на статорній втулці над передвключеним колесом (рис. 3).

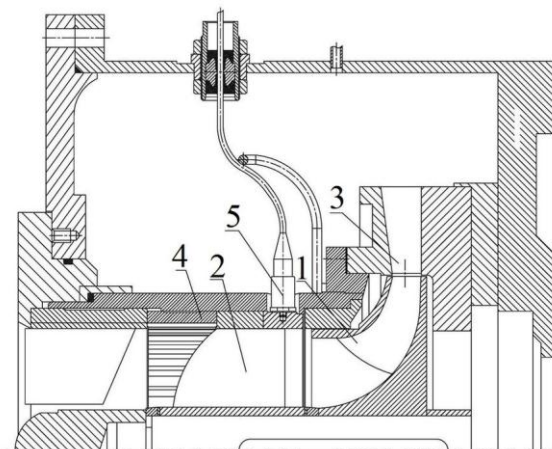


Рисунок 3 – Переріз насоса експериментального з установленим вібродатчиком:
1 – відцентрове робоче колесо; 2 – передвключене колесо; 3 – напрямний апарат;
4 – досліджувана надроторна втулка; 5 – вібродатчик

Проведено тестування методу оцінки кавітаційно-ерозійних якостей з використанням легкоруйнівних лакофарбових покриттів. За результатами тестування для виявлення місць, небезпечних з точки зору кавітаційної ерозії, серед випробуваних лакофарбових покриттів обрано емаль НЦ-132 червоного кольору. Було встановлено, що для досліджуваного шнековідцентрового ступеня режим з максимальною інтенсивністю кавітаційної ерозії становить $0,75Q_{ном}$ і час для отримання виразних характерних «слідів» механічної дії кавітації при використанні емалі НЦ-132 на цьому режимі складає 4 години.

У **третьому розділі** наведено результати розроблення фізичної моделі течії в досліджуваному шнековідцентровому ступені на режимах недовантаження. Як базова для аналізу вибрана подача $Q = 0,75Q_{ном}$, яка відповідає найбільш небезпечному режиму з точки зору руйнування від кавітаційної ерозії.

Головна негативна особливість робочого процесу шнековідцентрового ступеня – наявність складної просторової течії на вході. Вона проявляється у вигляді інтенсивних зворотних течій, які можуть набувати вираженого нестационарного характеру й призводити до низькочастотних автоколивань. Особливо виражено цей процес протікає на режимах недовантаження. У роботі Шапіро А.С. сформульовані основні особливості фізичної моделі течії у шнековідцентровому ступені, які можна зобразити наступним чином (рис. 4).

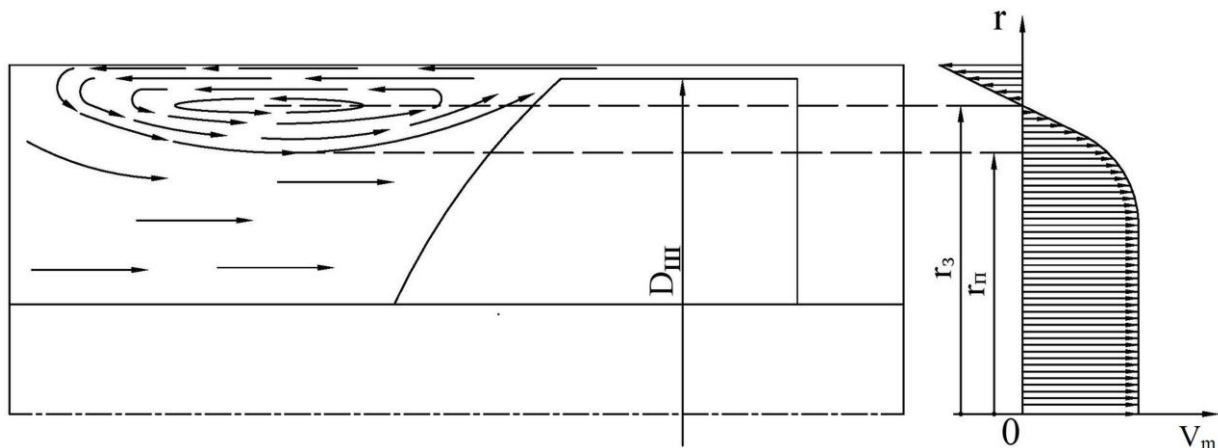


Рисунок 4 – Робочий процес у шнековідцентровому ступені на режимі недовантаження

Як видно з рисунку 4 на режимах недовантаження у шнековідцентровому ступені виникає зворотна течія, яка, поширюючись назустріч основному потоку, відтісняє основний потік до осі шнековідцентрового ступеня та закручує його. Область змішування зворотної течії з основним потоком є найбільш несприятливою з точки зору взаємодії потоку і лопатевої системи. Явища, що відбуваються в цій зоні впливають на інтенсивність кавітації і, отже, на інтенсивність кавітаційного руйнування. Таким чином, для зменшення кавітаційного руйнування необхідно або зменшити інтенсивність зворотних токів, або послабити їх вплив на основний потік.

Проведений ВЕ дозволив отримати картини течії у протічній частині шнековідцентрового ступеня без надроторних елементів та з ними (рис. 5). Вони показують, що впровадження надроторних елементів над передвключеним осьовим колесом шнековідцентрового ступеня покращує структуру основного потоку. Це

викликано тим, що вихори, які виникають у пазах надроторної втулки, зменшують енергію зворотного потоку та відтісняють ядро вихору зворотного току від входу у передвключене колесо.

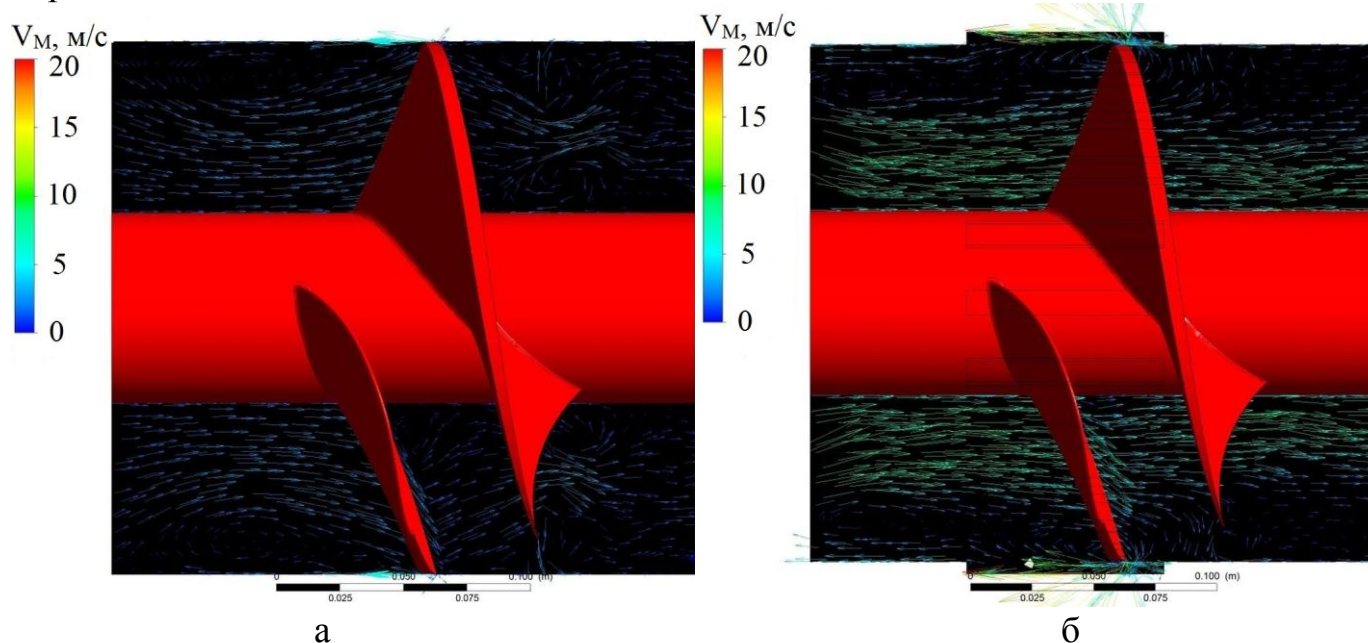


Рисунок 5 – Порівняння картин течії у протічній частині шнековідцентрового ступеня без надроторних елементів (а) та з ними (б) на режимі недовантаження

Отримані у ході проведення ВЕ дані дозволили сформулювати фізичну модель робочого процесу у шнековідцентровому ступені з надроторними елементами на режимі недовантаження. Згідно фізичної моделі (рис. 6) основний потік завдяки послабленню дії зворотних токів стає більш стабільним в області лопатевої решітки передвключеного колеса. Це сприяє зменшенню пульсацій тиску у потоці та покращенню вібраційних характеристик ступеня. Окрім цього при взаємодії зворотних токів з пазами статорної втулки в них виникають вихори. Ці вихори дроблять кавітаційні каверни, які виникають на лопатях передвключеного колеса, що приводить до покращення кавітаційно-ерозійних характеристик ступеня.

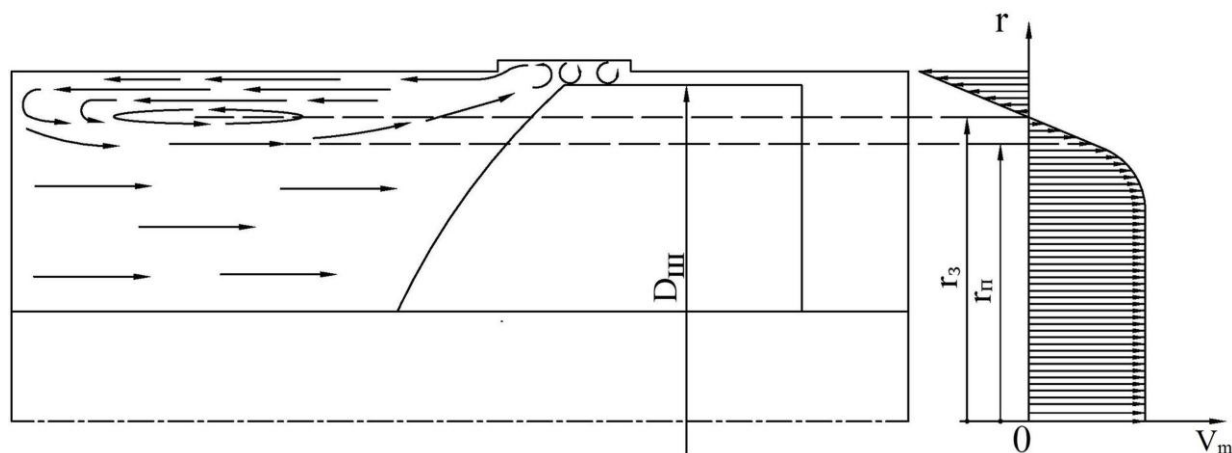


Рисунок 6 – Робочий процес у шнековідцентровому ступені з надроторними елементами на режимі недовантаження

Фізична модель вказує на визначальний вплив процесів, що відбуваються у периферійній області передвключеного робочого колеса, а саме у вихровій структурі, яка утворюється в пазах надроторних елементів. Це говорить про необхідність при розгляді конструкції надроторних елементів шнекововідцентрового ступеня визначити положення пазів, а також їх площу, що характеризується кількістю, висотою і шириною пазів. Врахування цих параметрів дозволило б максимально впливати на потік безпосередньо до входу у лопатеву систему передвключеного колеса, але при цьому не погіршувати структуру потоку, що може негативно вплинути на напірну і енергетичну характеристики всього шнекововідцентрового ступеня.

Вищенаведені результати, що отримані у ході проведення ВЕ підтвердили перспективність використання надроторних елементів для підвищення кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня та вказали на геометричні параметри надроторних елементів, вплив яких необхідно дослідити за допомогою фізичного експерименту.

У четвертому розділі наведено результати експериментальної частини дослідження, під час виконання якої застосовувалося планування експерименту. ФЕ проводився на модельному стенді, що працює на холодній воді по замкнутій схемі циркуляції рідини.

Аналіз результатів попередніх експериментів підтвердив припущення зроблені завдяки проведеному ВЕ, що дозволило остаточно визначити значущі фактори, вплив яких необхідно враховувати, та встановити доцільні рівні варіювання при плануванні ФЕ (рис. 7): кількість пазів Z у статорній втулці, ширина пазів b у статорній втулці, довжина пазів l_1 перед входною кромкою лопатей передвключеного колеса (на периферії), довжина пазів l_2 за входною кромкою лопатей передвключеного колеса (на периферії), глибина пазів з конструктивних причин для всіх варіантів статорних втулок була постійна та дорівнювала 5 мм.

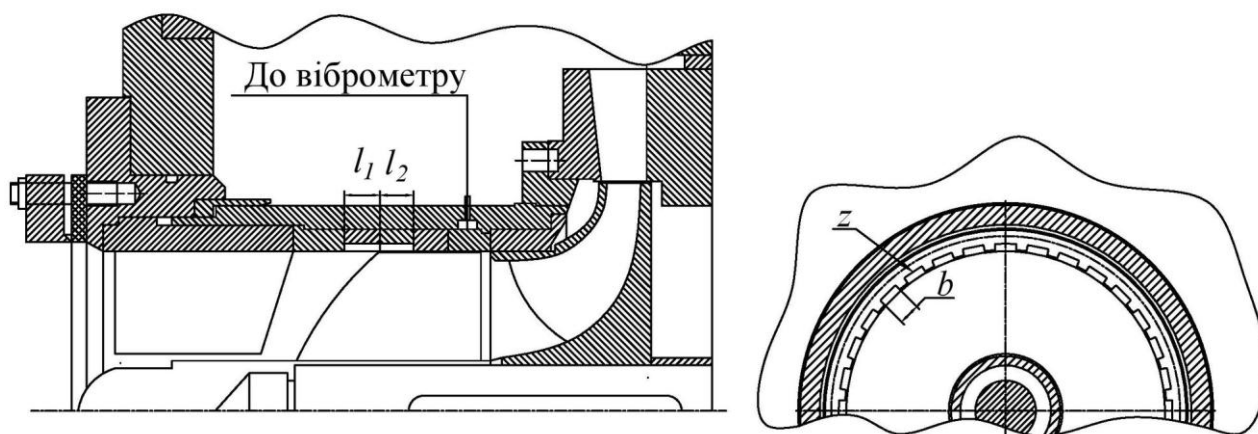


Рисунок 7 – Конструктивна схема експериментального приладу

Оскільки мета дослідження – покращення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня, за параметр оптимізації було взято порогове значення параметра стійкості до кавітаційної ерозії K_{en} , що визначається за

формулою (2). Був реалізований повнофакторний експеримент 2^4 з урахуванням ефектів взаємодії, так як аналіз випробувань, що були проведені під час відпрацювання методики, показав, що ефекти взаємодії істотні. Рівні факторів та інтервали варіювання, які використані в ході ФЕ, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Рівні та інтервали варіювання факторів у ході ФЕ

Найменування фактора	Позначення	Інтервал варіювання	Рівень фактора		
			Основний 0	Верхній +	Нижній –
Кількість пазів Z	$X1$	8	24	32	16
Ширина пазів b , мм	$X2$	4	10	14	6
Довжина пазів l_1 , мм	$X3$	20	40	60	20
Довжина пазів l_2 , мм	$X4$	10	30	40	20

Для виключення систематичних похибок реалізація дослідів проводилася згідно з таблицею випадкових чисел. Для компенсування впливу випадкових похибок досліди плану дублювались. Для усіх варіантів надроторних втулок згідно матриці варіантів були проведені параметричні та кавітаційні випробування на 5 режимах за подачею $0,3Q_{ном}$, $0,5Q_{ном}$, $0,75Q_{ном}$, $1,0Q_{ном}$ та $1,2Q_{ном}$. Отримане в досліді з гладкою надроторною втулкою значення віброприскорення $w_{к(б)} = 37 \text{ м/с}^2$ було прийняте за базове.

Оскільки найнебезпечнішим з точки зору кавітаційної стійкості є режим роботи $0,75Q_{ном}$, то аналіз проводився саме на цьому режимі. Результати дослідів у вигляді середньоарифметичних значень параметра оптимізації $K_{en} = f(w_k)$ на режимі $0,75Q_{ном}$, згідно формули (2), наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати ФЕ, реалізованих згідно з матрицею планування

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
w_k	34,5	36,0	35,6	34,7	30,6	35,8	30,7	34,1	28,4	32,9	32,9	31,0	22,9	32,5	31,0	26,7
K_{en}	20,5	20,2	20,3	20,4	21,3	20,2	21,3	20,6	21,8	20,8	20,8	21,2	23,5	20,9	21,2	22,3

Лінійна модель з урахуванням ефектів взаємодії для плану типу 2^4 :

$$\begin{aligned}
 K_{en} = & b_0 + b_1X1 + b_2X2 + b_3X3 + b_4X4 + b_{12}X1X2 + b_{13}X1X3 + b_{14}X1X4 + \\
 & + b_{23}X2X3 + b_{24}X2X4 + b_{34}X3X4 + b_{123}X1X2X3 + b_{124}X1X2X4 + \\
 & + b_{134}X1X3X4 + b_{234}X2X3X4 + b_{1234}X1X2X3X4
 \end{aligned} \quad (3)$$

Гіпотеза однорідності ряду дисперсій перевірялася за допомогою G-критерію Кохрена. У результаті розрахунків отримуємо значення G-критерію Кохрена $G_p = 0,35$, що не перевищує табличного значення $G_T(2-1, 16) = 0,4709$ (прийнятий

5 % рівень значимості), а отже дисперсії однорідні.

Дисперсія відтворюваності експерименту дорівнює $s_y^2 = 0,711$, дисперсія коефіцієнтів регресії $s^2\{b_i\} = 0,022$, похибка у визначенні i -го коефіцієнта регресії $s\{b_i\} = 0,149$, довірчий інтервал для i -го коефіцієнта регресії дорівнює $\Delta b_i = \pm 0,316$.

У результаті проведеного повнофакторного експерименту після виключення коефіцієнтів з рівняння (3), менших за довірчий інтервал, отримано рівняння регресії:

$$K_{en} = 21,08 - 0,33 \cdot X_3 - 0,49 \cdot X_4 + 0,37 \cdot X_1 \cdot X_2. \quad (4)$$

Перевірка адекватності отриманої моделі проведена за допомогою F-критерію Фішера. Розрахункове значення за допомогою F-критерію дорівнює $F_p = 0,92$, табличне значення F-критерію за 5 % рівня значущості й числах ступенів свободи для чисельника 11 і для знаменника 16: $F_T = 2,4$. Оскільки $F_p < F_T$, модель адекватна.

Використовуючи формули переходу від кодованих значень факторів до натуральних, рівняння (4) можна перетворити на:

$$K_{en} = 25,975 - 0,116 \cdot Z - 0,278 \cdot b - 0,016 \cdot l_1 - 0,049 \cdot l_2 + 0,012 \cdot Z \cdot b. \quad (5)$$

Для знаходження оптимального значення параметра оптимізації функції відгуку (5) використано метод крутого сходження. Круте сходження починаємо з нульової точки ($Z^* = 24$, $b^* = 10$ мм, $l_1^* = 40$ мм, $l_2^* = 30$ мм). Після виконання лінеаризації $Z \cdot b$ поряд з нульовою точкою рівняння (5) набуває вигляду:

$$K_{en} = 23,095 + 0,004 \cdot Z + 0,010 \cdot b - 0,016 \cdot l_1 - 0,049 \cdot l_2. \quad (6)$$

Згідно з отриманою моделлю (6) пороговий параметр кавітаційної ерозії ступеня K_{en} зростає зі зменшенням довжин пазів l_1 і l_2 і збільшенням кількості Z та ширини пазів b . Розрахунок руху за градієнтом наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок крутого сходження

Найменування	Z	b , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	K_{en}
Основний рівень	24	10	40	30	-
Коефіцієнт b_i	0,004	0,010	-0,016	-0,049	-
Інтервал варіювання ε_i	8	4	20	10	-
$b_i \times \varepsilon_i$	0,032	0,040	-0,320	-0,490	-
Крок Δ_i	3	2,5	-10	-5,31	-
Округлений крок	3	2	-10	-5	-
Уявний дослід № 17	27	12	30	25	21,6
Уявний дослід № 18	30	14	20	20	22,2
Реалізований дослід № 19	32	16	20	20	22,0

У досліді № 19 отримано зменшення значення параметра кавітаційної ерозії ступеня $K_{en} = 22,0$, яке менше результату уявного досліді № 18 і кращого досліді № 13 ($Z = 32$, $b = 14$ мм, $l_1 = 20$ мм, $l_2 = 20$ мм, $K_{en} = 23,5$) в плані експерименту на 10 %. Тому пошук екстремуму методом крутого сходження завершуємо.

На рисунку 8 наведені порівняльні характеристики шнековідцентрового ступеня з гладкою надроторною втулкою та надроторною втулкою з пазами №13.

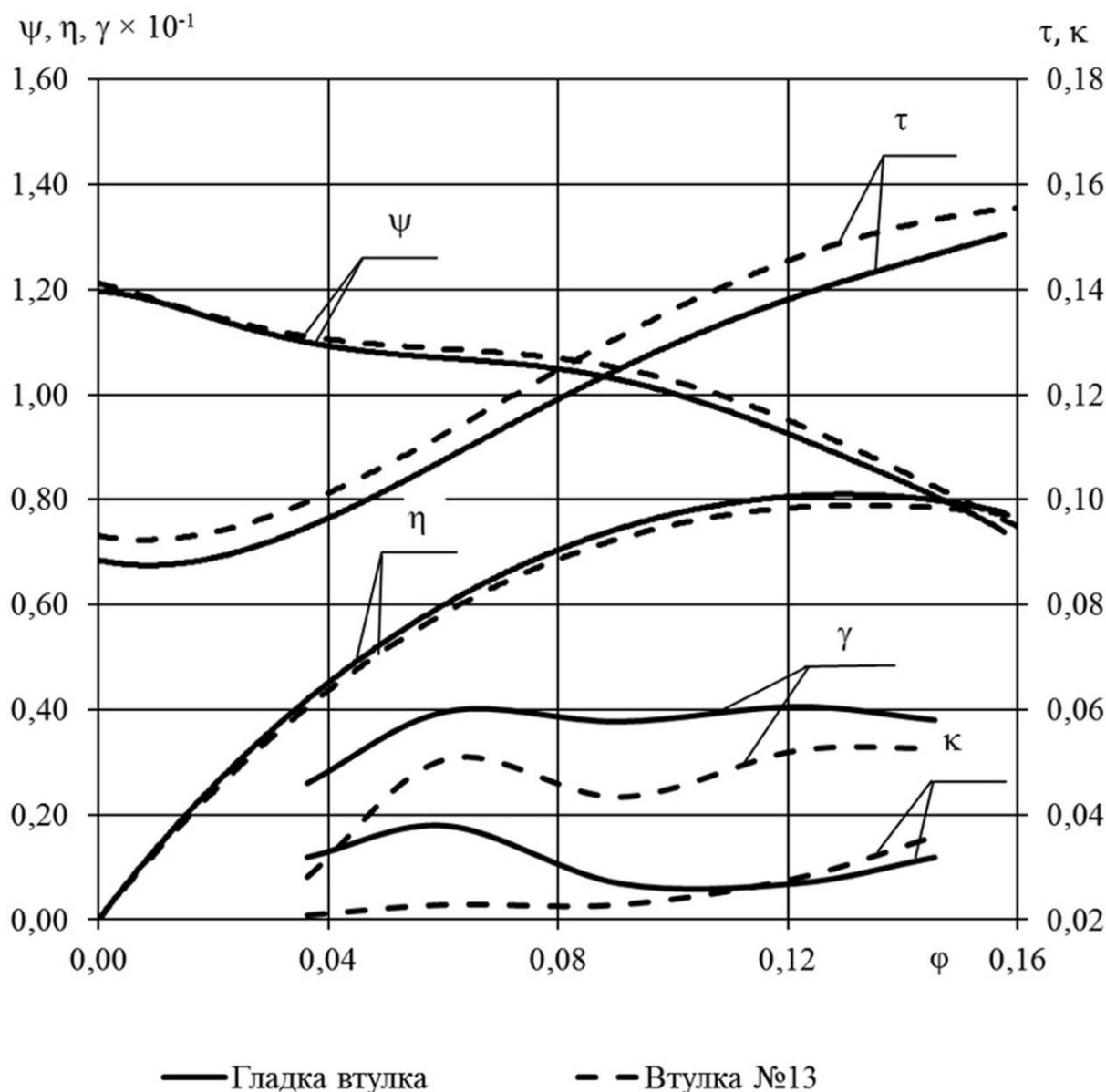


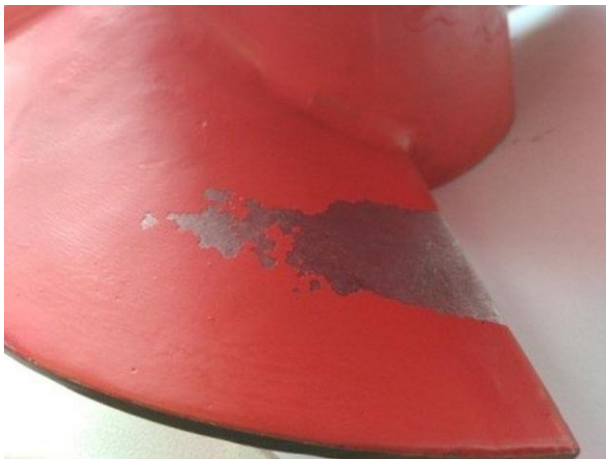
Рисунок 8 – Порівняльні характеристики шнековідцентрового ступеня з гладкою надроторною втулкою та надроторною втулкою з пазами №13:

$$\varphi = \frac{Q}{\pi \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot U_2} \text{ – коефіцієнт подачі; } \Psi = \frac{2 \cdot g \cdot H}{U_2^2} \text{ – коефіцієнт напору;}$$

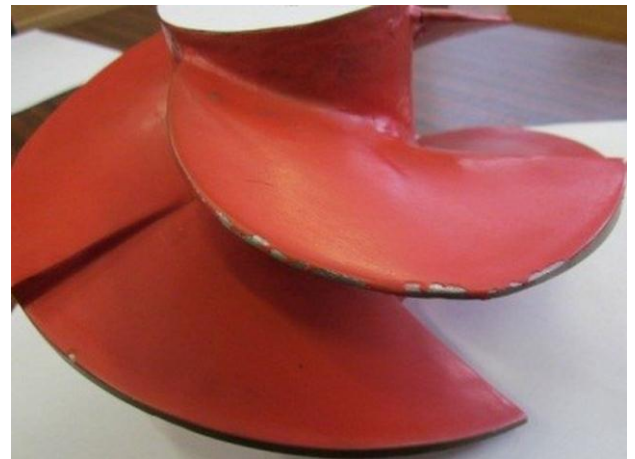
$$\tau = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot \rho \cdot U_2^3 \cdot D_2 \cdot b_2} \text{ – коефіцієнт потужності; } \kappa = \frac{2 \cdot g \cdot NPSH3}{U_2^2} \text{ – коефіцієнт}$$

кавітаційного запасу; $\gamma = \frac{w_\kappa}{g}$ – коефіцієнт віброприскорення

Була виконана перевірка адекватності отриманих результатів альтернативним методом із використанням легкоруйнівних лакових покриттів. Для цього спеціальне легкоруйнівне лакофарбове покриття було нанесено на поверхню передвключеного колеса, яке потім випробовувалося в складі шнекововідцентрового ступеня з надроторною втулкою та без неї. Вибрана надроторна втулка з оптимальними геометричними параметрами згідно попередніх розрахунків ($Z = 32$, $b = 14$ мм, $l_1 = 20$ мм, $l_2 = 20$ мм, $K_{en} = 23,5$). Її було встановлено над передвключеним колесом, та випробувано шнекововідцентровий ступінь з нею та без неї за аналогічних умов на режимі $0,75Q_{ном}$ від номінальної подачі протягом 4 годин у кавітаційному режимі. Після випробувань було проведено обстеження цілісності легкоруйнівного покриття на передвключеному колесі у випадку з надроторною втулкою та без неї, яке показало відсутність його руйнування від дії кавітаційної ерозії за умови застосування надроторної втулки. Зовнішній вигляд передвключеного колеса після випробувань наведено на рисунку 9.



а



б



в



г

Рисунок 9 – Передвключене колесо після випробувань з використанням легкоруйнівних лакових покриттів протягом 4 годин у кавітаційному режимі:
 а – тильна сторона лопаті передвключеного колеса без надроторної втулки;
 б – тильна сторона лопаті передвключеного колеса з надроторною втулкою;
 в – робоча сторона лопаті передвключеного колеса без надроторної втулки;
 г – робоча сторона лопаті передвключеного колеса з надроторною втулкою

На рисунку 9 а, в видно чіткий «слід» кавітаційної ерозії, викликаний пошкодженням легкоруйнівного лакофарбового покриття від схлопування кавітаційних каверн на поверхні лопаті передвключеного колеса, що спостерігається на вихідній кромці тильної сторони лопаті. Також є менші за площею пошкодження, розташовані посередині робочої сторони лопаті. Картина отриманих пошкоджень якісно співпадає з отриманими раніше результатами з аналогічними за будовою передвключеними колесами. На рисунку 9 б, г видно лише невеликі «сліди» пошкодження легкоруйнівного лакофарбового покриття на периферійних ділянках лопаті передвключеного колеса та її вхідній кромці, які викликані взаємодією з потоком рідини. Характер цих пошкоджень говорить про те, що вони не є результатом дії кавітаційних каверн на поверхні лопаті. Проведені додаткові експерименти з використанням легкоруйнівного лакофарбового покриття наочно продемонстрували ефективність запропонованого у дослідженні методу підвищення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня за допомогою надроторних елементів.

Аналіз результатів реалізації дослідів згідно з планом експерименту та отриманим рівнянням регресії дозволив сформулювати наступні рекомендації до проектування надроторної втулки для покращення кавітаційно-ерозійної характеристики шнекововідцентрового ступеня:

- ширину пазу приймати близькою до $b = 0,07 D_w$;
- глибину пазу – близькою до $h = 0,36 b$;
- число пазів у надроторній втулці – $Z = 2,1 \frac{D_w}{b}$;

– розташування надроторної втулки, починаючи від вхідної кромки на периферії передвключеного колеса – близькою до $l_1 = l_2 = 0,095 D_w$.

Рекомендації розроблені при зміні параметрів пазів у межах, визначених плануванням експерименту, і можуть бути застосовані для перших шнекововідцентрових ступенів із значенням коефіцієнтів швидкохідності $n_s = 110-140$.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-технічна задача вдосконалення кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня за допомогою надроторних елементів та розроблення рекомендацій до їх проектування. Вирішення даної задачі направлене на задоволення потреби нового покоління насосів із першим шнекововідцентровим ступенем зі збільшеними вимогами до кавітаційно-ерозійних характеристик. За результатами виконаної роботи можливо зробити наступні висновки:

1. Проведено інформаційно-аналітичний огляд за темою дисертації. Виявлено необхідність у покращенні кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрових ступенів та запропоновано спосіб вирішення цієї проблеми за рахунок установки надроторних елементів. Виконано аналіз існуючих методів визначення кавітаційно-ерозійних характеристик.

2. Запропоновано фізичну модель течії в каналах досліджуваного ступеня, яка дозволила визначити значимі геометричні параметри надроторної втулки, які визначально впливають на характеристику потоку. Ними виявилися: кількість пазів Z , ширина пазів b , довжина пазів l_1 перед вхідною кромкою лопатей передвключеного колеса і довжина пазів l_2 за вхідною кромкою лопатей передвключеного колеса.

3. Проведено фізичний експеримент за результатами якого отримано рівняння регресії за параметром стійкості до кавітаційної ерозії K_{en} , що дозволило оцінити значимість геометричних параметрів надроторної втулки. Отримане рівняння регресії вказує на те, що найбільш значимими факторами, що впливають на кавітаційно-ерозійні якості шнекововідцентрових ступенів, є кількість пазів і їх ширина. Збільшення значень цих параметрів покращує стійкість до кавітаційної ерозії шнекововідцентрових ступенів з надроторними елементами. Завдяки застосуванню методу крутого сходження до отриманого рівняння регресії визначено оптимальні розміри надроторної втулки досліджуваного шнекововідцентрового ступеня, при яких досягається максимальне значення порогового параметра стійкості до кавітаційної ерозії $K_{en} = 23,5$; $Z = 32$, $b = 14$ мм, $l_1 = 20$ мм, $l_2 = 20$ мм. При цьому вдалося поліпшити кавітаційні характеристики без значної зміни напірної та енергетичної характеристик шнекововідцентрового ступеня. Фізичний експеримент з використанням легкоруйнівних лакофарбових покриттів наочно підтвердив адекватність отриманих у дослідженні результатів і продемонстрував ефективність використання надроторних елементів у боротьбі з кавітаційною ерозією у шнекововідцентрових ступенях.

4. Розроблено рекомендації з проектування надроторних елементів для поліпшення кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях:

1. Ткач П.Ю. Кавітаційно-ерозійні якості насосів зі шнекововідцентровим ступенем: сучасний стан проблеми та перспективи розвитку / О.В. Єлін, П.Ю. Ткач // Промислова гідравліка і пневматика. – 2013. – № 2(40). – С. 60–66.
2. Ткач П.Ю. Методи оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин / П.Ю. Ткач // Вісник СумДУ. – 2013. – №4. – С. 91–96.
3. Ткач П.Ю. Експериментальна установка та методика проведення дослідження впливу надроторних елементів передвключеного осьового колеса на кавітаційно-ерозійні якості шнекововідцентрового ступеня насосу / О.В. Єлін, П.Ю. Ткач // Промислова гідравліка і пневматика. – 2014. – № 3(45). – С. 16–21.
4. Ткач П.Ю. Анализ пульсаций давления на кавитационных режимах в первых ступенях центробежных насосов / П.Ю. Ткач, В.А. Куценко // Промислова гідравліка і пневматика. – 2016. – № 4(54). – С. 37–41.
5. Ткач П.Ю. Влияние негладкой надроторной втулки перед рабочим колесом на характеристики первой ступени центробежного насоса / В.П. Авдеенко,

А.С. Косторной, В.А. Куценко, П.Ю. Ткач // Промислова гідравліка і пневматика. – 2018. – № 1(59). – С. 39–46.

Стаття у фаховому виданні, яке входить до наукометричної бази Scopus:

6. Tkach P. Improvement of cavitation erosion characteristics of the centrifugal inducer stage with the inducer bush / P. Tkach, A. Yashchenko, O. Gusak, S. Khovanskyu, I. Grechka // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2018. Vol. 4, No. 11(94). – P. 24–31. DOI:10.15587/1729-4061.2018.139392.

Стаття в іноземному виданні, яке входить до наукометричної бази Scopus:

7. Tkach P. Y. Influence of Geometric Parameters of Inducer Bush Design on Cavitation Erosion Characteristics of Centrifugal Inducer Stage of Pump // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2017. – Vol. 233. – №. 1. – P. 012012. DOI:10.1088/1757-899X/233/1/012012.

Стаття у складі збірника:

8. Ткач П.Ю. Влияние геометрических параметров надроторных элементов предвключенного осевого колеса на кавитационно-эрозионные качества шнекоцентробежной ступени центробежного насоса / П.Ю. Ткач // Збірник доповідей учасників XV Міжнародної науково-технічної конференції «Герметичність, вібронадійність і екологічна безпека насосного і компресорного обладнання» «Гервікон + насоси 2017». – Суми: Територія, 2017. – С. 124–134.

Тези доповідей:

9. Ткач П.Ю. Кавітаційно-ерозійні якості насосів зі шнекововідцентровим ступенем: сучасний стан проблеми та перспективи розвитку / О.В. Єлін, П.Ю. Ткач // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: XVIII Міжнародна науково-технічна конференція: тези доп., 21–24 травня, 2013 р. – Київ, 2013. – С. 138.

10. Ткач П.Ю. Методы оценки кавитационно-эрозионных качеств гидромашин / П.Ю. Ткач // Сучасні технології в промисловому виробництві: II Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція: тези доп., 23–26 квітня, 2013 р. – Суми, 2013. – Ч. II. – С. 89–90.

11. Ткач П.Ю. Методи та засоби дослідження кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня нетрадиційної конструкції шляхом фізичного експерименту / О.В. Єлін, П.Ю. Ткач // Сучасні технології в промисловому виробництві: III Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція: тези доп., 22–25 квітня, 2014 р. – Суми, 2014. – Ч. II. – С. 152–153.

12. Ткач П.Ю. Експериментальна установка та методика проведення дослідження впливу надроторних елементів передвключеного осьового колеса на кавітаційно-ерозійні якості шнекововідцентрового ступеня насосу / О.В. Єлін, П.Ю. Ткач // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: XIX Міжнародна науково-технічна конференція: тези доп., 21–24 травня, 2014 р. – Кіровоград, 2014. – С. 147.

13. Ткач П.Ю. Тестування продукту ANSYS CFX на прикладі течії у шнековідцентровому ступені з моделюванням радіального зазору на периферії

передвключеного осьового колеса / П.Ю. Ткач // Сучасні технології в промисловому виробництві: IV Всеукраїнська міжвузівська науково-технічна конференція: тези доп., 14–15 квітня, 2015 р. – Суми, 2015. – Ч. II. – С. 78.

14. Ткач П.Ю. Структура потоку течії рідини у шнекововідцентровому ступені насоса з надроторними елементами / О.В. Єлін, П.Ю. Ткач // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: XX Міжнародна науково-технічна конференція: тези доп., 26–29 травня, 2015 р. – Київ, 2015. – С. 138.

15. Ткач П.Ю. Отработка методики оценки кавитационно-эрозионных качеств шнекоцентробежных ступеней с помощью вибрационных характеристик / П.Ю. Ткач // Промислова гідравліка та пневматика: XVI Міжнародна науково-технічна конференція АС ППП: тези доп., 15–17 жовтня 2015 р. – Суми, 2015. – С. 69.

16. Ткач П.Ю. Можливість використання програм чисельної гідродинаміки для оцінки кавітаційно-ерозійних якостей гідромашин / П.Ю. Ткач // Сучасні технології у промисловому виробництві: Матеріали та програма IV Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (Суми, 19–22 квітня 2016 р.), Ч. 2., СумДУ. – Суми, 2016. – С. 753.

17. Ткач П.Ю. Вплив надроторних елементів шнеку на картину течії рідини у шнекововідцентровому ступені насоса / О.С. Косторний, П.Ю. Ткач // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: XXI Міжнародна науково-технічна конференція: тези доп., 24–27 травня, 2016 р. – Київ, 2016. – С. 28.

18. Ткач П.Ю. Проміжні результати дослідження впливу геометричних параметрів надроторних елементів передвключеного осьового колеса на кавітаційно-ерозійні якості шнекововідцентрового ступеня відцентрового насосу / П.Ю. Ткач // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: XXII Міжнародна науково-технічна конференція: тези доп., 23–26 травня, 2017 р. – Черкаси, 2017. – С. 34–36.

19. Ткач П.Ю. Перевірка кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами методом з використанням легкоруйнівних покриттів / П.Ю. Ткач // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: XXIII Міжнародна науково-технічна конференція: тези доп., 19–22 червня, 2018 р. – Київ, 2018. – С. 65–67.

Патент України:

20. Патент на корисну модель 81633 Україна F04D 29/66 (2006.01) / Шнековідцентровий ступінь насоса / В.П. Авдєєнко, О.В. Єлін, В.О. Куценко, П.Ю. Ткач; заявник і патентовласник Публічне акціонерне товариство "Сумський завод насосного та енергетичного машинобудування "Насосенергомаш" – № u201214625; заявл. 20.12.2012; опубл. 10.07.2013, бюл. № 13.

АНОТАЦІЯ

Ткач П.Ю. Вплив надроторних елементів шнеку на кавітаційно-ерозійні якості шнекововідцентрового ступеня насоса. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.17 – «Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати». – Сумський державний університет, Суми, 2018.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача – підвищення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня за допомогою надроторних елементів шнеку. Наведено результати дослідження робочого процесу шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами, а також визначено вплив їх геометричних параметрів на кавітаційно-ерозійні якості досліджуваного ступеня. Запропоновано фізичну модель течії у каналах шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами на режимі недовантаження.

Основним змістом роботи є отримання експериментальним шляхом оптимальних геометричних параметрів надроторних елементів для поліпшення кавітаційно-ерозійної характеристики досліджуваного шнекововідцентрового ступеня та розроблення рекомендацій до проектування надроторних елементів у складі шнекововідцентрового ступеня.

Ключові слова: шнекововідцентровий ступінь, надроторні елементи, кавітаційно-ерозійна характеристика, фізична модель течії, рекомендації до проектування.

ABSTRACT

Tkach P.Yu. Influence of inducer bush design on the cavitation erosion characteristics of inducer centrifugal stage of the pump. – The manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science in specialty 05.05.17 – «Hydraulic machines and hydraulic and pneumatic units». Sumy State University, Sumy, 2018.

The thesis has solved an actual scientific and technical problem – improvement of cavitation and erosion characteristics of inducer centrifugal stage using an inducer bush. The study results of operation of the inducer centrifugal stage assembled with inducer bush are presented, as well as the influence of its geometric parameters on the cavitation erosion characteristics of the centrifugal stage being studied is determined. The physical model of liquid flowing through channels of the inducer centrifugal stage assembled with inducer bush during operation at low flow rate is proposed.

The main point of the thesis is to obtain experimentally optimal geometric parameters of the inducer bushes for improvement of the cavitation and erosion characteristics of the inducer centrifugal stage and to develop recommendations for the design of inducer bushes assembled with inducer centrifugal stage.

Keywords: inducer centrifugal stage, inducer bush, cavitation erosion characteristic, physical flow, guidance to design.

Підписано до друку
Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 1044.

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007 р.