
ПРИКЛАДНА ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА І ТЕПЛОМАСООБМІН

УДК 621.22; 621.65

РЕАЛІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕЛІ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА НА БАЗІ ЙОГО МАКРОМОДЕЛІ

О.В. Алексенко

Сумський державний університет

У роботі на основі аналізу сучасного досвіду автоматизованого проектування в різних галузях виробництва розроблена ієрархія математичних моделей для проектування насосного устаткування. Розглянуто етапи проектування цих об'єктів і дані рекомендації з вибору рівня моделювання на кожному етапі автоматизованого проектування гідродинамічних насосів. Запропоновано використовувати макромодель, побудовану на основі орієнтовного графа, гілки якого складаються з наборів математичних моделей типових елементів насоса.

СУЧАСНИЙ СТАН НАСОСОБУДУВАННЯ

Насосні агрегати є поширеним обладнанням у промисловості та аграрному комплексі. Згідно з даними головного інституту СРСР з насособудування «ВНДГідромаш» насосне обладнання країни споживало до 20 % усієї виробленої електроенергії. При цьому у загальній кількості насосного устаткування насоси динамічного типу склали частку близько 70 % [1]. До цього часу насосний парк України та його якісний склад майже не змінилися, тому що на переобладнання та модернізацію не вистачає коштів. Тому можна впевнено стверджувати про таку ж частку гідродинамічних насосних агрегатів, до яких належать і відцентрові насоси, у загальному енергоспоживанні України, як і за часів СРСР.

Згідно з умовами ринку була розроблена концепція розвитку насособудування України [2]. Основним принципом розвитку насосного обладнання є перехід до блочно-модульного принципу конструювання та впровадження передових методик проектування. Передбачений новою концепцією розвитку насособудування [1] блочно-модульний принцип проектування потребує вирішення широкого кола питань: розподіл проточної частини насосу на блоки та модулі, з набору яких далі буде формуватися насосний агрегат; створення бази даних блоків та модулів; розроблення зручного інструменту прогнозування характеристик насоса, спроектованого за блочно-модульним принципом.

Використання блочно-модульного конструювання гідродинамічних насосних агрегатів неможливе без модернізації існуючих методик проектування, що є задачею створення науково-методичного забезпечення блочно-модульного проектування насосів. Також для насособудування характерна тенденція впровадження розрахункового експерименту для дослідження конструкцій, що проектуються [3].

Проектування технічного об'єкта починається з отримання технічного завдання. Технічне завдання містить у собі первинний опис об'єкта та вказує діапазон варіації його параметрів. На базі параметрів, заданих у

технічному завданні, виконуються проектні процедури, які призводять до отримання закінченої проектної документації для об'єкта.

Базуючись на встановлених ДСТ 2.103-68 стадіях розроблення, процес проектування відцентрових насосів складається з таких етапів:

1) обирають число потоків і ступеней насоса, попередньо вибирають типи підводу та відводу згідно з параметрами, які наведені в технічному завданні;

2) за даними, що були отримані на першому етапі, підбирають модельну конструкцію робочого колеса та вносять потрібні зміни в розміри за методами теорії подібності [4], якщо відповідного за параметрами модельного колеса немає, виконують розрахунок розмірів нового колеса за методикою, побудованою на основі загальноприйнятих підходів [5,6];

3) розраховують геометричні параметри статорних елементів насоса – підводу та відводу – та допоміжних конструктивних елементів – ущільнень, імперелерів тощо. На цьому етапі відпрацьовуються гідравлічні моделі окремих елементів майбутньої конструкції для отримання потрібних гідравлічних параметрів;

4) прогнозують енергетичні характеристики насоса на базі функціональної моделі насоса, створеної з розрахованих раніше елементів проточної частини і допоміжного тракту. Якщо ці характеристики не відповідають потребам технічного завдання, з'ясовують, які параметри і як потрібно змінити, щоб забезпечити виконання технічного завдання, та виконують багатоваріантні розрахунки та вибирають раціональні значення параметрів;

5) створюють дослідний зразок гідродинамічного насосного агрегату та проводять його експериментальні дослідження для встановлення реальних характеристик машини;

Як бачимо з опису етапів проектування відцентрового насоса, на першому етапі виконується структурний синтез насоса, що проектується. Інженер-проектувальник на основі свого досвіду обирає схематичне рішення конструкції насосного агрегату. Від цього вибору залежить, чи буде насос поставлений на виробництво і чи окупляться всі витрати на розроблення.

На другому, третьому і четвертому етапах проводиться параметричний синтез технічного об'єкта. Ці етапи також відповідальні, тому що від якості проектування, наявності зручних та інженерно точних методик розрахунку на цих етапах залежать наступні матеріальні витрати на доведення агрегату.

Традиційно під час проектування гідродинамічних насосів розраховуються параметри та характеристики окремих елементів проточної частини. При цьому не враховується вплив переструмів робочої рідини між проточною частиною (підведення, робоче колесо, відведення) та допоміжним трактом насоса (канали ущільнень, щілини між ротором та корпусом і т.ін.). Враховуючи масштаби проточної частини відцентрових насосів, переструми складають помітну частину витрати робочої рідини через насос і впливають на його характеристики. Крім того, елементи насоса впливають на роботу один одного, що також потрібно враховувати при побудові моделі робочого процесу гідродинамічних насосів.

Цю проблему можна вирішити, якщо автоматизувати етапи проектування та прогнозувати характеристики створюваного насосного агрегату за допомогою розрахункового експерименту. При цьому потрібно розглядати гідродинамічний насосний агрегат як систему, що складається з взаємодіючих один з одним елементів. Тобто будувати розрахунковий експеримент на базі комплексної моделі робочого процесу.

Також треба відмітити, що для нових конструкцій насосів не можна однозначно визначитися із структурною схемою ще під час першого етапу проектування, що традиційно робиться проектувальниками інтуїтивно. Потрібно проводити варіантні розрахунки різних конструктивних схем на перших чотирьох етапах проектування та за одержаними характеристиками вже приймати рішення про оптимальну конструктивну схему гідродинамічного насосного агрегату.

Відповідно до сучасного напрямку розвитку проектування технічних об'єктів маємо тенденцію планомірного переходу до розрахункового експерименту та аналізу різних варіантів конструкції методами математичного моделювання з метою оптимізації та економії витрат. Сутність зазначених тенденцій відносно дослідження лопатевих гідромашин полягає у потребі комплексного проектування їх проточного тракту (проточної частини і допоміжних трактів) з одночасним контролем усіх параметрів насоса, що проектується, та аналізом їх взаємного впливу.

Фактично для виконання структурного синтезу об'єкта потрібно виконувати багатоваріантне дослідження з пошуком раціональної з точки зору технічного завдання конструктивної схеми. Мікрорівень моделювання фізичних процесів на сучасному етапі розвитку технічних засобів не дозволяє проводити чисельне дослідження багатьох модифікацій технічних об'єктів. Тому на етапі створення технічного проекту зручно користуватися макромоделлю досліджуваної системи. Далі, коли вибрано варіант структурної схеми та конструктивного виконання елементів для отримання найбільш точних результатів, доцільно досліджувати систему на мікрорівні.

Реалізувати ці потреби можна завдяки використанню методів макромоделювання для отримання комплексної математичної моделі відцентрового насоса і врахування взаємного впливу елементів. А використання математичних моделей елементів насосів з різною мірою деталізації фізичних процесів, що в них відбуваються, дозволить отримати задовільні з інженерної точки зору результати на кожній стадії розроблення нового гідродинамічного насосного агрегату при використанні єдиних підходів до моделювання.

Таким чином, для переходу до блочно-модульного конструювання насосного обладнання необхідно модернізувати самі методики проектування. Перші етапи проектування гідродинамічних насосних агрегатів, на яких відбувається вибір схематичного рішення та конструкції елементів насоса, завжди відбувалися інтуїтивно на основі досвіду конкретного інженера-проектувальника без раціонального обґрунтування. Сучасний етап розвитку насособудування потребує зменшення, а краще виключення впливу суб'єктивних факторів при розробленні нових конструкцій динамічних насосів та модернізації існуючих. Таким чином, задача створення методики автоматизованого вибору структурної схеми та проектування відцентрових насосів є актуальною. Її розроблення та впровадження дозволить прискорити проектування нового насосного обладнання, зменшити його строки та вартість, підвищити його якість та збільшити енергоефективність та конкурентоспроможність самого насосного обладнання.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Для якісного моделювання робочого процесу відцентрового насоса потрібно проаналізувати його як складну систему. Побудова комплексної моделі гідродинамічного насосного агрегату як фізичного об'єкта неможлива без застосування системного аналізу. Основний принцип системного аналізу полягає в розгляді частин системи з урахуванням їх

взаємодії. Системний підхід також містить у собі виявлення структури системи і типізацію зв'язків.

Функціональне призначення гідродинамічного насосного агрегату – перетворення механічної енергії вала, що обертається, у гідравлічну енергію рідини, що перекачується. Робочий процес відцентрового насоса містить взаємозалежні між собою види руху:

- гідравлічний рух робочої рідини;
- механічний поступальний рух;
- механічний обертальний рух.

Тому найбільш повна модель відцентрового насоса як системи повинна складатися з гідравлічної та механічної підсистем. Гідродинамічний насос своє функціональне призначення виконує за рахунок механічних процесів несталого руху окремих елементів. У роботі [7] наведена методика аналізу механічного руху окремих елементів. У даному дослідженні розглядається лише гідравлічна підсистема, а створення механічної підсистеми відцентрових насосів потребує подальшого розвитку в наступних дослідженнях.

При побудові математичної моделі гідравлічної системи відцентрового насоса вочевидь моделюються потоки робочої рідини. Тому перш за все потрібно проаналізувати наявні конструкції гідродинамічних насосів з точки зору кількості потоків та їх напрямків. Можна виділити такі основні конструктивні схеми відцентрових насосів для чистої рідини: однопоточний одноступеневий, однопоточний багатоступеневий та багатопоточний багатоступеневий насос.

Конструкції відцентрових насосів для газорідних сумішей і забруднених рідин відрізняються від традиційних конструкцій для чистих рідин [8]: мають перерозширену меридіанну проекцію, зменшене число лопатей ($z \leq 3$), на дисках робочого колеса встановлюються імпелери, ширина порожнин між диском робочого колеса і корпусом насоса у порівнянні зі звичайними відцентровими насосами збільшена. Ці конструктивні особливості вводяться для одержання необхідних експлуатаційних показників, але вони впливають на розподіл енергії в насосі.

Відцентрові насоси мають досить різноманітні структурні схеми та конструюються з великої кількості елементів. В свою чергу, елементи, що складають відцентровий насос, мають різноманітні модифікації. З конструкторської точки зору елементами відцентрового насоса є конструктивні вузли та деталі.

Наведені типи відцентрових насосів мають спільні типи елементів, але найсуттєвішою різницею в них є тип насосного ступеня. Однопоточні відцентрові насоси мають насосний ступінь, що складається з робочого колеса, напрямного апарата, передньої та задньої пазух. Ці елементи утворюють в насосному ступені два контури перетікання – через передню та задню пазухи В багатоступеневому відцентровому насосі насосні ступені утворюють послідовну систему. Двопоточні відцентрові насоси мають насосний ступінь з двох паралельно з'єднаних найпростіших насосних ступеней без задньої пазухи. Таким чином, найпростіший насосний ступінь має один контур перетікання – через переднє ущільнення.

Традиційно розраховується течія рідини в елементах проточної частини (підводі, робочому колесі та відводі). Але рідина проходить не тільки через канали проточної частини, а й заповнює допоміжний тракт (пазухи, ущільнення, щілини між ротором та корпусом і т.ін.), де також відбувається перетворення енергії робочої рідини, що впливає на параметри насоса в цілому. Гідравлічна підсистема повинна враховувати взаємодію потоків, що проходять через елементи проточної частини та переструми у допоміжний тракт. Тобто гідравлічна підсистема

відцентрового насоса, в свою чергу, є системою, що складається з елементів, в яких робочій рідині енергія або передається, або розсіюється.

Вивчати структуру об'єкта і будувати його модель зручно із застосуванням блочно-ієрархічного підходу. При цьому систему поділяють на ієрархічні рівні. Докладність опису процесів, що відбуваються, зростає у ході послідовного спуску за рівнями. На верхньому рівні використовують найменш деталізовані уявлення, що відбивають найзагальніші риси й особливості проектованої системи. На наступних рівнях ступінь докладності опису зростає, при цьому розглядаються окремі блоки системи, але з урахуванням впливу на кожний з них сусідніх. Таким чином, блочно-ієрархічний підхід дозволяє розбити складну задачу на групи задач малої розмірності, що істотно знижує вимоги до використовуваних обчислювальних ресурсів і скорочує час вирішення.

Враховуючи вищесказане, можна зробити висновок, що при моделюванні робочого процесу відцентрового насоса доцільно розглядати як систему взаємодіючих між собою елементів. Потрібно використовувати математичні моделі, які адекватно описують робочий процес динамічного насоса без занадто складного математичного опису та підвищених вимог до ресурсів обчислювальної техніки. Це можливо при застосуванні для побудови математичної моделі методів макромоделювання та теорії мереж [9,10].

Для практичного застосування підходів макромоделювання необхідно виконати узагальнення методів розрахунку елементів насосів і практично реалізувати їх, як того вимагає обрана методика макромоделювання.

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КОМПЛЕКСНОЇ МОДЕЛІ

Методи макромоделювання досить докладно вивчені в сучасній науці, їх алгоритми практично реалізовані в радіоелектроніці [9]. При цьому об'єкт моделюється як граф, і система розглядається як одновимірна. Використання макромоделі дозволяє розглядати насос як систему, елементи якої впливають на параметри один одного. Для адекватного опису фізичних явищ математичні моделі елементів та насоса в цілому використовуються закони збереження маси та енергії. Характеристики елементів можна отримати як експериментальним шляхом, так і за допомогою розрахункового експерименту з використанням математичних моделей мікрорівня. У обох випадках характеристики елементів у макромоделі використовуються як зовнішні. Використання програмних засобів дозволяє передавати від елемента до елемента також допоміжну інформацію про течію. Це дозволяє на основі зовнішніх характеристик окремих елементів одержувати зовнішні характеристики системи в цілому.

Потік у відцентровому насосі єдиний: його структура визначається не тільки геометрією і відносною швидкістю обертання елементів проточної частини, але і їхнім сполученням, віддаленістю один від одного. При усталеному русі абсолютного потоку в нерухомих елементах насоса і відносного – у робочому колесі можливий поділ потоку рідини, що перекачується на ділянки, які відповідають конструктивним елементам проточної частини. У цих умовах можна розглядати задачі про рух потоку в окремих елементах проточної частини і допоміжного тракту [5].

Розрахункова модель відцентрового насоса будується з математичних моделей елементів його проточного тракту. На базі цих зовнішніх характеристик отримуються зовнішні характеристики системи – в даному випадку відцентрового насоса.

Загальні принципи її побудови та обраний метод розв'язання збігаються з принципами та методами, використаними при побудові

макромоделей електричних машин [9,11] та гідравлічних ланцюгів [10]. Однак специфіка будови та робочого процесу насосів обумовила такі відмінності математичних моделей типових елементів та загальної математичної моделі насоса:

- а) особливості моделей типових елементів:
 - параметри робочого колеса та відводу залежать від розподілу гідравлічних характеристик – швидкості та тиску;
 - наявність колової складової швидкості v_u , що веде до потреби враховувати взаємодію елементів;
 - залежність від великої кількості факторів;
- б) нелінійні математичні моделі елементів макромоделі. Для більшості елементів відцентрового насоса залежність напору H від витрати q є квадратичною;
- в) наявність готових програмних продуктів і можливості їх застосування для отримання залежностей вихідних характеристик типових елементів від їх вхідних параметрів.

Під час моделювання гідравлічної підсистеми насоса конструктивні вузли не завжди відходять як елементи моделі. Математична модель робочого процесу відцентрового насоса описує течію робочої рідини. Канали, в яких відбувається течія, не завжди є відокремленими вузлами, найчастіше вони створюються кількома конструктивними вузлами, наприклад: пазухи є каналом між дисками робочого колеса та корпусом насоса. Тому типовими елементами, з яких можна сформувати математичну модель відцентрового насоса, є канали для робочої рідини, створені конструктивними блоками системи. Незважаючи на різноманіття конструкцій відцентрових насосів, проточна частина та допоміжний тракт усіх насосів складаються з таких блоків: підвід, насосний ступінь, відвід, імпелери, порожнини між ротором та корпусом та щілини підшипників, що заповнені робочою рідиною, ущільнення та розвантажувальні пристрої.

При використанні блочно-ієрархічного підходу гідродинамічний насос розглядаємо з різним ступенем деталізації. На першому рівні моделювання розглядаємо параметри насоса та розподіляємо його на основні елементи проточного тракту – підвід, насосний ступінь, відвід та розвантажувальний пристрій (якщо він передбачений конструкцією). На другому рівні потрібно більш детально розглядати течію робочої рідини в насосі, коли насосний ступінь та розвантажувальний пристрій є системою каналів, в яких перетворюється гідравлічна енергія.

Тому типові елементи структури відцентрового насоса можуть бути як простими каналами, так і системою каналів, в яких перетворюється енергія. До систем каналів відносимо насосний ступінь та розвантажувальні пристрої. Так, насосний ступінь складається з робочого колеса, прямого апарата, передньої та задньої пазух (кількість елементів залежить від типу насоса); розвантажувальний пристрій розподіляється на систему радіальних на осевих щілин та перевідних каналів (труб). Такі прості блоки математичної моделі відцентрового насоса відносимо до другого рівня моделювання. Такими блоками є підвід, робоче колесо, відвід, імпелери, пазуха, отвори, радіальні та осеві щілини, що заповнені робочою рідиною, ущільнення. Блоки, що складаються з простих елементів, є елементами першого рівня моделі. Таким чином, макромодель відцентрового насоса повинна складатися з математичних моделей першого та другого рівнів, причому математичні моделі першого рівня складаються з математичних моделей другого рівня.

Вибір математичних моделей, які описують течію рідини в типових елементах, має великий вплив на результати розрахункового експерименту. Цілком зрозуміло, що чим ближча модель до реальної

течії, тим кращі результати можна отримати. Однак потрібно знайти рівновагу між складністю використаної моделі та швидкістю розрахунку та потребами в комп'ютерній техніці при її реалізації. Проведений аналіз наявної методики дозволив виділити такі методики, зручні для використання в даному дослідженні:

- проведення розрахунку течії в елементі за алгоритмічними математичними моделями та за необхідності подальше узагальнення результатів розрахунку з використанням методів планування експерименту [12];

- узагальнення результатів фізичного експерименту для відцентрового насоса та розділ характеристик по елементах [13];

- використання аналогій із технічної гідромеханіки для простих елементів допоміжного тракту гідродинамічного насосного агрегату [14].

Усі ці особливості приводять до потреби модифікації існуючих методик розрахунку характеристик елементів відцентрових насосів та їх адаптації для чисельної реалізації макромоделі.

Проведений огляд конструктивних схем відцентрових насосів дозволив виділити такі типові елементи: робоче колесо; імпелери диска; підвід; відвід (у тому числі і напрямний апарат); ущільнення; отвори в роторі та корпусі; щілини між дисками колеса та корпусом - пазухи; канали розвантажувальних пристроїв; радіальні щілини; осьові щілини.

Типові елементи структури відцентрового насоса є каналами, в яких робочій рідині або передається енергія, або розсіюється. Як було наголошено вище, для теоретичного дослідження течії в елементах гідродинамічних насосів можна використовувати математичні моделі різних рівнів деталізації залежно від необхідної точності результату. Також складність робочого процесу потребує виконання розрахунків параметрів елементів не аналітично, а за одним з чисельних алгоритмів, вибір якого необхідно обґрунтувати.

Алгоритмічні математичні моделі умовно можна розділити на 4 рівні за рівнем деталізації фізичних процесів, що моделюються. Напівемпіричні моделі нульового рівня можна використовувати для попередньої оцінки основних параметрів розглянутого процесу, що зручно при виборі найбільш економічної конструктивної схеми відцентрового насоса, який потрібно спроектувати. Моделі першого, другого та третього рівнів засновані на розрахунку відповідно одновимірних, двовимірних і тривимірних моделей досліджуваного процесу.

Задача математичного опису елементів гідравлічної частини – складання системи рівнянь залежності напорів від витрат у відповідних елементах гідравлічної мережі. За результатами розрахунку параметрів елементів на будь-якому рівні деталізації потрібно звести цю залежність до такого вигляду:

$$H - h = f(F, P, q, s), \quad (1)$$

де H – напір, що елемент передає робочій рідині (для пасивних елементів $H=0$); $h = s \cdot q^2$ – втрати напору при проходженні робочої рідини крізь елемент; q – витрата робочої рідини в елементі; $s = f(\xi, F, P)$ – опір елемента; ξ – коефіцієнт гідравлічного опору елемента; F – характерні геометричні розміри; P – тиск перед елементом.

Питання побудови математичних моделей типових елементів відцентрового насоса докладно розглянуті в роботах [15,16]. З елементів формується система рівнянь, які описують зміну параметрів робочої рідини в цих елементах. Такі рівняння в теорії макромоделювання

називають компонентними.

Під час проектування гідродинамічного насоса, моделювання його робочого процесу та виявлення наочних зв'язків потрібно для зручності створювати графічне зображення побудованої макромоделі. Макромодель відцентрового насоса в графічному вигляді є схемою заміщення системи. Принципи побудови схеми заміщення відцентрового насоса викладені в роботах [17,18].

Змінні, що описують фізичну систему, підкоряються двом основним законам теорії мереж: закону маси для потокових змінних (або перший закон Кірхгофа) та закону збереження енергії (або другий закон Кірхгофа). Для гідравлічних мереж, якими фактично є схеми заміщення відцентрових насосів, ці закони можна записати в такій формі:

перший закон Кірхгофа

$$\sum_i q = Q_j, \quad (2)$$

другий закон Кірхгофа

$$\sum_k h = H_r, \quad (3)$$

де i – номери гілок схеми заміщення, що входять до j -го вузла; Q – витрата робочої рідини у j -му вузлі; r – номер контуру в схемі заміщення; H – напір активних елементів у контурі r ; k – номери гілок схеми заміщення, що входять у контур r .

Таким чином, топологічні рівняння математичної моделі є законами Кірхгофа, сформованими згідно із структурою схемного рішення відцентрового насоса, яка у графічному вигляді задається схемою заміщення.

Макромодель робочого процесу відцентрового насоса базується на математичних моделях його типових елементів та враховує їх вплив на характеристики один одного. Ця задача розв'язується записом сукупності компонентних (1) та топологічних рівнянь (2)-(3), що і створює математичну модель досліджуваної системи. Таким чином, математичний опис на макрорівні складається з систем звичайних диференціальних та алгебраїчних рівнянь. Аналітичного розв'язання таких систем немає, тому для їх розрахунку використовуються чисельні методи.

ВИКОРИСТАННЯ МАКРОМОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСА

Макромодель дозволяє провести розрахунок параметрів насоса: розрахувати напір та, завдяки використанню рівняння збереження енергії, визначити витрату в контурах моделі і врахувати взаємний вплив елементів.

На рис. 1 наведені конструкція і схема заміщення консольного насоса з однолопатевим робочим колесом. Вона складається з підводу (П), насосного ступеня (НС) і відводу (В). Насосний ступінь складається з двох контурів: контуру течії через передню пазуху (ПП), імпелерів (Імп) покривного диска та переднього ущільнення (ПШ) та контуру течії через отвори в основному диску (О), задню пазуху (ЗП) та імпелери, розташовані на основному диску.

На кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету проводилися експериментальні дослідження консольних відцентрових насосів з малим числом лопатей. Результати цих досліджень показали, що встановлення імпелерів на обох дисках робочого колеса

приводить до підвищення напору [19]. Також були отримані енергетичні характеристики консольного насоса, наведеного на рис. 1 а., що показані на рис. 2. В насосі на покривному диску було встановлено 9 імпелерів, на основному - 6 імпелерів, в основному диску зроблено 4 отвори.

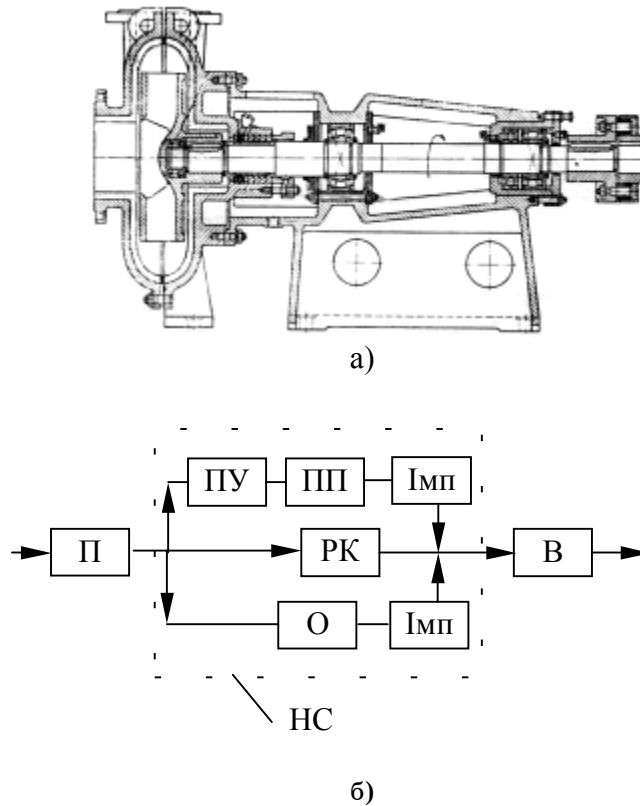


Рисунок 1 – Конструктивна схема (а) і схема заміщення (б) консольного насоса з однолопатевим робочим колесом

Традиційно при розрахунку характеристики відцентрового насоса розглядають тільки вплив робочого колеса, підводу та відводу. В зв'язку з конструктивними особливостями даного насоса (широкими пазухами, радіальним ущільненням, отворами в основному диску) течія через пазухи відчутно впливає на параметри насоса. Якщо при розрахунку напору, що створює робоче колесо, не враховувати течію через пазухи, то розрахункова витрата через колесо береться такою, що дорівнює витратам насоса. Реально витрата потоку, що проходить через робоче колесо, менша витрати насоса. Це призводить до того, що розрахунки дають досить відчутну похибку.

Для даного насоса оптимальна витрата $Q_{opt}=100 \text{ м}^3/\text{год}$. Напір насоса при оптимальній витраті за даними експерименту $H_{ЕК}=25,5 \text{ м}$. Теоретичний напір робочого колеса, знайдений за цим значенням витрати з урахуванням виправлення Проскури Г.Ф., дорівнює $H_T=32,6 \text{ м}$. В роботі [19] відмічено, що ККД однолопатєвого робочого колеса $\eta_{РК}=80 \%$. ККД відводу знаходимо за рекомендаціями роботи [8], звідки $\eta_B=87 \%$. Традиційна методика розрахунку дає таке значення напору насоса: $H=22,6 \text{ м}$. Таким чином, отримуємо похибку розрахунку напору 11 %.

Для даного насоса за макромоделлю були отримані залежності напору, споживаної потужності, повного ККД від подачі (рис. 2). У робочому

діапазоні $(0,8...1,2)Q_p$ результати розрахунку добре збігаються з експериментальними даними. При подачі, близькій $0,8Q_p$, розбіжність значень напору і повного ККД досягає 5 %, відмінність величин споживаної потужності складає 7 %.

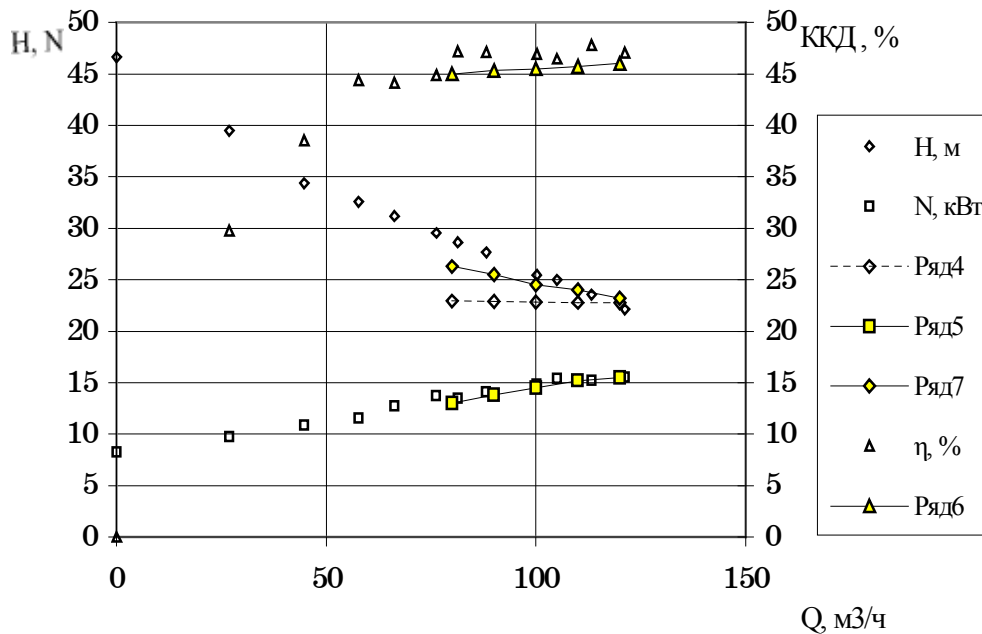


Рисунок 2 – Порівняння експериментальних і розрахункових енергетичних характеристик насоса: крапки – експеримент, - - - – ручний розрахунок за традиційною методикою ; — – розрахунок за макромоделлю

ВИСНОВКИ

Розгляд системної моделі відцентрового насоса дозволяє розрахувати переструми робочої рідини з основних елементів проточної частини та врахувати взаємний вплив елементів насоса на їх характеристики. Це дозволяє отримати коректну математичну модель робочого процесу відцентрового насоса.

Використання запропонованої методики моделювання робочого процесу дозволяє розглядати різноманітні конструктивні схеми відцентрових насосів та оцінювати їх характеристики. Цей інструмент дозволяє зробити раціональний вибір схемного рішення відцентрового насоса, що зменшує вплив суб'єктивних факторів та підвищує якість проектування.

SUMMARY

This article is containing the mathematic models hierarchy for pump design based on modern automatic design analyze. Automatic pump design stages were discussed. Author although gave recommendations for choosing model level for pump working process calculation investigation.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Евтушенко А.А. Гидродинамические аспекты новой концепции развития насосостроения // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического

- моделирования: Тр. междунаrod. науч.-техн. конф./ НАН Украины и др. – Харьков: Ин-т проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, 1997 – С. 477-480.
2. Евтушенко А.А., Ржебаев Э.Е., Швиндин А.И., Шифрин М.И. Развитие насосостроения в Украине // *Машинобудування України*. – 1995. - № 1. - С. 30-33.
 3. Евтушенко А.А. Задача создания средств ведения расчетного эксперимента в насосостроении // *Праці ІІ Української наук.-техн. конф. «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці»*. – Черкаси: ЧІТІ, 1998. – С. 45-50.
 4. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. – М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.
 5. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1966. - 364 с.
 6. Лопастные насосы: Справочник / Под общ. ред. В.А. Зимницкого и В.А. Умова. – Л.: Машиностроение, 1986. – 334 с.
 7. Марцинковский В.А., Ворона П.Н. Насосы атомных электростанций. -М.: Энергоатомиздат, 1987. - 256с.
 8. Животовский Л.С., Смйловская Л.А. Лопастные насосы для абразивных гидросмесей. – М.: Машиностроение, 1978. -223 с.
 9. Петренко А.І. Основи автоматизованого проектування складних об'єктів та систем. – К.: ІВЦ Вид-во „Політехніка”, 2002. – 208 с.
 10. Меренков А.П., Хасилев В. Я. Теория гидравлических цепей. – М.: Наука, 1985. – 278 с.
 11. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. – М.: Высшая школа, 1989. – 240 с.
 12. Алексенко О.В., Неня В.Г. Методические основы проведения вычислительного эксперимента // *Вестник НТУ “ХПИ”*. - 2001. - Вып.129. - Ч.2. – С. 393-399.
 13. Бирюков А.И., Кочевский Н.Н., Тимшин А.И. Пересчет характеристик центробежных насосов при подрезке рабочего колеса / В кн. *Лопастные насосы*. – Л.: Машиностроение, 1975. – С. 16 – 21.
 14. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
 15. Алексенко О.В., Неня В.Г. Прогнозирование характеристик центробежных насосов на основе макро моделирования // *Удосконалювання турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання. Праці міжнарод. наук.-техн. конф./ НАН України та ін.* – Харків: Ін-т проблем машинобудування ім. А.Н. Підгорного НАН України, 2003. – Т. 2. – С. 543-548.
 16. Алексенко О.В., Неня В.Г. Построение функциональных блоков для макро модели центробежного насоса // *Промислова гідроліка і пневматика*. – 2004. - № 4 (6).– С. 21-25.
 17. Алексенко О.В., Неня В.Г. Основы методики макро моделирования центробежных насосов // *Вісник СумДУ*. – 2003. - № 13 (59).– С. 156-161.
 18. Алексенко О.В., Евтушенко А.А., Яхненко С.М. Насосный эффект дисков рабочего колеса центробежного насоса. // *Технологія і техніка друкарства. Зб. наук. праць*.– К.: Вид-во НТУУ “КПІ”, 2004. – Вип. 2-3 (4-5). – С.88-93.
 19. Яхненко С.М. Конструктивні особливості пазух робочого колеса і їх вплив на характеристику насоса // *Вісник НТУУ КПІ. Машиностроение*. – 1999. – Вып.36. – С.523-527.

О.В. Алексенко
Сумський державний університет

Надійшла до редакції 6 липня 2005 р.