

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПАНЧЕНКО ВІТАЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 621.65

**ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ВІЛЬНОВИХРОВОГО НАСОСА
ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ РОБОЧОГО КОЛЕСА**

05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у Сумському державному університеті, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор
ГУСАК Олександр Григорович,
Сумський державний університет,
декан факультету технічних систем
та енергоефективних технологій

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ВОЛОШИНА Анжела Анатоліївна,
Таврійський державний
агротехнологічний університет,
професор кафедри мехатронних систем
та транспортних технологій

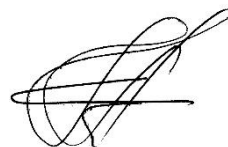
кандидат технічних наук
ОЛЬШТИНСЬКИЙ Павло Леонідович,
АТ «Сумський завод «Насосенергомаш»,
заступник начальника відділу проточних частин

Захист відбудеться «21» грудня 2019 року о 11 годині 00 хвилин 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 ознайомитися у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розіслано «20» листопада 2019 року.

**Учений секретар спеціалізованої
вченої ради К 55.051.03**



Є. М. Савченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

На даний час у багатьох галузях (житлово-комунальне господарство, гірничо-збагачувальні та хімічні виробництва, харчова промисловість тощо) широко використовуються технологічні процеси, пов'язані із транспортуванням гідросумішей за допомогою динамічних насосів.

Транспортування різного виду гідросумішей відцентровими (динамічними) насосами призводить до низки небажаних явищ під час їх експлуатації:

- зрив параметрів насоса при перевищенні об'ємного вмісту газу у суміші понад деяку критичну величину;
- зміну паспортної характеристики насоса внаслідок наявності газу або твердих частинок у перекачуваному середовищі;
- різні види забивання проточної частини відцентрового насоса (залежно від гранулометричного складу і концентрації твердої фази у суміші, впливу кристалізації перекачуваного продукту);
- абразивне зношування.

Відповідно до світової практики найбільша увага під час вибору насосного обладнання для перекачування гідросумішей приділяється вільновихровим насосам (ВВН) типу «Turo». ВВН, у цілому, й типу «Turo» зокрема, на сьогодні є широко застосовуваними в різних галузях промисловості й сільського господарства. Їх застосовують для перекачування абразивних середовищ завдяки простоті конструкції, високій технологічності і можливості використовувати абразивностійкі матеріали, для перекачування газорідних сумішей, для перекачування сумішей «рідина-тверді частинки» завдяки відсутності забивання проточної частини. Найбільш широко їх застосовують у складі насосних агрегатів блочно-модульного виконання (зі змінним робочим колесом). Тому інтерес до даного типу насосного обладнання не послаблюється як з боку експлуатаційників, так і розробників насосів. Останнє зумовлене досить складним робочим процесом ВВН типу «Turo».

Перші спроби описати робочий процес даного ВВН, як своєрідного відцентрового насоса, виявились помилковими й прийнята на цій основі методика розрахунку не забезпечувала отримання проектних характеристик насоса. Тому у подальшому вона була доопрацьована у роботах В. Германа та І. Криштопа, в яких ВВН типу «Turo» розглядався як насос вихрового принципу дії. Для цих насосів характерним є присутність «вихрового робочого процесу». Принципова відмінність розглянутого робочого процесу від тих, що мають місце в інших типах гідромашин, полягає у тому, що напір насоса (отримуваний позитивний ефект) пов'язаний з втратами енергії. Іншими словами, без виникнення втрат енергії у вихровому насосі, останнім напір створюватись не буде і теоретично досяжний ККД вихрового робочого процесу η_{PI} дорівнювати одиниці не може. Тому наявність процесу вихроутворення в ВВН обумовлює й невисокий ККД цих насосів. Згідно даних попередніх досліджень, ВВН типу «Turo» може забезпечувати параметри з прийнятним рівнем ККД ($\eta=0,35-0,56$) в області коефіцієнту швидкохідності $n_s=60-140$, при цьому оптимум за ККД знаходиться в діапазоні $n_s=100-120$.

Виробничо-технологічні й експлуатаційні переваги ВВН змушують як дослідників, так і проєктантів продовжувати пошук шляхів вдосконалення ВВН взагалі, та ВВН типу «Turo» зокрема. Крім задачі безпосереднього підвищення

ККД, важливим є створення ВВН типу «Turo» з розширеним діапазоном параметрів, а саме, для $n_s \leq 60$ (високонапірні ВВН) і для $n_s \geq 140$ (високовитратні ВВН). Задача вдосконалення ВВН типу «Turo» у широкому діапазоні значень n_s може бути вирішена шляхом створення нових конструктивних схем насосів з новими принципами дії, які могли б бути заміною ВВН типу «Turo», але зберігали б відповідні експлуатаційні якості останніх. Але, оскільки, ВВН типу «Turo» є гідромашинами вихрового принципу дії, в яких є невідворотними вихрові гідравлічні втрати, то більш раціональним способом підвищення ККД цих насосів може бути вплив на організацію їх робочого процесу. Враховуючи, що механізм передачі енергії в ВВН зумовлений як лопатевим, так і вихровим робочими процесами, тобто обертанням рідини у вільній камері навколо осі насоса з кутовою швидкістю ω_p , то для підвищення ефективності роботи ВВН є необхідними конструктивні рішення, які б сприяли зростанню ω_p .

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідної роботи кафедри прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету. Наукові розробки реалізовані при виконанні держбюджетних тем: «Створення ефективних енергозберігаючих систем опалення та гарячого водопостачання на базі багатофункціональних теплогенеруючих агрегатів» (замовник – Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, номер державної реєстрації 0111U002153); «Дослідження робочих процесів насосів і приводів» (замовник – Міністерство освіти і науки України, номер державної реєстрації 0114U000069); «Підвищення ефективності та ресурсозбереження у технологічних процесах перспективних галузей промисловості за рахунок впровадження багатофункціональних агрегатів» (замовник – Міністерство освіти і науки України, номер державної реєстрації 0116U000922).

Мета і задачі дослідження.

Метою дисертаційної роботи є вдосконалення математичної моделі робочого процесу та методики розрахунку вільновихрового насоса, з отриманням рекомендацій щодо підвищення його технічного рівня.

Для реалізації поставленої мети сформульовані й потребують вирішення такі *задачі*:

- розроблення математичної моделі робочого процесу ВВН з різним співвідношенням геометричних параметрів;
- уточнення математичної моделі на основі виконаного числового експерименту;
- експериментальна перевірка результатів числового моделювання робочого процесу ВВН;
- оцінювання впливу геометричних параметрів робочого колеса на робочі характеристики ВВН;
- уточнення методичних рекомендацій щодо проектування ВВН;
- розроблення методичних рекомендацій щодо вдосконалення існуючих ВВН за рахунок немодельної зміни геометрії проточної частини;
- оцінювання технічного рівня ВВН із вдосконаленою геометрією робочого колеса.

Об'єкт дослідження – гідравлічні процеси взаємодії потоку рідини з елементами проточної частини ВВН типу «Turo».

Предмет дослідження – структура течії рідини у проточній частині ВВН типу «Туго» і взаємозв'язок геометричних параметрів робочого колеса з характеристиками насоса.

Методи дослідження.

Поставлені задачі були вирішені шляхом застосування аналітичного і числового методів дослідження, а також методом фізичного експерименту – дослідження дослідного зразка ВВН з робочими колесами різних конструкцій.

Аналітична частина дослідження базується на аналізі матеріалів теоретичних досліджень і експериментальних робіт з проектування ВВН, які дозволили обґрунтувати актуальність теми, сформулювати її мету і задачі. Аналітичне дослідження механізму передачі енергії від робочого колеса до рідини дозволило уточнити існуючу модель течії рідини у насосі типу ВВН.

Числове дослідження виконане на основі розв'язання системи рівнянь, що описують фундаментальні закони гідромеханіки: рівнянь руху в'язкої рідини разом з рівнянням нерозривності потоку. Це дозволило визначити межі застосування ВВН з робочими колесами, що мають подовжені лопаті, встановити раціональний діапазон варіювання його основних параметрів, а також їх вплив на напірну і енергетичну характеристики насоса.

Фізичний експеримент містив у собі випробування натурних проточних частин ВВН з робочими колесами різних конструктивних виконань і був проведений для перевірки ефективності використання подовжених лопатей у робочому колесі, а також для підтвердження результатів числових розрахунків.

Достовірність одержаних експериментальних даних забезпечується кількістю проведених фізичних досліджень, використанням загальноприйнятої в практиці насособудування методики проведення випробувань, а також допустимою похибкою вимірювання фізичних величин.

Достовірність одержаних в роботі теоретичних результатів оцінювалася їх порівнянням з експериментальними даними.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше:

- обґрунтовано доцільність використання ВВН з комбінованим (лопатево-вихровим процесом);
- розроблено математичну модель течії в'язкої рідини у проточній частині ВВН з подовженими лопатями робочого колеса;
- визначені особливості робочого процесу ВВН, зокрема структуру вихрового руху рідини у вільній камері;
- на основі проведеного числового моделювання встановлено взаємозв'язок геометричних параметрів робочих коліс різних виконань з характеристиками насоса;
- доведено можливість використання у насосі типу ВВН робочого колеса з подовженими лопатями для підвищення енергетичної ефективності насоса і встановлено взаємозв'язок основних геометричних параметрів колеса з характеристиками насоса.

Практичне значення одержаних результатів:

- встановлено вплив конструкції робочого колеса з подовженими лопатями на ефективність роботи насоса типу ВВН;
- створено принципово нову конструкцію робочого колеса, яка дозволяє підвищити енергоефективність насосу типу ВВН, і проведені її випробування;
- створено методику інженерного розрахунку параметрів і характеристик насосу типу ВВН з робочим колесом, яке має подовжені лопаті;

– розроблені рекомендації щодо вдосконалення існуючих насосів типу ВВН, які дозволяють підвищити їх енергоефективність;

– результати дисертаційної роботи впроваджені у АТ «Сумський завод «Насосенергомаш», ПП «Близнюки», використовуються в навчальному процесі на факультеті технічних систем та енергоефективних технологій СумДУ і підтверджені відповідними актами.

Особистий внесок здобувача.

Основні результати дисертаційної роботи були отримані автором самостійно. Постановлення задач, вибір методів дослідження, аналіз та узагальнення результатів виконані разом із науковим керівником.

У написаних наукових працях, що розкривають основні результати роботи, здобувачем виконане наступне: у роботах [1-3, 5, 9, 22] проведено аналіз існуючих насосів для перекачування гідросумішей та обґрунтовано вибір ВВН як найбільш перспективних для вирішення даної задачі; в роботах [1-2, 6-8, 10] обґрунтовано використання немодельної зміни геометрії проточної частини ВВН з метою підвищення його ефективності; в роботах [11, 15, 17] виконано аналіз робочого процесу ВВН та розроблено його удосконалену математичну модель; у роботах [18-19] виконано числовий розрахунок течії у проточній частині досліджуваного насоса; в роботах [4, 12-13, 19-20] описано результати проведених натурних випробувань ВВН з удосконаленою геометрією на дослідному стенді та визначено оптимальні значення геометричних параметрів; у роботах [14, 21] розроблено удосконалену методику із розрахунку геометричних параметрів проточної частини ВВН; у роботах [16, 19] проведено розрахунок показника технічного рівня удосконаленого насоса.

Апробація результатів дисертації здійснювалася на науково-технічних конференціях різних рівнів:

– конференції присвяченій Дню науки України та 60-річчю СумДУ (м. Суми, 2008 р.);

– III Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергозбереження ENERGIА-2009» (м. Алушта, 2009 р.);

– науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій СумДУ «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, 2011, 2013, 2017 рр.);

– XVII Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній діяльності» (м. Черкаси, 2012 р.);

– XVIII Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Київ, 2013 р.);

– XXI міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MICROCAD-2013) (м. Харків, 2013 р.);

– III, IV Всеукраїнських міжвузівських науково-технічних конференціях «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 2014, 2016 рр.);

– XVI Міжнародній науково-технічній конференції АС ПП «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Харків, 2016 р.);

– VII, IX міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (КЗЯТПС) (м. Чернігів, 2017р., 2019 р.);

– International Scientific Conference «Scientific developments: yesterday, today, tomorrow 2018» (Minsk, Belarus, 2018);

– I Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Інтеграція освіти, науки та бізнесу в сучасному середовищі: літні диспути» (м. Дніпро, 2019 р.).

Публікації.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 22 наукові праці, зокрема: 8 статей у наукових журналах (4 – у фахових виданнях, що входять до Переліку МОН України, 3 – у закордонних виданнях та 1 – у журналі, що індексується базою даних Scopus), 13 тез доповідей та 1 патент на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації.

Робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 146 сторінки. Дисертаційна робота містить 50 рисунків, 12 таблиць, бібліографію із 143 джерел на 17 сторінках, 3 додатки на 3 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність і доцільність дослідження ВВН, необхідність вдосконалення математичної моделі і методики розрахунку його робочого процесу; визначено, мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження; розкрито наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, подано відомості про апробацію та впровадження результатів наукового пошуку.

У першому розділі «**Сучасний стан досліджуваного питання. Аналіз техніко-економічних показників вільновихрових насосів**» виконано аналіз сучасного стану досліджень робочого процесу ВВН.

ВВН (рис. 1) мають просту в експлуатації конструкцію і забезпечують високу надійність, довговічність і економічну ефективність під час роботи їх на гідросумішах, а також під час транспортування різноманітних твердих речовин і продуктів.

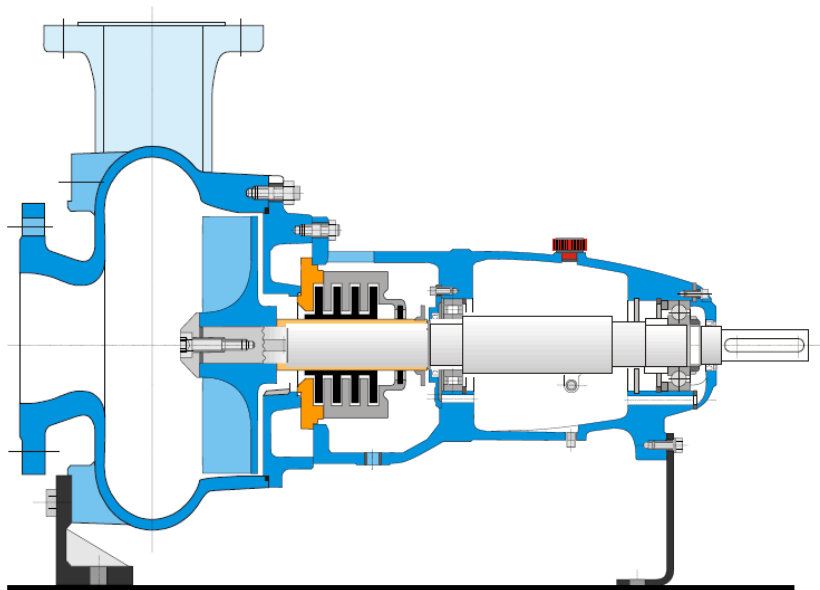


Рисунок 1 – Вільновихровий насос типу «Turo» фірми EGGER

У процесі створення ВВН були розроблені три базові конструкції цих насосів, які відрізняються між собою формою робочого колеса (РК), відводу і місцем розміщення колеса відносно вільної камери: «Wemco», «Turo» і «Seka».

Течія рідини у проточній частині ВВН є просторовою і не піддається точному математичному опису. Складність робочого процесу зумовила створення великої кількості його гіпотез і моделей течії. Детальний аналіз робочого процесу ВВН виконаний в роботах В. Германа та І. Криштопа.

Теоретично доведена Л. Пресманом наявність меридіанної циркуляції рідини між РК і вільною камерою (поздовжнього вихору) у ВВН підтверджена експериментальними дослідженнями Г. Грабова, В. Германа, Аокі М., Г. Сквілі та інших авторів. Цей рух є базовим у процесі передачі енергії у ВВН. Проте частина авторів: К. Рючі, А. Корбутовський, М. Степневський та інші заперечують визначальну роль циркуляційного потоку у передачі енергії та вважають, що фізичні процеси у ВВН є подібними до процесів у відцентровому насосі з відкритим РК і великим зазором між лопатями й корпусом.

Проте подальші дослідження структури потоку в насосі свідчать, що на різних режимах в ВВН спостерігається інтенсивний обмін енергією рідини між РК і вільною камерою, тобто існує меридіанна течія або поздовжній вихор. Аналогічна організована течія (поздовжньо-вихрова течія), як встановлено О. Байбаковим, спостерігається й у вихровому насосі. Виходячи з цього, ВВН можна віднести до класифікаційної групи вихрових гідромашин, запропонованої С. Рудневим, в якому базовим під час обміну енергією вважається поздовжньо-вихровий рух.

Таким чином, під час розгляду процесу передачі енергії в ВВН можна виділити дві стадії:

- рідина зі всмоктувального патрубку входить в РК, взаємодіє з його лопатями, отримує приріст енергії і виходить з колеса;

- у вільній камері насоса відбувається обмін кількістю руху між потоком рідини, який виходить з РК, з потоком, який надходить зі всмоктувального патрубка. Ця модель течії є більш близькою до дійсної, оскільки розроблена на її основі В. Германом методика розрахунку ВВН випробувана на практиці й дає гарне сходження результатів під час розрахунку геометрії РК. Для уточнення геометрії відводу, який застосовується у конструкції ВВН, можна використовувати рекомендації роботи В. Соляника.

А. Євтушенко і В. Соляник також вважають, що розглянутий ВВН відноситься до групи вихрових гідромашин. З огляду на їх робочий процес підвищення тиску (створення напору) пов'язане з втратами енергії. Цієї ж точки зору дотримується й Г. Грабов. У ВВН частинки рідини здійснюють рух складною спіралеподібною траєкторією, яка охоплює як область колеса, так і вільної камери. При цьому відбувається накладання двох обертальних рухів у вільній камері ВВН: першого – навколо осі обертання колеса з кутовою швидкістю обертання рідини ω_p , меншої від кутової швидкості обертання РК ω ; другого – навколо деякого центру циркуляції у меридіанному перерізі проточної частини насоса (так званий поздовжній вихор). У такому випадку величина ω_p/ω є показником ефективності роботи ВВН.

На основі виконаного інформаційно-аналітичного огляду сучасного стану проблеми підвищення економічності ВВН типу «Turo» можна зробити наступні висновки:

– конструктивна схема ВВН типу «Туго» є найбільш оптимальною з точки зору отримання максимального ККД для цього типу насосів ($\eta=0,52-0,56$ в області $n_s=100-120$), мінімального пошкодження перекачуваного продукту та незабивання проточної частини;

– теоретично доведена Л. Пресманом і підтверджена експериментально наявність меридіанної циркуляції потоку (поздовжнього вихору) між РК і вільною камерою дозволяє віднести ВВН до групи вихрових гідромашин, характерна ознака робочого процесу яких полягає у тому, що створення напору пов'язане з втратами енергії, чим пояснюється невисокий ККД цих машин;

– обертальний рух рідини у вільній камері ВВН (вільний вихор) зі швидкістю ω_p кількісно визначає напір насоса. Відповідно, чим більшою є величина ω_p , тим ефективніше працює насос;

– відношення величин колової швидкості обертання рідини у вільній камері до швидкості обертання РК ω_p / ω є показником ефективності роботи ВВН;

– у ВВН існує як вихровий, так і лопатевий робочий процеси;

– існує подібність робочого процесу ВВН та відцентрового насоса із відкритим або напіввідкритим робочим колесом;

– одним з можливих способів покращання економічності ВВН типу «Туго» є внесення змін в конструктивну схему насоса або конструкцію РК: висунання РК у вільну камеру, збільшення площі робочої частини лопаті РК і виступи на його лопатях.

У результаті огляду літературних джерел та їх аналізу зроблено висновок про актуальність теми дослідження, визначені мета і поставлені задачі дослідження.

У другому розділі «**Фізична та математична модель робочого процесу вільновихрового насоса**» описано основні положення математичної моделі розрахунку робочого процесу ВВН.

Задача вдосконалення ВВН у великому діапазоні значень n_s повинна вирішуватися шляхом створення вдосконалених конструкцій цих насосів. Діапазон оптимального ККД у ВВН визначений експериментальним шляхом. Оптимальна робота їх обмежена вузьким інтервалом коефіцієнтів швидкохідності. В роботі В. Германа максимальний ККД отриманий в області $n_s = 80-140$ і складає $\eta = 0,5-0,52$.

В. Герман, І Ковальов, О. Котенко при аналізі балансу енергій у вихровому насосі виділяють наступні види втрат (рис. 2):

- механічні втрати (втрати на тертя в кінцевих ущільненнях N_y , втрати на тертя в підшипниках N_n , втрати на дискове тертя N_{om})

- гідравлічні втрати (втрати на першій стадії процесу передачі енергії N_{1cm} - втрати на вході в насос і на вході в РК; втрати на другій стадії N_{2cm} - втрати, зумовлені втратами на вихроутворення від обміну кількістю руху у вільній камері насоса; втрати у відводі $N_{від}$).

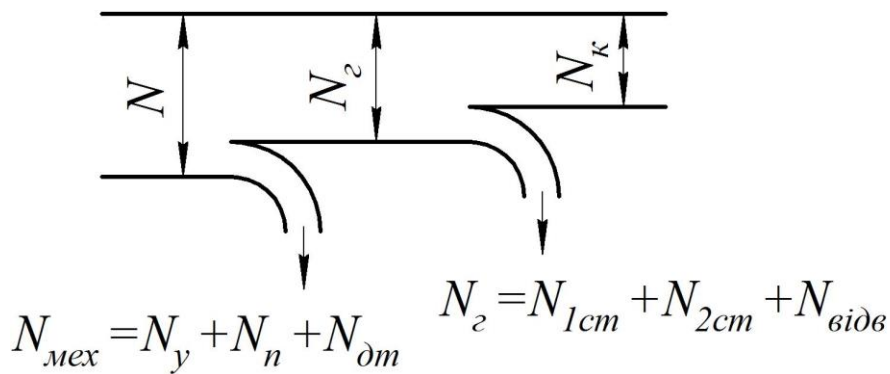


Рисунок 2 – Баланс енергій у ВВН типу «Туро»

У випадку використання комбінованого робочого процесу обмін кількістю руху між колесом та рідиною відбувається як за рахунок дії поздовжнього вільного вихору у вільній камері насоса, так і за рахунок лопатевого ефекту аналогічно робочому процесу у відцентрових насосах. Тобто видовження частини лопатей у вільну камеру ВВН вносить зміни у його баланс енергій: втрати на другій стадії процесу передачі енергії розділяються на втрати вихорового робочого процесу та на втрати лопатевого робочого процесу (рис. 3). При цьому лопатевий ефект є більш досконалим з точки зору енергетичної ефективності, оскільки гідравлічний ККД відцентрових насосів складає 0,85-0,95, а у вихрових насосах відповідний йому ККД робочого процесу становить 0,60. У зв'язку з цим загальний ККД насоса зростає і таке зростання є тим більшим, чим більший є відношення $\frac{N_{\text{лоп}}}{N_{\text{вихр}}}$. Практично ж максимально досяжний ККД такого насоса відповідає рівню ККД відцентрових насосів з відкритим РК.

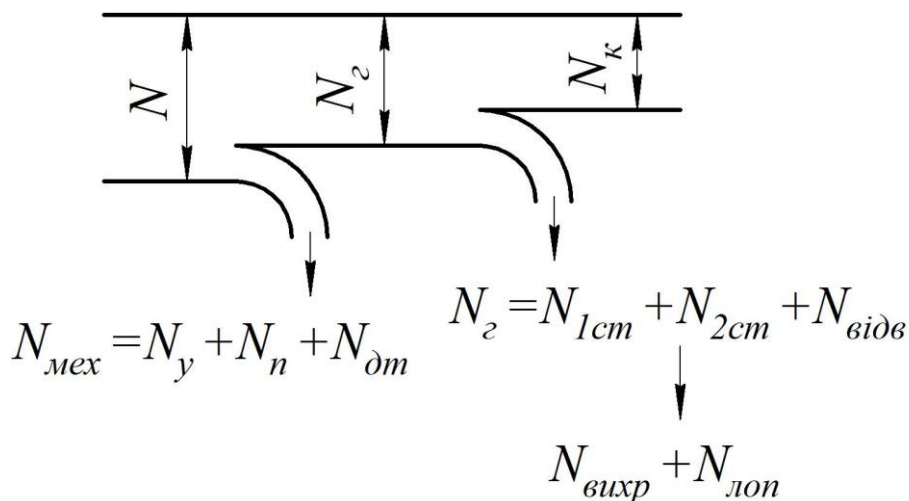


Рисунок 3 – Баланс енергій у ВВН типу «Туро» з комбінованим робочим процесом

Основне рівняння ВВН (залежність напору від геометричних розмірів проточної частини) виводимо для оптимального режиму роботи насоса (максимального значення ККД), виходячи з прийнятої схеми робочого процесу.

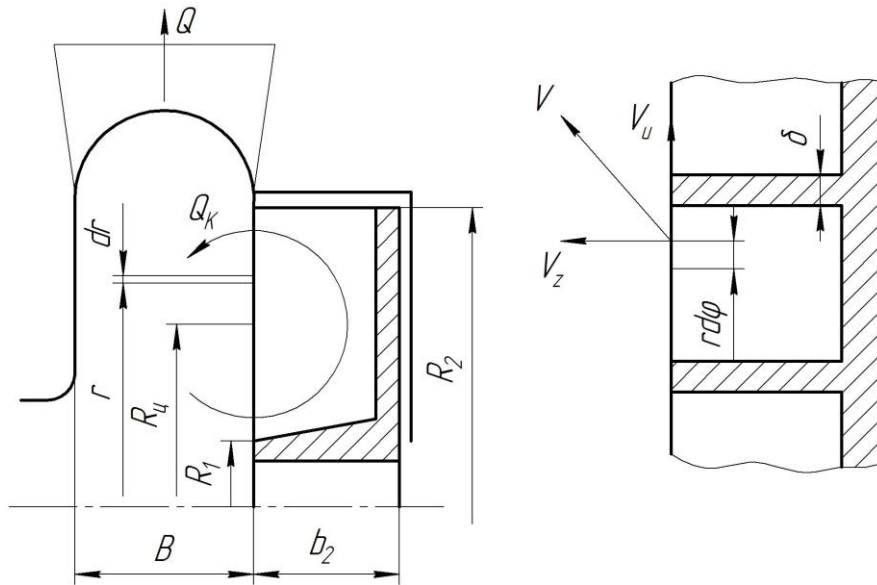


Рисунок 4 – Розрахункова схема руху рідини у ВВН

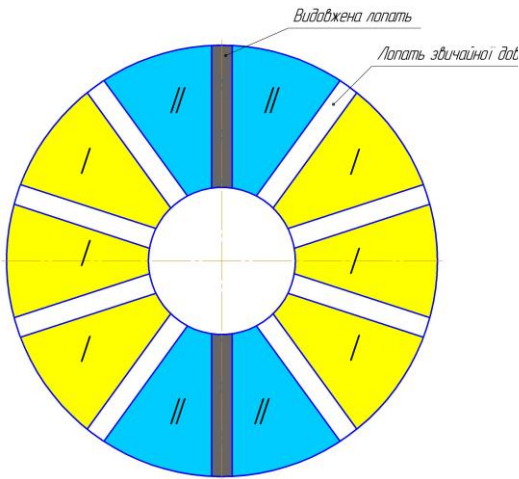


Рисунок 5 – Ділянки руху рідини у РК

Приймаємо наступні припущення:

- рідина нестислива;
- розподіл швидкостей між звичайними лопатями РК (ділянки I, рис. 5) згідно роботи О. Байбакова не залежить від кута φ ;

- розподіл швидкостей між звичайною та видовженою лопатями залежить від кута φ , причому характер розподілу при переході від звичайної лопаті до видовженої та від видовженої до звичайної (ділянки II, рис. 5) є симетричним відносно видовженої лопаті.

Тоді напір насоса можна визначити за виразом

$$H = H_I + H_{II} = \frac{(Z - 2Z_1)}{Z} \cdot 2\pi \cdot \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\eta}{\eta_{MEX}} \cdot \frac{1}{Q} \int_{R_1}^{R_2} V_{uI} V_{zI} r^2 dr +$$

$$+ \frac{2Z_1}{Z} \cdot 2\pi \cdot \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\eta}{\eta_{MEX}} \cdot \frac{1}{Q} \int_{R_1}^{R_2} \int_0^{2\pi/Z} V_{uII} V_{zII} dr d\varphi \quad (1)$$

де H_I – напір, створюваний за рахунок передачі енергії на ділянках між звичайними лопатями;

H_{II} – напір, створюваний за рахунок передачі енергії на ділянках між звичайними та видовженими лопатями;

Z – загальна кількість лопатей РК;

Z_1 – кількість лопатей РК, висунутих у вільну камеру насоса.

Для розв'язання рівняння (1) необхідно знати закон зміни швидкостей V_u і V_z вздовж лопаті РК у функції від кута φ .

Оскільки дослідження характеру розподілу швидкостей у ВВН з частиною лопатей, висунутих у вільну камеру, за допомогою зондування є неможливим, подальше дослідження було проведене за допомогою числового експерименту з використанням програмного продукту (ПП) ANSYS Academic Research CFD 12.1.

В основу даного ПП покладений метод числового розв'язання фундаментальних законів гідромеханіки: рівнянь руху в'язкої рідини разом з рівнянням нерозривності, що забезпечує обґрунтованість застосування результатів числового дослідження.

Розрахунок течії було виконано шляхом числового розв'язання системи рівнянь, які описують найбільш загальний випадок руху рідкого середовища – рівнянь Нав'є-Стокса та рівняння нерозривності. Моделювання турбулентних течій було виконано з використанням рівнянь Рейнольдса, для замикання яких у даному ПП використовується ряд моделей турбулентності.

Попередні дослідження І. Криштопа свідчать, що для проведення розрахунку течії у ВВН найбільш доцільно використовувати SST модель турбулентності.

Розрахунок було виконано у стаціонарній постановці. Робоче середовище (вода за нормальних умов) вважалося нестисливим, режим течії – турбулентним.

Математична модель, що використана у розрахунках, ґрунтується на системі рівнянь збереження імпульсу та маси, та SST-моделі турбулентності:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} &= F_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{\mu_{ef}}{\rho} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right]; \\ \frac{\partial u_i}{\partial x_i} &= 0; \\ \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j k) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_{ef} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \beta^* \rho k \omega; \\ \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j \omega) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu_{ef} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) - \rho \beta \omega^2 + C d_\omega + \alpha \frac{\rho}{\mu_t} P_k, \end{aligned} \quad (2)$$

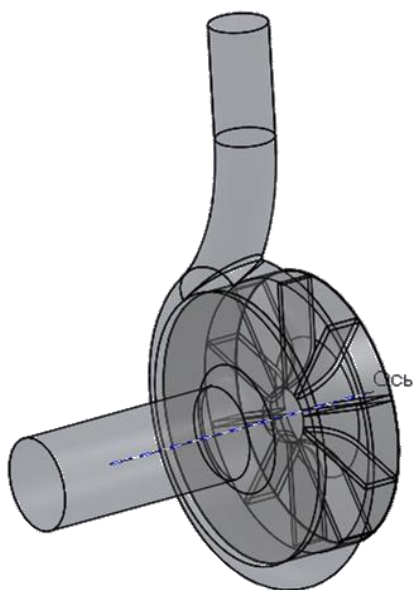


Рисунок 6 – Тривимірні рідиннотільні моделі

Під час проведення числового дослідження були прийняті наступні припущення:

- потік на вході у розрахункову область є вісесиметричним;
- режим течії є усталеним;
- течія у ніші корпусу за РК не впливає на параметри основного потоку у насосі та його інтегральні характеристики.

Для проведення числового експерименту за допомогою програмного продукту SolidWorks були створені тривимірні рідиннотільні моделі робочого колеса і корпусу насоса (рис. 6).

Після створення рідиннотільних моделей були побудовані розрахункові сітки (рис. 7). Для РК була побудована блочно-структурована гексаедрна сітка. Для корпусу насоса була

побудована неструктурована тетраедрна сітка. Поблизу твердих стінок були створені декілька шарів призматичних комірок, що дозволило збільшити роздільну здатність пристінкової області для розрахунку примежевого шару. За результатами розрахунків величина змінної Y^+ становила не більше 2, що підтверджує адекватність використання SST-моделі турбулентності. Густина розрахункових сіток складала: для РК – 1 200 000 комірок і 285 000 вузлів, для корпусу насоса – 1 500 000 комірок і 420 000 вузлів.

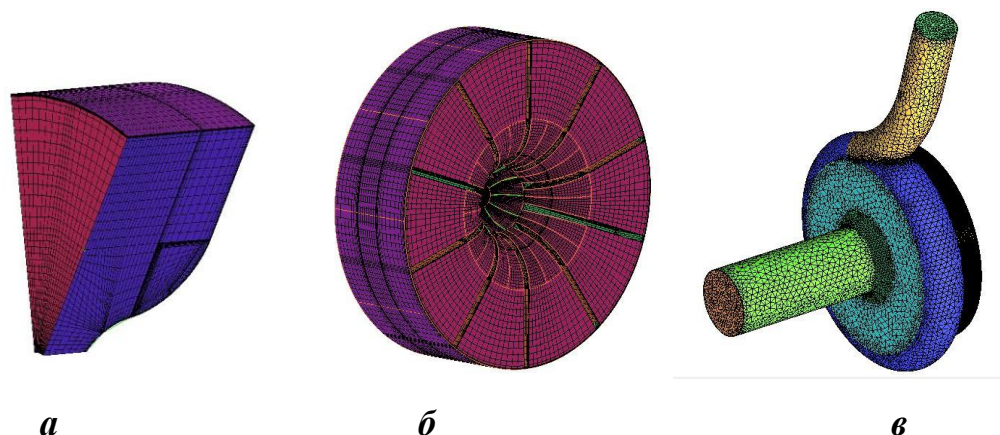


Рисунок 7 – Вигляд розрахункових сіток:

a – елементу робочого колеса; б – робочого колеса; в – корпусу насоса

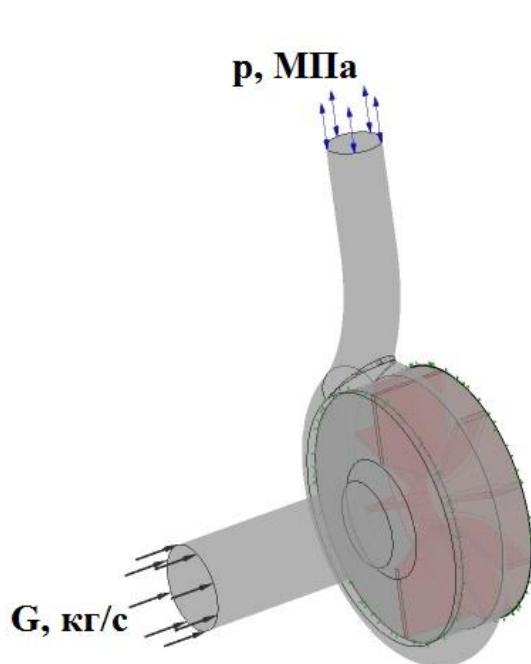


Рисунок 8 – Розрахункова область

Після генерації сіток у Пре-Процесорі була створена розрахункова область (рис. 8), яка складалась з робочого колеса та корпусу насоса, який поєднує у собі вхідний патрубок, вільну камеру та вихідний патрубок. На вході в розрахункову область задавалась масова витрата (G , кг/с). Для параметрів турбулентності на вході був заданий середній рівень інтенсивності. На виході з розрахункової області задавалась величина статичного тиску (p , МПа).

Були визначені області інтерфейсу на межі взаємодії роторних і статорних елементів. Тип інтерфейсу був вказаний як «frozen rotor» («заморожений ротор»), що передбачало осереднення параметрів за часом.

За результатами розрахунку було отримано картини течії у проточній частині насоса (рис. 9) та розподіл коллової V_u та радіальної V_z складової швидкості перед РК (рис. 10).

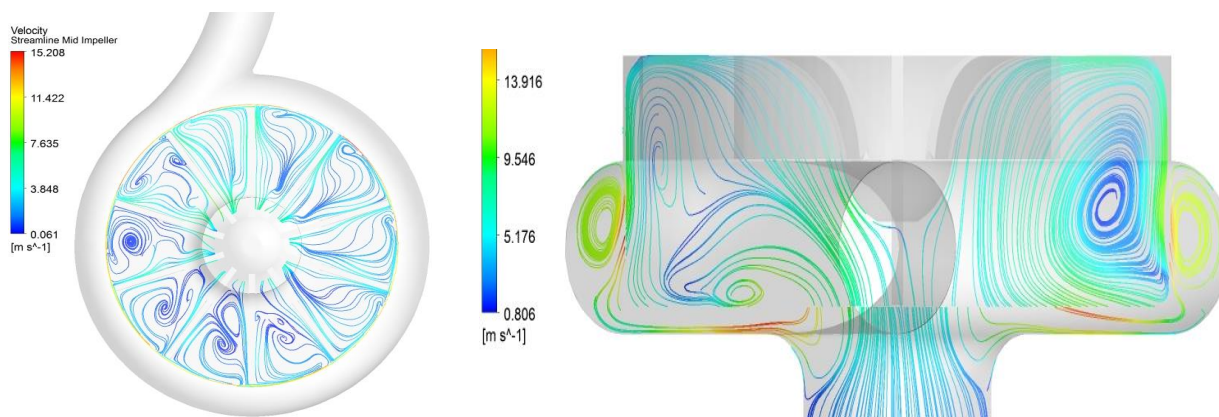


Рисунок 9 – Картини течії у проточній частині

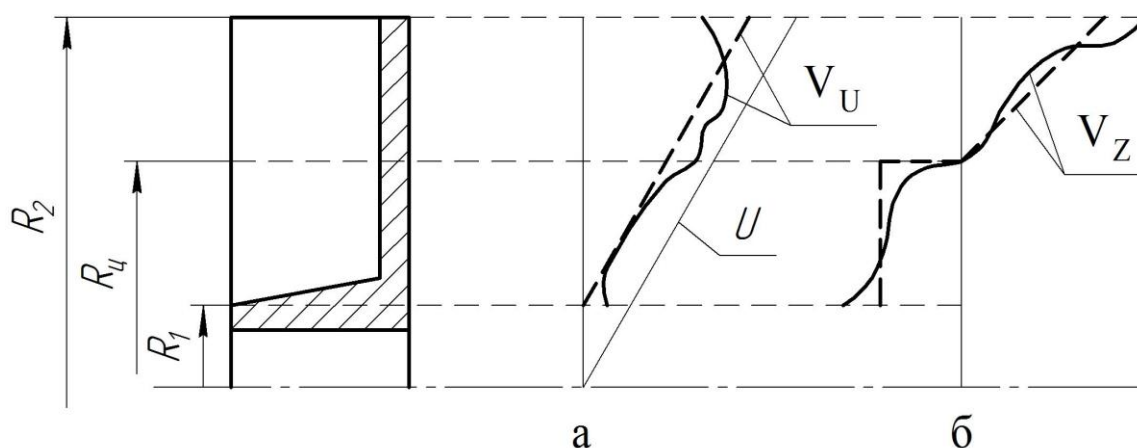


Рисунок 10 – Розподіл швидкостей вздовж лопаті РК звичайної довжини

Підставляючи у першу частину виразу (1) закони зміни колової і осьової складової швидкостей вздовж лопаті і інтегруючи, отримуємо

$$\begin{aligned}
 H_1 &= 2\pi \frac{\omega}{g} \frac{\eta}{\eta_{MEX}} \frac{1}{Q} \int_{R_1}^{R_2} V_u V_z r^2 dr = 2\pi \frac{\omega}{g} \frac{\eta}{\eta_{MEX}} \frac{1}{Q} \times \\
 &\times \left[\int_{R_0}^{R_2} \omega a_1 (r - R_1) a_3 Q_K (r - R_0) r^2 dr - \int_{R_1}^{R_0} \omega a_1 (r - R_1) a_2 Q_K r^2 dr \right] = \quad (3) \\
 &= 2\pi \frac{\omega^2}{n} \frac{\eta}{\eta_{MEX}} \frac{Q_K}{Q} a_1 (a_3 A_1 - a_2 A_2) = \frac{(Z - 2Z_1)}{Z} 2\pi \frac{\omega^2}{g} \frac{\eta}{\eta_{MEX}} F_1 F_2 D_2^2,
 \end{aligned}$$

де $F_1 = f(\bar{D}_1, \bar{\delta}, z) = \frac{a_1 (a_3 A_1 - a_2 A_2)}{D_2^2}$, $F_2 = f(\bar{B}, \bar{b}_2) = \frac{Q_K}{Q}$.

Для визначення моменту кількості руху рідини на ділянці колеса II (див. рис. 11) виділимо на кромці лопаті три характерні ділянки: 1 – вздовж частини зовнішньої поверхні лопаті, яка виступає у вільну камеру; 2 – вздовж торцевої поверхні лопаті у вільній камері; 3 – вздовж вхідної частини лопаті, нахиленої до осі обертання колеса під кутом α .

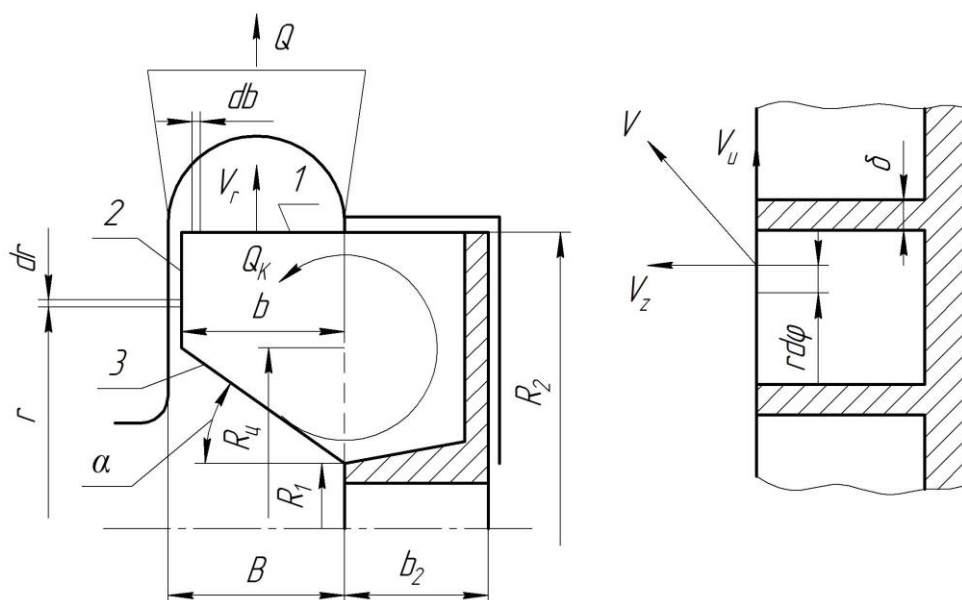


Рисунок 11 – Розрахункова схема для визначення H_{II}

Тоді

$$H_{II} = H_{II1} + H_{II2} + H_{II3}, \quad (4)$$

де

$$H_{II1} = 2\pi \cdot \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\eta}{\eta_{MEX}} \cdot \frac{1}{Q} \int_0^b \int_0^{2\pi/Z} V_u V_r db d\varphi,$$

$$H_{II2} = 2\pi \cdot \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\eta}{\eta_{MEX}} \cdot \frac{1}{Q} \int_{R2-Btg\alpha}^{R2} \int_0^{2\pi/Z} V_{u2} V_{z2} r^2 dr d\varphi,$$

$$H_{II3} = 2\pi \cdot \frac{\omega}{g} \cdot \frac{\eta}{\eta_{MEX}} \cdot \frac{1}{Q} \int_{R1}^{R2-Btg\alpha} \int_0^{2\pi/Z} V_{u2} V_{z2} r^2 dr d\varphi.$$

Розв'язавши окремо кожну зі складових рівняння (4) та підставивши отримані вирази в (1) отримуємо

$$H = H_I + H_{II} = 2\pi \frac{\omega^2}{g} \frac{\eta}{\eta_{mex}} \frac{F_1 F_2 D_2^2}{\left(\frac{z - 2z_1}{z} + \frac{2z_1}{z(1+F)} \right)}, \quad (5)$$

де $F = f(\bar{b}, \alpha) = \bar{b} \cdot \frac{\alpha}{90}$.

У третьому розділі «Експериментальне дослідження вільновихрового насоса» подано опис експериментальної установки для ВВН, приладів для вимірювання, виконано оцінювання похибок прямих і непрямих вимірювань, викладено результати експериментальних досліджень.

Відповідно до поставленої мети і задач описано програму і методику проведення експериментальних досліджень дослідного зразка ВВН типу «Turo». Наведено методику обробки результатів дослідження та визначення похибок вимірювань (випадкових та систематичних).

З метою виявлення впливу геометричних параметрів РК на характеристики ВВН на експериментальному стенді було проведено серію випробувань, у якій відвід насоса залишався незмінним, а РК (рис. 12) були виготовлені із різним співвідношенням геометричних параметрів. Під час проведення досліджень варіювались:

- кількість лопатей, висунутих у вільну камеру насоса z_1 ($z_1 = 0, 2, 3, 4$);
- величина висування лопатей у вільну камеру $\bar{b} = \frac{b}{B}$ (див рис. 13);
- кут нахилу вхідної кромки лопаті α (див рис. 3.2).

Отримані експериментальні дані (рис. 14) свідчать, що зі збільшенням числа лопатей, висунутих у вільну камеру відбувається зростання напору насоса та його ККД, а оптимальний режим роботи зміщується у бік більших значень подач.

Під час аналізу результатів експериментальних досліджень підтверджено вплив співвідношення геометричних параметрів РК ВВН вдосконаленої конструкції на робочі характеристики насоса і встановлені оптимальні значення кількості лопатей, висунутих у вільну камеру ($z_1 = 2 - 4$), та кута нахилу їх вхідної кромки ($\alpha = 40 - 50^\circ$).



Рисунок 12 – Експериментальне робоче колесо

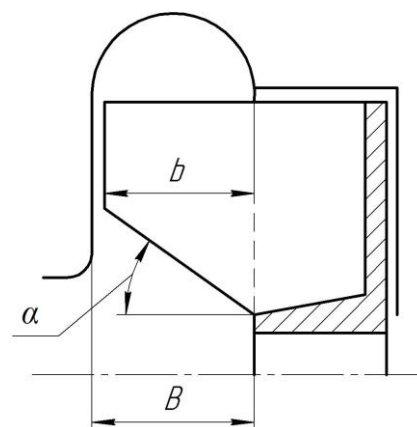


Рисунок 13 – Геометричні параметри робочого колеса

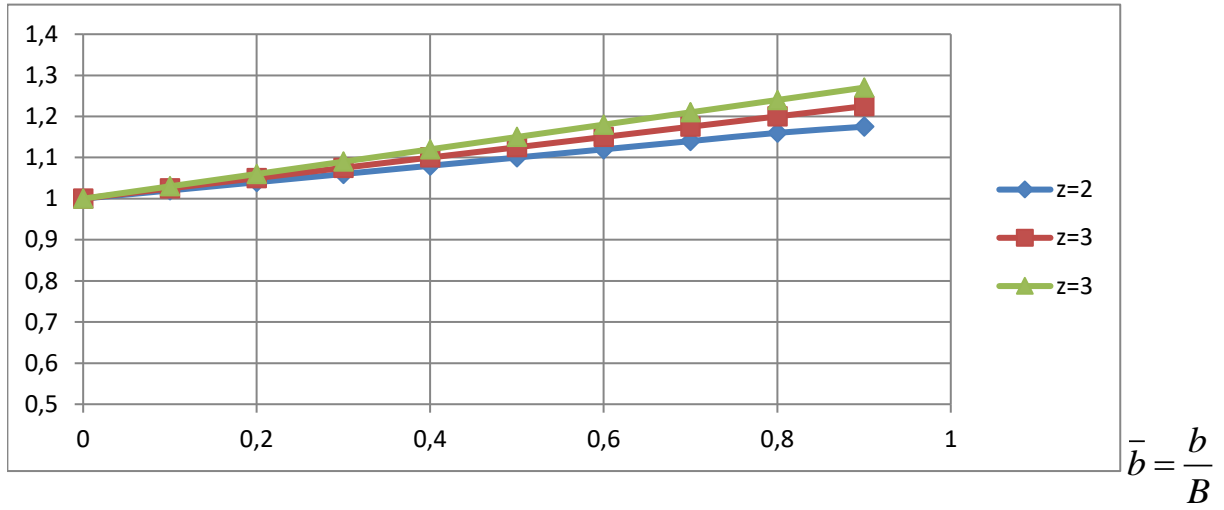
Порівняння результатів розрахунку та числового і фізичного експерименту дає підстави стверджувати про адекватність припущень, прийнятих під час розробки математичної моделі та проведення числового експерименту.

У четвертому розділі «**Методика розрахунку. Оцінювання ефективності впровадження результатів роботи**» наведено алгоритм проектування ВВН типу «Туго» з удосконаленою геометрією РК.

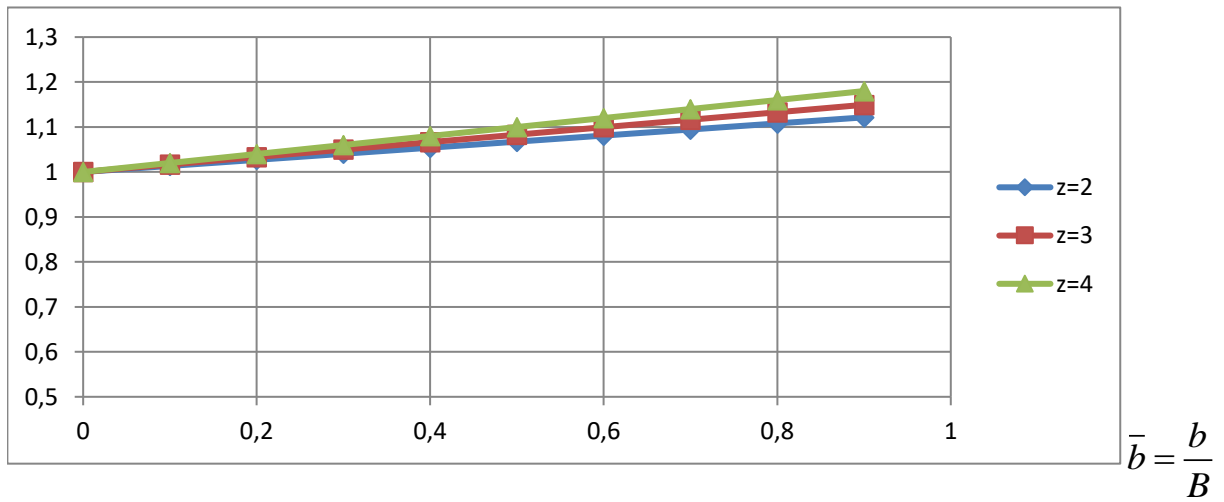
На основі попередніх досліджень (В. Герман, К. Рючі, А. Корбутовський, Г. Грабов, М. Сазукі) з урахуванням результатів, отриманих у даній роботі, встановлені наступні рекомендації щодо вибору оптимальних геометричних параметрів РК ВВН під час проведення його проектного розрахунку:

- РК з прямими радіальними лопатями як найбільш технологічне під час виготовлення;
- відносне значення діаметру входу РК $\bar{D}_1 = 0,15 - 0,25$;
- відносна ширина лопаті колеса на виході $\bar{b}_2 = 0,14 - 0,2$;
- число лопатей $z = 10$ або 12 ;

$$\bar{H}_{onm} = \frac{H'_{onm}}{H_{onm}}$$



$$\bar{\eta}_{onm} = \frac{\eta'_{onm}}{\eta_{onm}}$$



$$\bar{Q}_{onm} = \frac{Q'_{onm}}{Q_{onm}}$$

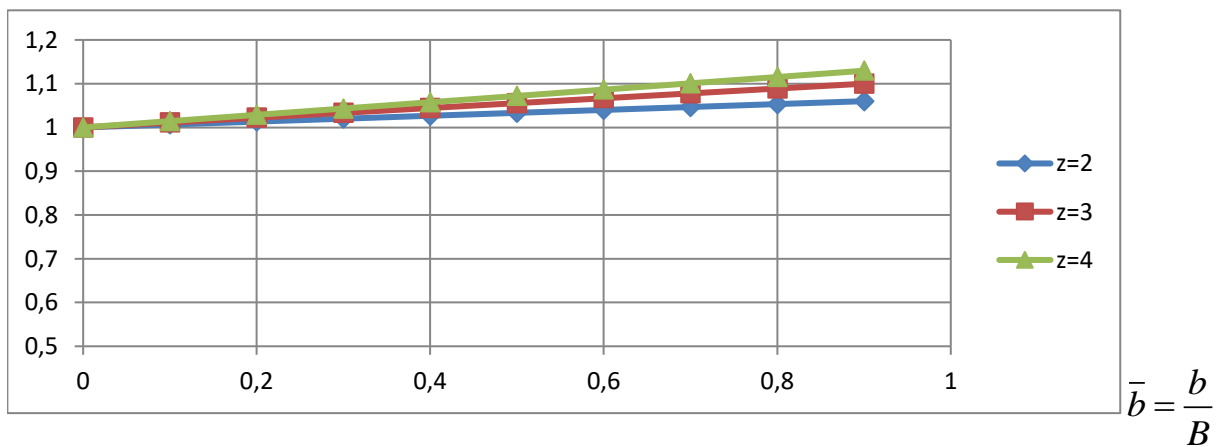


Рисунок 14 – Вплив параметра \bar{b} на характеристики насоса

- кількість лопатей, висунутих у вільну камеру $z_1 = 2, 3, 4$;
- кут нахилу вхідної кромки РК $\alpha = 40 - 50^\circ$.

Методика розрахунку рекомендована під час проектування ВВН типу «Туго» і може бути використана у діапазоні коефіцієнтів швидкохідності $n_s = 60 - 180$.

Розрахунок полягає у визначенні оптимальних геометричних співвідношень проточної частини за заданими параметрами насоса.

Шляхом розв'язання інтерполяційної задачі під час планування багатофакторних експериментів було визначено коригувальні коефіцієнти, рекомендовані для спрощення перерахунків робочих параметрів з моделі (ВВН з лопатями звичайної довжини) на натурний насос (ВВН з видовженими лопатями).

Обґрунтовано використання методу Харінгтона для оцінювання якості продукції по одному ключовому показнику. За допомогою експертного методу визначено коефіцієнти вагомості показників якості. Розраховано інтегральний показник якості модернізованого насоса та насоса-аналога. Встановлено, що технічний рівень спроектованого насоса збільшився на 12 % порівняно з насосом-аналогом.

ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

У дисертаційній роботі вирішене науково-технічне завдання, яке полягає у визначенні закономірностей впливу геометричних параметрів РК ВВН на ефективність процесу передачі енергії від ротора насоса до потоку рідини, що дозволило вдосконалити ВВН типу «Туго» та підвищити їх технічний рівень.

Реалізація мети та задач дослідження дає підстави сформулювати наступні висновки:

1 Розроблено математичну модель розрахунку робочого процесу ВВН типу «Туго» з удосконаленою геометрією робочого колеса, яка враховує можливість використання передачі потужності від ротора насоса до потоку рідини у результаті не лише вихрового, але й лопатевого робочого процесу.

2 На основі числового розрахунку встановлено характер розподілу швидкостей вздовж лопаті РК ВВН, що дало змогу провести уточнення математичної моделі руху рідини і процесу передачі енергії у проточній частині ВВН типу «Туго».

3 Під час проведення експериментального дослідження перевірено адекватність отриманої математичної моделі та підтверджено можливість використання немодельної зміни геометрії РК (висування частини лопатей у вільну камеру насоса) з метою підвищення напору насоса та його ефективності ($\Delta\eta = 12\%$).

4 Експериментально досліджено характери впливу геометричних параметрів РК на робочі характеристики ВВН типу «Туго» і встановлені оптимальні значення кількості лопатей, висунутих у вільну камеру ($z_1 = 2 - 4$), та кута нахилу їх вхідної кромки ($\alpha = 40 - 50^\circ$).

5 Розроблено уточнені методичні рекомендації з розрахунку ВВН типу «Туго» з вдосконаленою геометрією РК.

6 Розроблено методичні рекомендації з вдосконалення існуючих насосів за рахунок внесення немодельних змін у геометрію проточної частини. Отримані вирази для визначення коригувальних коефіцієнтів подачі K_Q , напору K_H , ККД K_η в залежності від кількості лопатей звичайної довжини Z_1 , кількості видовжених лопатей Z_2 , відносного видовження лопатей і кута нахилу вхідної кромки видовженої лопаті.

7 Виконано розрахунок рівня якості насосного обладнання на основі методу Харінгтона з визначенням показника технічного рівня нового насосу, який перевищує базову конструкцію на 12%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА

1. Модернизация проточной части свободновихревого насоса типа «Turo» с целью использования комбинированного рабочего процесса / А. А. Евтушенко, А. С. Моргаль, В. А. Панченко, [та ін.] // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2007. - №3(109), Ч. 1. – С. 82-85.

2. Комбинированное использование вихревого и лопастного рабочих процессов в СВН типа "Turo" / А. А. Евтушенко, А. С. Моргаль, В. А. Панченко // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету : конференція присвячена Дню науки України та 60-річчю СумДУ. - Суми : СумДУ, 2008. - Ч.ІІ. - С. 124.

3. Husak O. Design of the essentially new type of axial pumps / O. Husak, A. Yevtushenko, V. Panchenko, N. Fedotova // «MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa». – Simferopol-Lublin, 2009. – Volume 11 A. – PP. 11-19.

4. Пат. №56039 Україна, МПК (2009) F04D7/00 и 201006394. Вільновихоровий насос / В. О. Панченко, А. О. Євтушенко, В. О. Соляник, О. С. Моргаль : Опубл. 27.12.2010, Бюл. №24.

5. Об одном из возможных путей создания свободновихревых насосов типа "TURO" малой быстроходности / А. А. Евтушенко, В. А. Панченко // Сучасні технології в промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій, Суми, 18-22 квітня 2011 року / Ред. кол.: О. Г. Гусак, В. Г. Євтухов. — Суми : СумДУ, 2011. — Ч.3. — С. 105.

6. Герман В. Ф. Поиск путей расширения диапазона рабочих параметров свободновихревых насосов типа "Turo" / В. Ф. Герман, О. Г. Гусак, А. А. Евтушенко, В. А. Панченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий - 2011. - № 4/8(52). - С. 33-37.

7. Герман В. Ф. Диапазоны параметров рабочего процесса свободновихревых насосов / В. Ф. Герман, О. Г. Гусак, А. А. Евтушенко, В. А. Панченко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна - 2011. - Випуск 22(195). - С. 42-53.

8. Підвищення енергоємності вільновихрового насосу типу "Turo" / О. Г. Гусак, С. О. Лугова, В. О. Панченко // Гідроаеромеханіка в інженерній діяльності: матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції. - Черкаси, 2012. — С. 142.

9. Вільновихрові насоси типу "TURO" з комбінованим робочим процесом / В. О. Панченко // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій, м. Суми, 23-26 квітня

2013 р.: у 2-х ч. / Ред.кол.: О. Г. Гусак, В. Г. Євтухов. - Суми : СумДУ, 2013. - Ч.2. - С. 82.

10. Розширення типорозмірного ряду вільновихрових насосів типу «Туго» / В. О. Панченко // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: матеріали XVIII Міжнародної науково-технічної конференції. - Київ, 2013. — С. 140.

11. Використання комбінованого робочого процесу для підвищення енергоємності вільновихрових насосів типу TURO / В. О. Панченко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MICROCAD-2013) : Тези доповідей XXI міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 29-31 травня 2013 р.) / за ред. проф. Товажнянського Л. Л. – Харків : НТУ «ХП», 2013. – Ч.1. – С. 308.

12. Експериментальне дослідження вільновихрових насосів типу "Туго" з комбінованим робочим процесом / В. О. Панченко // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма III Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції, м. Суми, 22-25 квітня 2014 р.: у 2-х ч. / Редкол.: О. Г. Гусак, В. Г. Євтухов. — Суми : СумДУ, 2014. — Ч.2. — С. 170.

13. Планування експерименту при дослідженні вільновихрового насоса з комбінованим робочим процесом / О. Г. Гусак, В. О. Панченко // XVI Міжнародна науково-технічна конференція АС ППП «Промислова гідравліка і пневматика», Харків, 19-21 жовтня 2016 р. : матеріали конференції. – Вінниця: «Глобус-Прес», 2016. – С. 55.

14. Регулювання режиму роботи вільновихрового насоса / В. О. Панченко // Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма IV Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції, м. Суми, 19-22 квітня 2016 р.: у 2-х ч. / Редкол.: О. Г. Гусак, В. Г. Євтухов. - Суми: СумДУ, 2016. - Ч.2. - С. 143.

15. Оптимізація роботи вільновихрового насоса за рахунок немодельної зміни геометрії проточної частини насоса / Т. І. Єрмоленко, В. О. Панченко // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту техн. систем та енергоефективних технологій, м. Суми, 18–21 квітня 2017р.: у 2-х ч. / Ред.кол.: О. Г. Гусак, В. Г. Євтухов. – Суми : СумДУ, 2017. – Ч.2. – С. 51.

16. Підвищення технічного рівня вільновихрового насоса / В. О. Панченко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2017) : матеріали тез доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 24-27 квітня 2017р.) : у 2-х т. / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: А. М. Єрошенко [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – Т. 1. – 208 с.

17. Панченко В. А. Основное уравнение свободновихрового насоса с комбинированным рабочим процессом / В. А. Панченко // Scientific pages. – Brno, 2018. - №9. – PP. 39-40.

18. Numerical research of flow structure in the torque flow pump with the combined working process / V. O. Panchenko // Modern scientific researches. – Minsk, 2018/ - Issue №4. Vol. 1. – PP. 17-24.

19. Panchenko V. Increasing the technical level of a torque flow pump by changing the geometry of a flowing part / V. Panchenko, A. Ivchenko, O. Dynnyk, O. Drach // Technology audit and production reserves. – Kharkiv, 2018. - № 3/1(41). – PP. 10-66.

20. Tkach P. Improvement of cavitation erosion characteristics of the centrifugal inducer stage with the inducer bush / P. Tkach, A. Yashchenko, O. Gusak, S. Khovanskyu, V. Panchenko, I. Grechka // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies / - Kharkiv, 2018. - №4/8(94). – PP 24-31.

21. Розрахунок напору вільновихрового насоса / В. О. Панченко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2019): матеріали тез доповідей ІХ міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 14-16 травня 2019р.): у 2-х т. / Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]; відп. за вип.: А. М. Єрошенко [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2019. – Т. 1. – С. 234.

22. Використання вільновихрових насосів у тваринництві / В. О. Панченко // «Інтеграція освіти, науки та бізнесу в сучасному середовищі: літні диспути»: тези доп. І Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Дніпро, 1-2 серпня 2019р.) – Дніпро, 2019. – С. 543-546.

АНОТАЦІЯ

Панченко В. О. Підвищення технічного рівня вільновихрового насоса шляхом вдосконалення геометрії робочого колеса. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – «Гідравлічні машини і гідропневмоагрегати». – Сумський державний університет. МОН України, Суми, 2019.

Дисертаційна робота присвячена моделюванню робочого процесу вільновихрового насоса, який має вдосконалену геометрію робочого колеса, дослідженню впливу співвідношення геометричних параметрів робочого колеса на характеристики насоса з метою розробки методичних рекомендацій щодо розрахунку нового та вдосконалення існуючого насосного обладнання для підвищення його технічного рівня.

Основним змістом дисертації є удосконалення математичної моделі робочого процесу вільновихрового насоса, яка базується на рівнянні різниці моментів кількості руху рідини, що виходить з робочого колеса насоса та входить до нього. Адекватність отриманої моделі підтверджена результатами експериментальних досліджень з отриманням інтегральних характеристик вільновихрового насоса з різним співвідношенням геометричних параметрів робочого колеса.

Теоретичне дослідження робочого процесу дає уявлення про рух рідини у вільній камері вільновихрового насоса. Аналіз балансу енергій під час застосування комбінованого робочого процесу дозволяє оцінити вагу кожної складової процесу передачі та перетворення енергії та сформулювати умови підвищення ефективності роботи насоса. За допомогою числового дослідження отримано закономірності розподілу складових абсолютної швидкості руху рідини вздовж лопаті насоса, що дозволили розв'язати основне рівняння вільновихрового насоса та отримати удосконалену математичну модель.

Фізичний експеримент на випробувальному стенді дав можливість підтвердити результати числового дослідження і адекватність отриманої математичної моделі та встановити залежності зміни оптимальних значень робочих параметрів насоса від співвідношення геометричних параметрів проточної частини.

На основі удосконаленої математичної моделі з урахуванням отриманих експериментальних даних сформульовано методичні рекомендації з розрахунку нових вільновихрових насосів та вдосконалення існуючих шляхом виконання немодельних змін проточної частини.

Оцінювання технічного рівня насосного обладнання виконане з використанням методу Харінгтона.

Ключові слова: вільновихровий насос, робоче колесо, комбінований робочий процес, баланс енергій, напір насоса, технічний рівень.

ABSTRACT

Panchenko V. O. Improve the technical level of the torque flow pump by improving the geometry of the impeller. – Qualification scientific work on the rights of manuscripts.

The thesis for Candidate of science degree by specialty 05.05.17 – “Hydraulic machines and hydropneumatic units”. – Sumy state university, MESYS of Ukraine, Sumy, 2019.

The thesis is devoted to modeling of workflow of torque flow pump, which has advanced geometry of impeller, to study the influence of the ratio of geometric parameters of impeller on the characteristics of the pump in order to develop methodological recommendations for the calculation of new and improvement of the existing pumping equipment.

The main content of the thesis is to improve the mathematical models of the workflow of a torque flow pump, which is based on the equation of difference between the moments of the amount of fluid motion exiting the pump impeller and entering it. The adequacy of the obtained model is confirmed by the results of experimental studies with obtaining the integral characteristics of a torque flow pump with different ratio of the geometrical parameters of the impeller.

A theoretical study of the workflow gives an idea of the fluid flow in a torque flow pump free pump chamber. The analysis of the energy balance during the combined workflow application allows us to estimate the weight of each component of the energy transfer and conversion process and to formulate conditions for increasing the efficiency of the pump. The numerical study obtained the regularities of the distribution of the components of the absolute velocity of the fluid along the pump blades, which allowed us to solve the basic equation of the torque flow pump and obtain an improved mathematical model.

The physical experiment at the test bench allowed us to confirm the results of the numerical study and the adequacy of the mathematical model obtained and to determine the dependence of the change in the optimal values of the pump operating parameters on the ratio of the geometric parameters of the flowing part.

On the basis of the advanced mathematical model, in the light of the experimental data obtained, methodological recommendations were formulated to calculate new free-flow pumps and to improve existing ones by performing non-model changes in the flow part.

The technical level of the pumping equipment has been evaluated using the Harrington method.

Keywords: torque flow pump, impeller, combined workflow, energy balance, pump head, technical level.

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

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