

Девіз: «Відцентровий насос АХ 65-40-200»

**Студентська наукова робота з галузі науки:
«Системи автоматизованого проектування та
комп'ютерного моделювання в машинобудуванні»**

Тема: «САПР відцентрового насосу»

Суми 2012

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Способи та методи проектування проточних частин відцентрових насосів, сучасний стан проблеми	6
2 Методи дослідження	8
3 Розробка тривимірної моделі відцентрового насосу	10
4 Аналітичне дослідження.....	13
5 Підготовка та проведення обчислювального експерименту	16
5.1 Створення проекту	16
5.2 Стратегія розв'язання задачі.....	19
6 Програмна реалізація	22
Висновки	29
Список літератури	30

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку суспільства все більшої актуальності набуває проблема підвищенні економічної ефективності роботи насосних станцій, обладнаних відцентровими насосами. Це потребує проектування нових високоефективних конструкцій проточних частин насосів. Вирішення цієї проблеми не можливе без використання сучасних інформаційних технологій.

Традиційні методи проектування мають ряд обмежень, помилок і потребують багато часу. При цьому на сучасному етапі розвитку насособудування тестування продукту на відповідність вхідним параметрам, перш ніж запускати його на ринок, має ключове значення для виробників.

Тестування реальної моделі потребує витрат коштів, крім того при зміні конструкції проточної частини насосу, його параметри також необхідно перевірити експериментально, що займає багато часу.

Використання систем автоматизованого проектування дозволить скоротити час та витрати на розробку та тестування моделей насосів. САПР допомагають побудувати прототипи або моделі з меншими витратами часу, зусиль та з більшою точністю. Після цього розроблені моделі необхідно передавати до систем, що моделюють роботу цих прототипів в реальних умовах. Ці системи мають назву CAE системи. Переваги від перевірки моделей за допомогою комп'ютерних технологій – це швидкість та менша вартість.

Таким чином, на сьогоднішній день є актуальною проблема створення засобів автоматизованого проектування відцентрових насосів шляхом інтеграції методів проектування нових проточних частин і CAD, CAE-інструментів в єдину систему проектування. У даному контексті методи проектування проточних частин можна розглядати як методологію нульового

рівня (проектувальні розрахунки), метою яких є накопичення початкового обсягу необхідної інформації, а CAE-інструменти як методологію першого рівня, мета яких замінити експериментальне відпрацювання насосів і надати основну частину необхідної інформації для прийняття рішення в кінцевому виборі альтернатив.

Метою даної роботи є розробка системи автоматизованого проектування проточних частин відцентрових насосів з подальшою перевіркою параметрів моделей, використовуючи програму COSMOSFloWorks.

Для реалізації поставленої мети потрібно вирішити наступні задачі:

- побудувати 3D-модель насоса за допомогою програми SolidWorks;
- параметризувати проточну частину створеної моделі відцентрового насоса;
- перевірити достовірність CAE-інструменту COSMOSFloWorks, вбудованого в САПР SolidWorks шляхом зіставлення результатів розрахунку, виконаних за допомогою даного інструменту з експериментальними характеристиками реального відцентрового насоса;
- перевірити діапазон застосування методик проектування проточних частин відцентрових насосів;
- перевірити можливість інтеграції твердотільної моделі проектованого об'єкта, методик проектування нових проточних частин і CAE-інструменту COSMOSFloWorks в єдину автоматизовану систему проектування;
- виробити рекомендацій зі спільного використання методик проектування нових проточних частин і CAE-інструменту COSMOSFloWorks.

Наукова новизна результатів роботи полягає в наступному:

- розробка нового підходу до створення САПР проточних частин насосів з можливістю визначення реального напору (з певною точністю), що створюється робочим колесом.

Практична цінність результатів роботи полягає в наступному:

- розроблений алгоритм розрахунку і його програмна реалізація дозволяє здійснювати вибір оптимального варіанту проточної частини відцентрового насосу;
- розроблена прикладна програма дозволить проводити автоматизоване проектування проточних частин відцентрових насосів.

Результати даної роботи були апробовані на міжнародній науково-практичній конференції “Інтелектуальні системи у промисловості і освіті – 2011”.

1 СПОСОБИ ТА МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОЧНИХ ЧАСТИН ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ, СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ

В даний час при проектуванні проточних частин відцентрових насосів використовуються такі методи [1]:

- перерахунок з моделі на натурні умови (при наявності модельних проточних частин, що повністю відповідають вимогам технічного завдання);
- перерахунок з моделі на натурні умови з наступним урахуванням немодельних змін (у випадках відхилення модельної проточної частини від повної геометричної подібності);
- розрахунок проточної частини заново із залученням узагальнених емпіричних даних (у випадках відсутності модельних проточних частин);
- чисельний експеримент із застосуванням як модулів, розроблених всередині організації, так і універсальних САЕ-програм.

Багаторічний досвід створення відцентрових насосів показує, що найбільш достовірним методом розрахунку і проектування проточних частин відцентрових насосів залишається метод на основі теорії подібності, який застосовується при наявності модельних проточних частин з необхідним коефіцієнтом швидкохідності. Ця методологія отримала найбільше поширення і не вимагає додаткової експериментальної перевірки.

Досить часто використовуються і методи перерахунку з моделі на натурні умови з наступним урахуванням немодельних змін, так як вони отримані на основі узагальнення значного емпіричного досвіду і прості в застосуванні (не вимагають значних обчислювальних процедур).

Хоча ці два методи проектування популярні, прості та достовірні, їх застосування обмежене, оскільки використовувати їх можна тільки за наявності модельних проточних частин, що забезпечити в деяких випадках неможливо.

Значний інтерес викликає можливість створення методик проектування нових проточних частин і перевірка їх достовірності. При створенні нових проточних частин (у разі відсутності модельних проточних частин) широко застосовують теорію решіток, узагальнені емпіричні залежності або методику розрахунку робочого колеса за одномірною струменевою теорією Ейлера. Найчастіше в даному випадку доводиться розглядати кілька можливих варіантів поєднань геометричних параметрів елементів проточної частини (альтернатив), що забезпечують необхідні робочі параметри. Остаточний вибір альтернатив відбувається тільки на стадії експериментального відпрацювання насосів, що дозволяє накопичити основну частину необхідної інформації для прийняття рішення.

Розробники сучасних CAE-модулів стверджують, що вони мають широку функціональність і можуть бути використані для інженерного аналізу [2], в тому числі і насосного обладнання. Результати конструювання, як правило, містять дані, які можна використовувати в якості вихідних даних для інженерного аналізу. На сьогодні явно окреслилася тенденція доповнення САД-інструментів CAE-інструментами [3], що робить їх дуже зручними для інтеграції в загальну автоматизовану систему проектування. При цьому залишається відкритим питання їх достовірності.

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При виконанні роботи застосовувалися методи геометричного моделювання та теоретико-експериментальний метод дослідження.

Геометричне моделювання виконувалося засобами CAD-системи SolidWorks 2008.

SolidWorks представляє собою програмний продукт, що забезпечує можливості тривимірного твердотілого моделювання, розробки складальних одиниць і моделювання поверхонь. Дана CAD-система в якості промислового стандарту використовує геометричне ядро Parasolid компанії Unigraphics Solutions Inc., в основу якого покладено теорію неоднорідних раціональних B-сплайнів (NURBS) і кривих Безьє [9].

В процесі геометричного моделювання відцентрового насосу в SolidWorks основними інструментами були тіла, обмежені поверхнями, а головними операціями - булеві об'єднання, доповнення, перетин. Таким чином модель насосу представлялася сімейством простих (куля, тор, циліндр, піраміда тощо) і складніших тіл.

Теоретико-експериментальний метод включав у себе аналітичне дослідження та проведення обчислювального експерименту.

Аналітичні дослідження виконані на основі методик запропонованих у роботах [1, 7].

Обчислювальний експеримент проводився, використовуючи CAE-систему COSMOSFloWorks. Дана система призначена для моделювання течій рідин і газів при вирішенні різних завдань.

Для проведення даного експерименту в COSMOSFloWorks був складений проект, де були зазначені вхідні параметри експерименту, властивості середовища та граничні умови. Після запуску експерименту була автоматично сформована розрахункова сітка в проточній частині насосу, при

цьому область, що зайнята твердими тілами, виключалась з розрахунку. Для чисельного вирішення поставленої задачі використовувався метод кінцевих об'ємів.

Зіставлення і перевірка адекватності методик і САЕ-інструменту проводилось з експериментальною характеристикою насосу AX 65-40-200 K (рис. 2.1), що виготовлений і випробуваний ПАТ «НВО ім. Фрунзе» (м. Суми). Насос AX 65-40-200 K - хімічний, одноступінчатий, горизонтальний, консольний, з відкритим робочим колесом, з осьовим підведенням рідини, призначений для перекачування хімічно активних і нейтральних рідин без включень або рідин, що містять тверді включення з об'ємною концентрацією до 1,5% і розміром частинок до 1 мм. Насос створений відповідно до стандарту ISO 2858. Випробування проводилися на спеціалізованому випробувальному стенді для відцентрових насосів типу X (AX) 1.6010-78, який проходить щорічну атестацію в Державному центрі стандартизації, метрології та сертифікації м. Суми.

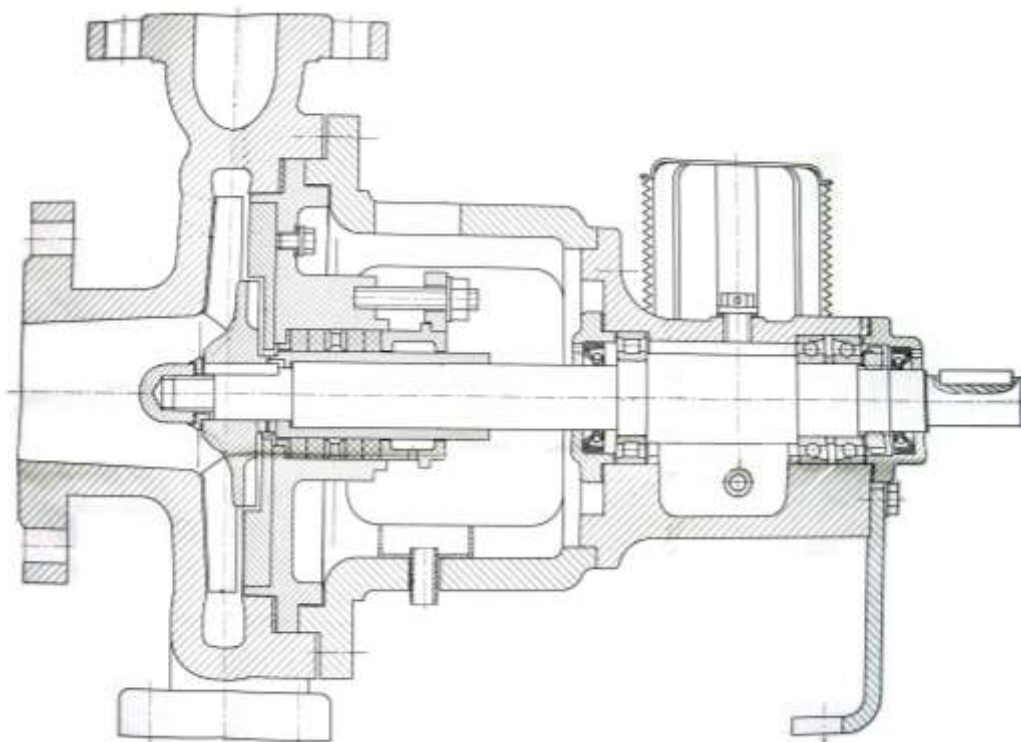


Рисунок 2.1 – Насос AX 65-40-200 K

3 РОЗРОБКА ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ

У даній роботі 3D-модель будувалася за даними складального креслення насоса, робочого креслення колеса, а також креслень внутрішньої порожнини корпусу насоса.

Наведемо основні деталі відцентрового насоса:

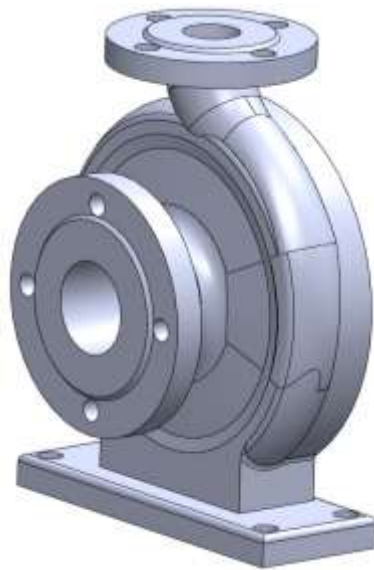


Рисунок 3.1 – Корпус



Рисунок 3.2 – Корпус



Рисунок 3.3 – Робоче колесо



Рисунок 3.4 – Робоче колесо

Складання насоса здійснювалося за допомогою таких спряжень:

- збіг;
- паралельність;
- концентричність;
- відстань (спряження двох деталей, засноване на зазначенні відстані між паралельними гранями даних деталей).

Остаточний вигляд складання насоса зображений на рисунку 3.5.

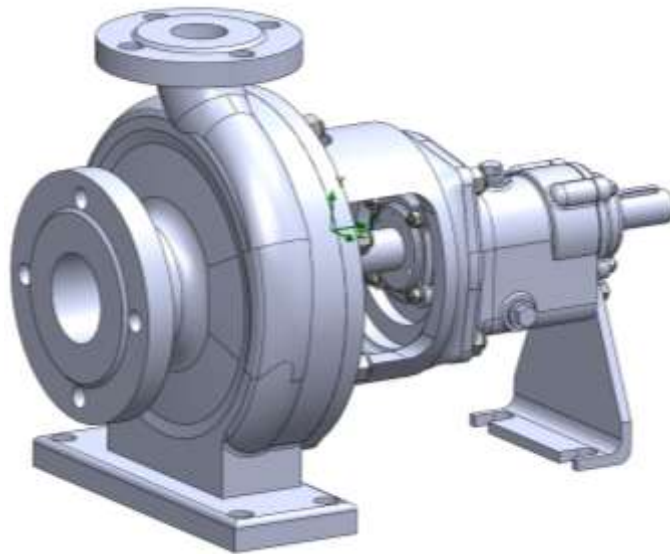


Рисунок 3.5 – Складання відцентрового насосу

Внутрішня область проточної частини відцентрового насоса зображена на рисунку 3.6.

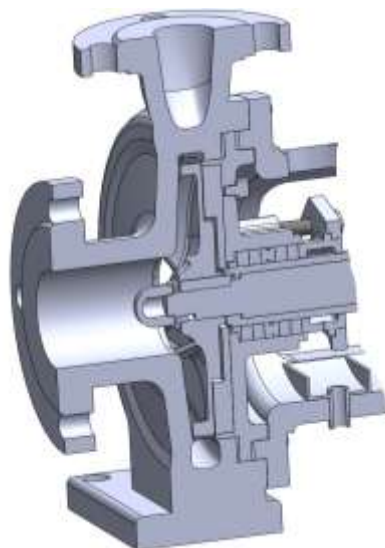


Рисунок 3.6 – Внутрішня область проточної частини відцентрового насосу

4 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводилось в декілька етапів.

На першому етапі реалізовувався розрахунок основних елементів проточної частини, спираючись на методика, наведену в роботі [4].

Вихідними даними для розрахунку були необхідна подача, напір і частота обертання насоса. Спочатку здійснювався вибір основних геометричних параметрів елементів проточної частини. При цьому на стадії вибору основних параметрів також попередньо оцінювалися значення ККД і напору в розрахунковій точці (точці максимального ККД). Попередню оцінку гідравлічного ККД насоса виконували за формулами, використовуючи метод розрахунково-експериментального поділу втрат [5]. Після визначення основних параметрів насоса (вихідного діаметру, ширини колеса на вході і виході, кутів установки лопаті на вході і виході, числа лопатей і т.д.) в рамках одномірної теорії проводився поелементний розрахунок втрат у проточній частині. Втрати напору в насосі визначалися як сума втрат в окремих елементах (колесі, спіралі і дифузори спірального відводу). На основі цих розрахунків уточнювалися параметри насоса. Результати розрахунку порівнювалися з робочою характеристикою насоса, що була отримана в результаті проведення випробувань (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Результати прогнозування напірної характеристики за методикою [4]

Витрати, $\frac{м^3}{год}$	Напір, м		Відхилення, %
	Експеримент	Прогноз	
25	49	48,6	0,8%

Аналіз результатів розрахунку показав, що середня похибка розрахунків знаходиться в межах інженерної точності.

На другому етапі здійснювалося прогнозування робочої характеристики насоса. В основу аналітичного розрахунку характеристики насоса $H = f(Q)$ покладено методику, що наведена в роботах [1, 7].

Спочатку визначався коефіцієнт напору по залежності:

$$\Psi = (0.025\beta_2 - 0.6)q^2\delta_m^2 + (10.6 - 0.23\beta_2)q^2\delta_m + (2.03\beta_2 - 189)q^2 + (0.001\beta_2 - 0.105)\delta_m + (0.002\beta_2 + 1.18), \quad (4.1)$$

де $q = \frac{Q}{\pi D_2 b_2 U_2}$ – коефіцієнт подачі;

$\Psi = \frac{2gH}{u^2}$ – коефіцієнт напору;

β_2 – кут встановлення лопаті на виході з робочого колеса;

δ_m – відносний торцевий зазор між лопатей колеса і корпусом насоса;

D_2 – зовнішній діаметр робочого колеса;

b_2 – ширина робочого колеса на виході;

u_2 – переносна швидкість на виході з робочого колеса.

У даному розрахунку геометричні параметри δ_m , β_2 , D_2 , b_2 , u_2 приймали фіксоване значення, отримане в результаті розрахунку за методикою [4]. Значення Q задавалися відповідно до експериментальної характеристики насоса. За отриманими значеннями коефіцієнта напору визначався напор, і розраховувалося відхилення розрахункових даних від експерименту.

Таблиця 4.2 – Результати прогнозування напірної характеристики за методикою [1, 7]

Витрати, $\frac{m^3}{год}$	Напір, м		Відхилення, %
	Експеримент	Прогноз	
5	56,40	52,888	6,23%
10	55,8	52,448	6,01%
15	54,00	51,715	4,23%
20	52,10	50,688	2,71%
25	49	49,369	0,75%

Аналіз отриманих результатів показав, що середня похибка розрахунків становить 3,986%, що знаходиться в межах інженерної точності.

На наступному етапі проводилося моделювання течії рідини в насосі засобами COSMOSFloWorks.

5 ПІДГОТОВКА ТА ПРОВЕДЕННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

5.1 Створення проекту

Для моделювання течії рідини в насосі був створений проект у COSMOSFloWorks.

Створення проекту в COSMOSFloWorks відбувається за допомогою команди FlowWorks – Project – Wizard.

Основні параметри даного проекту:

- тип аналізу – внутрішній;
- встановимо перемикач “Exclude cavities without flow conditions” (Виключити порожнини без умов течії);
- встановимо параметр “Rotation” (Обертання);
- тип обертання – “Local region(s)” (в локальних областях);
- рідке середовище за замовчуванням – “Water” (вода);
- тверде середовище за замовчуванням – “Steel, stainless”;

Початкові умови для експерименту наступні:

- температура середовища 30°C ;
- температура твердих тіл 30°C ;
- інші параметри залишимо за замовчуванням.

Далі необхідно встановити граничні умови для експерименту. Граничні умови визначають зв'язок фізичних процесів в розрахунковій області з фізичними процесами поза нею.

Для відокремлення розрахункової області від зовнішньої області закриємо вхідний і вихідний отвори насоса кришками (рис. 5.1).

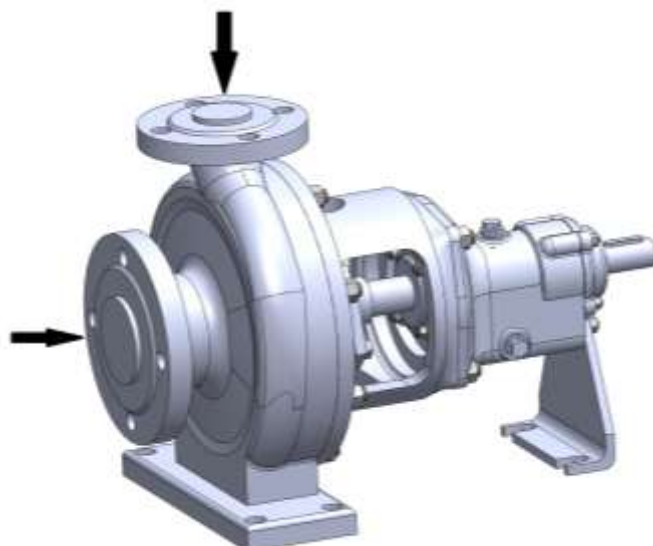


Рисунок 5.1 – Насос з кришками

Для завдання параметрів рідини, що втікає через отвір, виділимо внутрішню поверхню кришки і задамо на ній умови, які має рідина при вході в насос. Відповідно, для завдання вихідної умови, виділимо внутрішню поверхню кришки на виході і задамо на ній умови середовища, в яку рідина витікає.

Замкнута порожнина у внутрішній задачі – це і є її рідинний простір, а кришки є тими елементами, які, доповнюючи систему, пов'язану з тілом, роблять з неї систему "рідина – тіло", в якій вже можливе проведення гідрогазодинамічного аналізу за допомогою COSMOSFloWorks.

Перевіримо, чи повністю кришки перекривають отвір, чи щільно прилягають до отвору, чи не є внутрішній (рідинний) простір незамкнутим, оскільки така модель трактується COSMOSFloWorks як модель без рідинного простору, і при спробі поставити граничні умови буде видано повідомлення про помилку. Для цього використовуємо функцію - Check Geometry (Перевірка геометрії). Як бачимо, і рідина, і тверде тіло має об'єм - значить система "рідина - тіло" створена успішно (рис. 5.2).

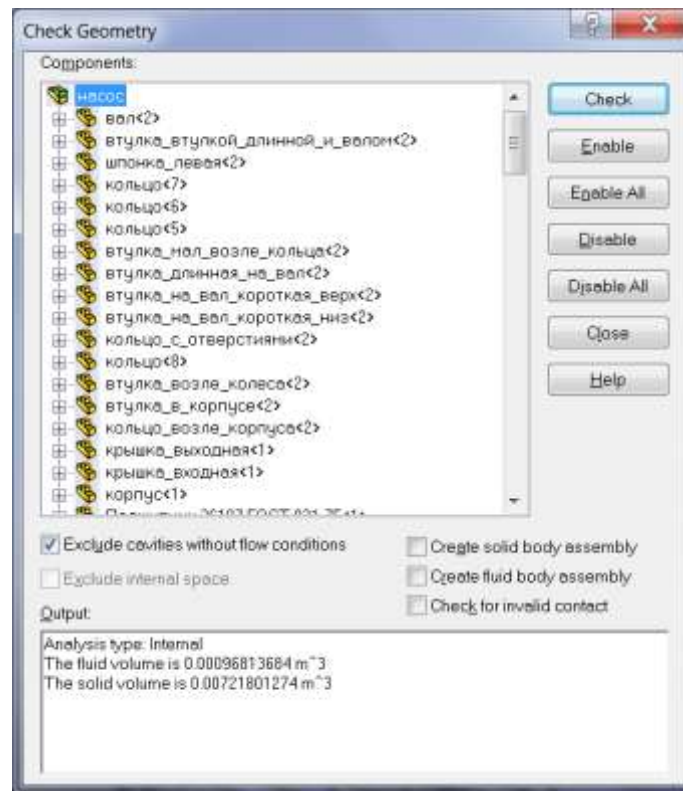


Рисунок 5.2 - Перевірка на замкнутість моделі

Для успішного проведення експерименту необхідно також задати регіон обертання, який буде повністю покривати робоче колесо. Задаємо кутову швидкість обертання $\omega = -314 \frac{rad}{s}$.

Регіон обертання зображений на рисунку 5.4.



Рисунок 5.3 - Регіон обертання

Регіон обертання представляє собою тіло обертання. При цьому його розміри повинні бути трохи більше, ніж розміри деталей, що обертаються в насосі. При обертанні деталей за рахунок тертя рідини об деталь, рідина також починає обертатися разом з деталями. Збільшуючи розміри області обертання, ми тим самим захоплюємо дані шари рідини, що обертається.

5.2 Стратегія розв'язання задачі

У якості вихідних даних для проведення моделювання течії рідини в насосі (рис. 5.5) використовувалися значення тиску рідини на вході і об'ємної витрати рідини на виході з насоса, а також температура рідини, кутова швидкість обертання робочого колеса (ω). У процесі моделювання задавалися значення витрати, що відповідають значенням натурального експерименту. Для додаткового контролю якості розрахунку зіставлялося обчислене значення витрати робочої рідини на вході в насос з заданою витратою на виході.

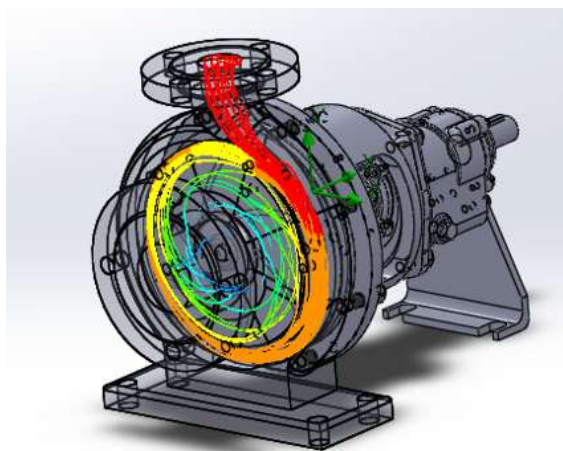


Рисунок 5.4 – Візуалізація ліній струму, пофарбованих за значеннями тиску

Процес розрахунку параметрів течії в насосі ітераційний, тому в ході дослідження потрібно було визначити критерії, за збіжністю яких можна вважати адекватними отримані результати. Основною експлуатаційною характеристикою насосу є напір, а значить параметри, за якими він визначається мають бути віднесені до основних критеріїв збіжності результатів. Тому першими двома критеріями збіжності було обрано повний тиск робочої рідини у вхідному та вихідному перерізах насосу.

Також треба відмітити, що робочий процес насосу призводить до появи на вході в насос вихору. Адекватні результати розрахунку характеристик насосу можна очікувати лише, коли цей вихор остаточно сформувався, тобто досяг усталеного стану. Тому додатковим критерієм збіжності розрахунку було обрано витрату рідини на вході в насос.

Як показали дослідження розробленої моделі, при збіжності усіх трьох виділених критеріїв $H=f(Q)$ -характеристика насосу, розрахована за результатами розрахункового експерименту, збігається з реальною $H=f(Q)$ -характеристикою з достатньою точністю. Але збіжність усіх трьох виділених критеріїв досягається не одноразово. Тому питання, результати якого циклу збіжності критеріїв треба обирати для остаточного визначення характеристик насосу, залишається відкритим.

У результаті розрахункових експериментів були отримані значення тиску рідини на виході з насоса, за якими були розраховані значення напорів, які створюються насосом. Результати зіставлення розрахункових значень і значень, отриманих у ході натурного експерименту, представлені в таблиці 5.1.

Зіставлення результатів моделювання засобами COSMOSFloWorks з експериментальними результатами показало, що створена модель має достатню точність.

Таблиця 5.1 - Результати розрахунку напірної характеристики, що був проведений в COSMOSFloWorks

Витрати, $\frac{m^3}{год}$	Напір, м		Відхилення, %
	Експеримент	Модель COSMOSFloWorks	
5	56,40	43,1	23,58%
10	55,8	51,18	8,28%
15	54,00	51,06	5,44%
20	52,10	49,82	4,38%
25	49	47,57	2,92%

Для наближення результатів моделювання течії рідини у проточній частині відцентрового насоса за допомогою COSMOSFloWorks до даних реального експерименту необхідно рекурсивно проводити розрахунок у COSMOSFloWorks. Після кожного розрахунку необхідно змінювати геометричні параметри проточної частини і проводити розрахунок знову. Такі дії повторюються до тих пір, поки результати розрахунку в COSMOSFloWorks не співпадуть з даними реального експерименту з заданою точністю.

На рис. 5.5 представлено зіставлення експериментальних даних з результатами аналітичного розрахунку і розрахунку за запропонованою моделлю.

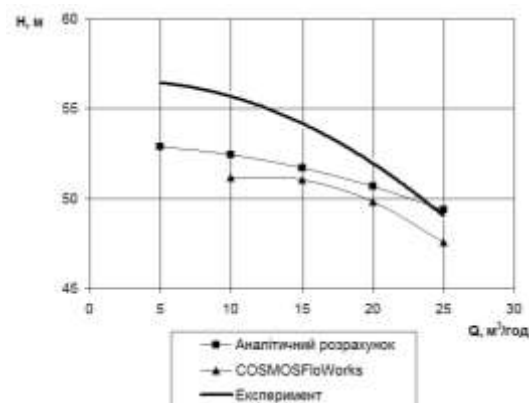


Рисунок 5.5 – Співставлення результатів розрахунку з експериментом

6 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Для реалізації даного проекту була обрана алгоритмічна мова програмування Object Pascal у якості середовища розробки програму Borland Delphi 7.

Система реалізує поєднання розрахункових модулів з подальшою побудовою 3D-моделі насосу у програмі SolidWorks 2008. Після цього побудована модель аналізується за допомогою САЕ-інструменту COSMOSFloWorks.

Після аналізу, видається звіт у вигляді текстового документу, що автоматично генерується засобами програми Borland Delphi 7. Даний документ містить дані про параметри відцентрового насосу.

6.1 Модуль побудови 3D-моделі насосу.

Для розрахунку геометричних параметрів проточної частини відцентрового насосу використовувались геометричні залежності наведені у [1]. Після розрахунку розмірів проточної частини ці дані через API інтерфейсу передаються до параметризованої 3D-моделі насосу з метою перебудови даної моделі. Для доступу до API інтерфейсу програми SolidWorks використовувалася бібліотека sldworks_TLB.dcu, яка містить функції для програмного керування можливостями SolidWorks.

6.2 Модуль аналітичного розрахунку залежності напору від витрат.

В основу аналітичного розрахунку характеристики насоса $H = f(Q)$ покладено методику, що наведена в роботах [1, 7].

Алгоритм роботи даного модулю зображений на рисунку 6.1.

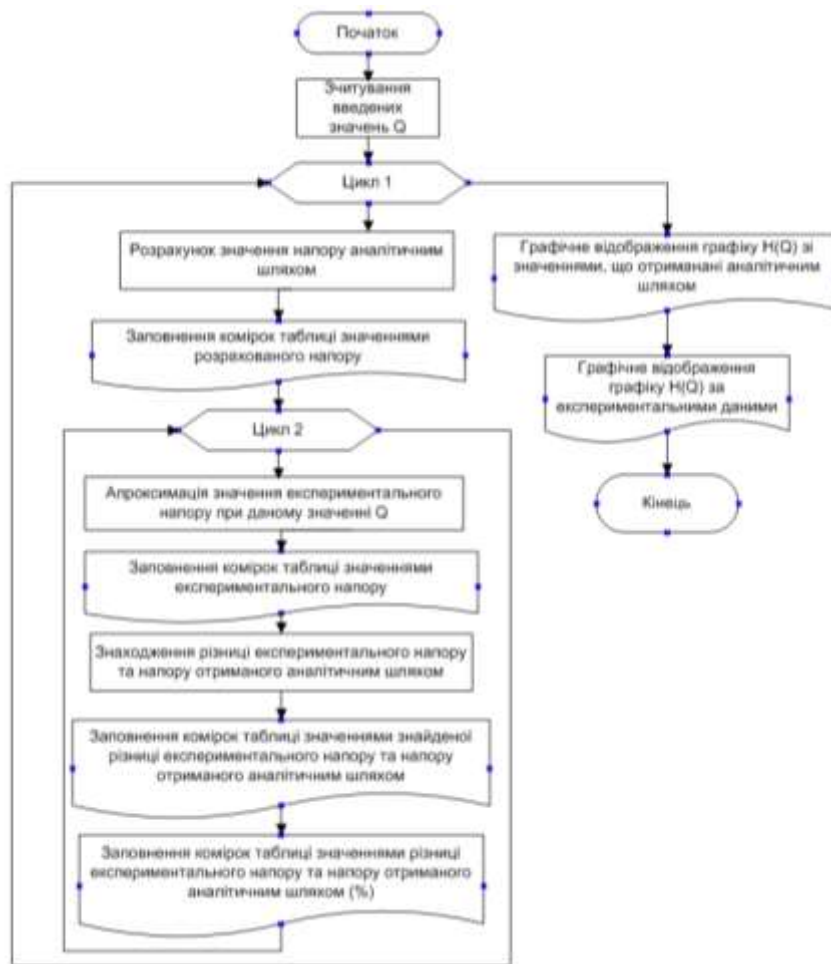


Рисунок 6.1 – Алгоритм роботи модуля аналітичного розрахунку залежності напору від витрат

6.3 Модуль обчислювального експерименту.

В даному модулі напір розраховувався за формулою:

$$H = \frac{P - P_{\text{атм}}}{\rho g}, \quad (6.1)$$

де P – значення тиску отримане з COSMOSFloWorks;

$P_{\text{атм}} = 101325 \text{ Pa}$ – атмосферний тиск;

ρ – густина рідини що перекачується;

$g = 9,8 \frac{\text{M}}{\text{c}^2}$ – прискорення вільного падіння.

Алгоритм роботи даного модулю аналогічний до алгоритму роботи модулю аналітичного розрахунку залежності напору від витрат.

6.4 Порядок роботи з програмою.

Для початку роботи з програмою запускають файл Pump.exe. Після цього на екрані з'явиться вікно для вводу вихідних даних для розрахунку (рис. 6.2).

Введемо наступні вихідні дані:

- подача $Q = 30 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$;
- напір $H = 50 \text{ м}$;
- частота обертання колеса $n = 3000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$;
- густина рідини $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

The screenshot shows a software window titled "Помпа" (Pump) with a menu bar containing "Файл", "Исходные данные", "Геометрические параметры", "Справочные параметры", "3D-модель", "COSMOSFloWorks", and "Аналитический расчет H(Q)". The main area contains input fields for "Подача Q, м3/ч" (30), "Частота вращения n, об/мин" (3000), "Напор H, м" (50), and "Плотность среды, кг/м3" (1000). Below these are three radio button groups: "Тип рабочего колеса" (selected: открытое), "Учитывать импеллер" (selected: да), and "Наличие гидродинамического уплотнения" (selected: нет). A "Рассчитать" button is located at the bottom center.

Рисунок 6.2 – Вікно для вводу вихідних даних

Щоб розрахувати параметри проточної частини насоса, необхідно натиснути на кнопку "Рассчитать".

Для перегляду геометричних параметрів насоса необхідно перейти на вкладку "Геометрические параметры" (рис. 6.3).

Файл	
Исходные данные Геометрические параметры Справочные параметры 3D-модель COSMOSFloWorks Аналитический расчет H(Q)	
Коэффициент быстроходности n	0.310
Коэффициент полезного действия насоса	0.704
Мощность насоса, Вт	5000.117
Диаметр вала насоса, м	0.024
Геометрические параметры на входе в рабочее колесо	
Диаметр втулки рабочего колеса, м	0.04020
Диаметр входной воронки рабочего колеса, м	0.009
Угол установки лопасти на входе в рабочее колесо, градусы	27.878
Ширина рабочего колеса на входе, м	0.032
Толщина лопасти на входе, м	0.004
Число лопастей	6
Геометрические параметры на выходе из рабочего колеса	
Диаметр рабочего колеса на выходе, м	0.181
Ширина рабочего колеса на выходе, м	0.073
Толщина лопасти на выходе, м	0.006
Угол установки лопасти на выходе из рабочего колеса, градусы	3.3
Геометрические параметры спирального отвода	
Диаметр отвода D3, м	0.192
Ширина отвода b3, м	0.016243933
Угол расширения диффузора, градусы	0
Длина диффузорного участка, м	0.134
Диаметр выходного патрубка насоса, м	0.040
Площадь рабочего сечения отвода, м ²	0.00040

Рисунок 6.3 – Геометричні параметри насосу

Для перегляду довідкових параметрів насосу необхідно перейти на вкладку “Справочные параметры” (рис. 6.4).

Файл	
Исходные данные Геометрические параметры Справочные параметры 3D-модель COSMOSFloWorks Аналитический расчет H(Q)	
Гидравлические потери в рабочем колесе	
Потери от поворота потока из осевого направления в радиальное, м	0.564
Потери на трение при движении жидкости в нежелезном канале, м	0.000
Потери от закрутки потока при уменьшении относительной скорости вследствие диффузорности РК, м	0.390
Суммарные гидравлические потери, м	0.954
Потери в спиральном отводе	
Потери на трение в спиральной камере, м	0.078
Потери на вихреобразование в спиральной камере, м	0.558
Суммарные потери в спираль, м	0.642
Потери на трение в коническом диффузоре, м	1.617
Потери от расширения потока в коническом диффузоре, м	0.549
Суммарные потери в диффузоре, м	2.168
Суммарные потери в спиральном отводе, м	10.001
Потери напора на вихревой обмен, м	22.510
Уточненное значение гидравлического КПД	
КПД спирального отвода	0.822
КПД рабочего колеса	0.984
КПД вихревого обмена	0.003
Уточненное значение гидравлического КПД	0.850
Суммарные параметры	
Действительный напор, м	62.036
КПД насоса	0.618
Потребляемая мощность, Вт	6000.933

Рисунок 6.4 – Довідкові параметри насосу

Якщо необхідно зберегти отримані результати розрахунків, викликаємо пункт меню Файл – Сохранить результаты, після чого відкривається стандартне вікно збереження, куди вводимо ім'я файлу і натискаємо кнопку Сохранить.

Вкладка “3D-модель” містить кнопку для завантаження 3D-моделі насосу (рис. 6.5).



Рисунок 6.5 – Вкладка “3D-модель”

Вкладка "COSMOSFloWorks" призначена для побудови графіка залежності напору від витрати на основі введених значень тиску рідини на виході з насоса, які були отримані в COSMOSFloWorks. Щоб побудувати даний графік, введемо в поле кількість експериментів значення 5 (значення повинне лежати в межах від 3 до 7) і натиснемо кнопку "Далее". З'явиться таблиця для введення вихідних даних, введемо туди дані, отримані в результаті проведення експерименту в COSMOSFloWorks. Потім натиснемо кнопку "Построить график". Якщо дані були введені вірно, буде побудований графік і заповнена таблиця результати (рис. 6.6). Якщо ж дані введені невірно, буде виведено відповідне повідомлення (рис. 6.7).

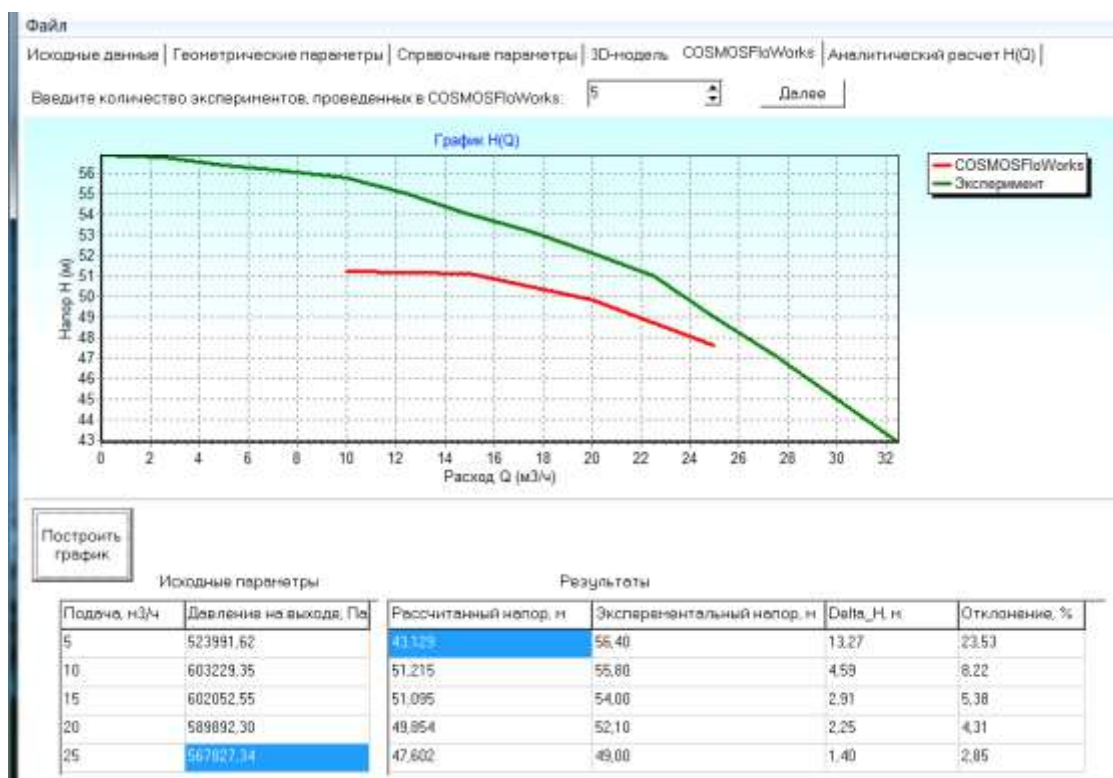


Рисунок 6.6 – Вкладка “COSMOSFloWorks”

Поле "Отклонение" в таблице "Результаты" показує на скільки розраховане значення напору відхилилося у відсотках від відповідних значень реального експерименту.

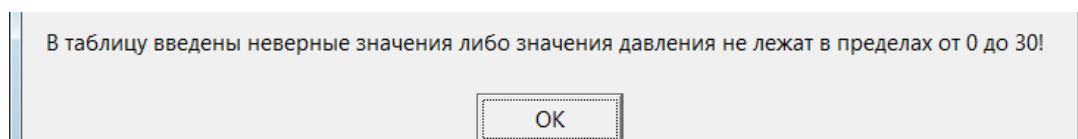


Рисунок 6.7 - Повідомлення про помилку при введенні невірних значень.

Вкладка "Аналитический расчет H (Q)" призначена для побудови графіка залежності напору від витрати аналітичним способом. Щоб побудувати даний графік, необхідно ввести в поле кількість експериментів значення кількості експериментів (значення повинне лежати в межах від 3 до 7) і натиснути кнопку "Далее". З'явиться таблиця для введення вихідних даних, у неї вводяться значення подачі рідини. Потім натискають кнопку "Построить графики и вывести результаты расчета". Якщо дані були введені

вірно, буде побудований графік і заповнена таблиця результати (рис. 6.8). Якщо ж дані введені невірно, буде виведено відповідне повідомлення (рис. 6.7).

Також доступна опція, яка дозволяє взяти вихідні дані для побудови графіка з попереднього розрахунку (COSMOSFloWorks). Для цього поставимо галочку навпроти напису "Взять данные из предыдущего расчета". При цьому значення подачі будуть взяті з попереднього розрахунку, і користувач не зможе вручну ввести ці дані.

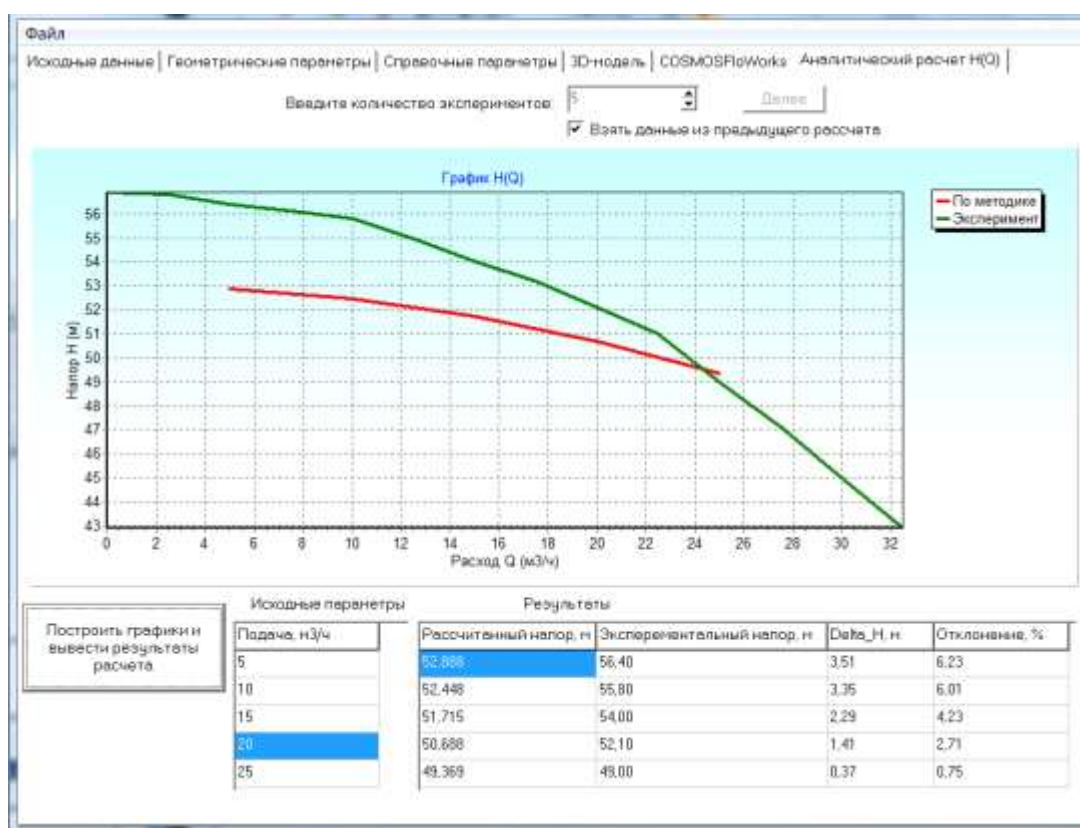


Рисунок 6.8 – Вкладка “Аналитический расчет H(Q)”.

Аналогічно до попереднього розрахунку, тут також є поле "Отклонение" в таблиці "Результаты", яке показує, на скільки розраховане значення напору відхилилося у відсотках від відповідних значень реального експерименту.

ВИСНОВКИ

Під час виконання даної роботи були вирішені наступні задачі:

- побудована 3D-модель насосу за допомогою програми SolidWorks;
- параметризована проточна частина створеної моделі відцентрового насосу;
- шляхом зіставлення результатів розрахунку, виконаних за допомогою САЕ-інструменту COSMOSFloWorks, вбудованого в САПР SolidWorks, з експериментальними характеристиками реального відцентрового насоса було виявлено, що результати даного інструменту є достовірними;
- виконаний розрахунок залежності напору насосу від подачі за допомогою аналітичної моделі;
- шляхом зіставлення результатів розрахунку, виконаних за допомогою аналітичної моделі з експериментальними характеристиками реального відцентрового насоса було виявлено, що результати даної моделі є достовірними.
- вироблені рекомендації зі спільного використання методик проектування нових проточних частин і COSMOSFloWorks.

Запропонована методика використання аналітичної моделі розрахунку параметрів проточної частини відцентрового насосу в поєднанні з рекурсивним розрахунком у COSMOSFloWork, при якому відбуваються зміни параметрів відцентрового насосу, поступово наближаючи результати розрахунку у COSMOSFloWork до даних реального експерименту.

В процесі виконання даної роботи була розроблена програма для розрахунку геометричних параметрів проточної частини відцентрового насосу, вихідними даними для якої є подача, напір, густина рідини та частота обертання робочого колеса насосу. Дана програма також має можливість побудови 3D-моделі відцентрового насосу з подальшою перевіркою параметрів даної моделі використовуючи САЕ-інструмент COSMOSFloWorks. Таким чином, використання даної програми дасть можливість отримувати найбільш ефективні геометричні параметри проточної частини насосу при даних вхідних умовах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ржебаева Н.К., Ржебаев Э.Е. Р48 Расчет и конструирование центробежных насосов: Учебное пособие. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2009. -220с.
2. Алямовский А.А. «Solid Works компьютерное моделирование в инженерной практике».
3. Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации МСАЕ-систем. Часть III.// CAD/CAM/CAE Observer. – 2009. – № 4 (48) – С.64-75.
4. Ржебаева Н.К., Шендрик В.В., Бородай М.В. Методика расчета насосов с полуоткрытыми и открытыми рабочими колесами // Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение. – К.: 2002. Вып. 42, т. 2 – С. 166–170.
5. Ржебаева Н.К., Седая В.В. Баланс энергии на оптимальном режиме и расчет гидравлических потерь в проточной части с полуоткрытыми и открытыми рабочими колесами// Вестник НТУУ «КПИ»: Машиностроение: Вып.35.–К.:1999.–С.205-210.
6. Ржебаева Н.К., Бородай М.В. Баланс энергии в насосах с полуоткрытыми и открытыми рабочими колесами на режимах меньших оптимального // Вестник НТУ «ХПИ»: Технологии в машиностроении. – Х.: 2001. Вып. 129, ч. 2 - С. 372 - 380.
7. Агаджанова С.В. Исследование и разработка методики расчета энергетических характеристик полуоткрытых рабочих колес центробежных насосов.-Дисс. канд техн. наук. –Сумы, 1995.-140с.
8. Лопастные насосы: Справочник/В. А. Зимницкий, А. В. Каплугин, А. Н. Папир, В. А. Умов; Под общ. Ред. В. А. Зимницкого и В. А. Умова – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1986. – 334 с.: ил.
9. Кольцов А.С., Федорков Е.Д. Геометрическое моделирование: Учеб. Пособие. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т., 2005, 183 с.