

Наукова робота на конкурс за напрямом:
«Прикладна геометрія, інженерна графіка та ергономіка»

на тему:

«Особливості тривимірного моделювання напрямних
апаратів багатоступеневих
відцентрових насосів»

Зміст

Вступ	3
1 Аналіз предметної області	5
1.1 Роль систем автоматизованого проектування	5
1.2 Основні відомості про напрямні апарати багатоступеневих відцентрових насосів	6
2 Результати дослідження	12
2.1 Системний аналіз напрямного апарату в аспекті блочно - модульного проектування	12
2.2 Параметризація моделі напрямного апарату	17
3 Загальні методичні рекомендації до тривимірного моделювання напрямного апарату відцентрових насосів	22
3.1 Методика розрахунків геометричних параметрів НА ВЦН	22
3.2 Загальні рекомендації до побудови 3D моделі НА	26
Висновки	28
Список літератури	29

Вступ

Система автоматизованого проектування — автоматизована система, що реалізує інформаційну технологію виконання функцій проектування, представляє собою організаційно-технічну систему, призначену для автоматизації процесу проектування, що складається із персоналу і комплексу технічних, програмних та інших засобів автоматизації його діяльності. Для позначення подібних систем широко використовується аббревіатура САПР.

Системи автоматизованого проектування дають можливість на основі новітніх досягнень фундаментальних наук відпрацьовувати й удосконалювати методологію проектування, стимулювати розвиток математичної теорії проектування складних систем і об'єктів.

Деякі комплексні програмні пакети містять підпрограми для побудови геометрії розрахункової області, наприклад, модуль BladeModeler, що входить до складу комплексного продукту Ansys CFX. Іноді застосовувати аналогічні модулі та підпрограми не зручно. Тому актуальним є розробка методологічних рекомендацій щодо проведення автоматизованого проектування конструкцій робочих органів відцентрових насосів.

На сучасному етапі розвитку вітчизняного насособудування спостерігається впровадження блочно-модульного принципу конструювання, як найбільш економічного та швидкого. Останній передбачає формування конструктивної схеми насоса з окремих елементів при одночасному врахуванні взаємодії останніх.

Наряду з цим, впровадженню інформаційних технологій у всі галузі машинобудування на стадії проектування машинних об'єктів сприяє розвиток структурно-параметричного геометричного моделювання як одного з наукових напрямків розвитку інженерної графіки. Наразі відсутні певні чіткі рекомендації щодо послідовності геометричного моделювання робочих органів насосного обладнання. Це стосується і напрямного апарата, який відповідає за продуктивність робочого процесу у лопатевих насосах.

Метою дослідження є розробка методики комп'ютерного геометричного моделювання напрямних апаратів багатоступневих відцентрових насосів.

Об'єктом дослідження є напрямний апарат (НА) багатоступневих відцентрових насосів.

Предметом дослідження є тривимірна геометрична модель НА.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

1. Дослідити актуальність поставленої задачі і роль данної методики побудови моделі НА у виробничому процесі.
2. Виконати системний аналіз напрямних апаратів.
3. Дослідити питання геометричного моделювання НА в аспекті блочно-модульного проектування;
4. Розробити рекомендації до тривимірного моделювання НА ВЦН.

Наукова новизна роботи:

- проведений системний аналіз НА відцентрових насосів в аспекті блочно-модульного принципу проектування, що дозволило виділити сталі та змінні блоки при компоновці конструктивної схеми конкретного НА;
- вперше запропонована параметризована модель НА проміжного ступеня відцентрового насосу (ВЦН), яка дозволяє автоматизувати процес тривимірного моделювання НА із дотриманням приєднувальних габаритних розмірів;
- компонування конструктивної схеми напрямного апарату ВЦН з окремих блоків дозволяє створити типорозмірні ряди складових елементів відвідних пристроїв ВЦН.

Практична цінність роботи полягає у запропонованій методиці параметризованого тривимірного моделювання НА ВЦН в аспекті блочно-модульного проектування, яка дозволяє формувати тривимірні моделі відвідних пристроїв із заготовлених модулів, що значно підвищує якість та швидкість процесу проектування досліджуваних робочих органів.

1 Аналіз предметної області

1.1 Роль систем автоматизованого проектування

Комп'ютерне моделювання є необхідним інструментом створення сучасних технічних об'єктів. Усе більше широке коло предметів і явищ стають об'єктами комп'ютерної симуляції. Вона впровадилася практично в усі сфери інженерної діяльності. Інша тенденція - розширення кола користувачів САЕ (Computer Aided Engineering). Практично до кінця 1990-х років їхня експлуатація була долею вузького кола професіоналів, свого роду "гуру" у відповідних питаннях. Але розширення області застосування високотехнологічних інструментів (побутова техніка, електроніка, індустрія автомобільних компонентів, товари для спорту й відпочинку, побутова світлотехніка й т.д.) зажадало створення таких програм, які були б доступні кваліфікованому інженерові й стали атрибутом стандартного робочого місця.

Трохи інша ситуація характерна для вітчизняної промисловості. Незважаючи на солідний "обсяг виробництва" інженерів, кваліфікований персонал досить непросто спочатку підібрати, а потім забезпечити роботою, що вимагає спеціальних навичок і сприяє їхньому розвитку. Технологічний рівень української промисловості, а також система організації виробництва такі, що ґрунт для процвітання продуктів high-end не занадто сприятливий. У той же час, наявний деякий інтерес до САЕ – програм. База для цього - масове поширення геометричних САД (Computer Aided Desigr) - систем. Значна частка підприємств використовує технологію просторового моделювання, для деяких вона є основним інструментом розробки конструкторської документації і технологічних процесів (характерний приклад - створення програм для УЧПУ). Природним є перехід на наступний рівень - комп'ютерний аналіз і проектування. Тут існують два джерела розвитку: потреби виробництва й нормальний людський інтерес. Треба сказати, що друге може бути

домінуючим. Найбільш логічний шлях - освоєння інтегрованих додатків, що супроводжується (нерідко) оволодінням відповідною теоретичною базою.

1.2 Основні відомості про напрямні апарати багатоступеневих відцентрових насосів

Насоси являють собою гідравлічні машини, призначені для переміщення рідин під напором. Перетворюючи механічну енергію приводного двигуна в механічну енергію рідини, що рухається, насоси піднімають рідину на певну висоту, подають її на необхідну відстань у горизонтальній площині або змушують циркулювати в деякій замкнутій системі.

Виконуючи одну або кілька згаданих функцій, насоси в кожному разі входять до складу устаткування насосної станції. Крім водопостачання й каналізації міст, промислових підприємств і електростанцій насоси застосовуються для зрошення й осушення земель, гідроакумулювання енергії, транспортування матеріалів. Існують живильні насоси котельних установок теплових електростанцій, суднові насоси, насоси для нафтової, хімічної, паперової, харчової й іншої галузей промисловості. Насоси використовуються при виробництві будівельних робіт (намив земляних споруджень, водозниження, відкачуванні води з котлованів, подача бетону й будівельних розчинів до споруджень і т.п.), при розробці родовищ і транспортуванні корисних копалин гідравлічним способом, при гідровидаленні відходів виробничих підприємств. Як допоміжні пристрої насоси служать для забезпечень змащення й охолодження машин.

Таким чином, насоси є одним з найпоширеніших видів машин, їхня конструктивна розмаїтість надзвичайно велика, тому класифікація насосів по їхньому призначенню досить скрутна. Більш логічно представляється класифікація, заснована на розходженнях у принципі дії. Із цього погляду всі існуючі в цей час насоси можуть бути розділені на два види: динамічні й об'ємні. В динамічних

насосах рідина рухається під силовим впливом в камері постійного об'єму, що надходить з підвідних і відвідних пристроїв.

До числа лопатевих насосів, що серійно випускаються вітчизняною промисловістю й таких, що знайшли найбільше поширення при спорудженні сучасних систем водопостачання й каналізації, ставляться відцентрові, осьові й діагональні насоси. Робота цих насосів заснована на загальному принципі — силовій взаємодії лопатей робочого колеса з їхнім потоком, що обтікає, що перекачує рідини. Однак механізм цієї взаємодії в насосів перерахованих типів різний, що, природно, приводить до істотних розходжень у їхніх конструкціях і експлуатаційних показниках.

Основним робочим органом відцентрового насоса є колесо, насаджене на вал, що вільно обертається всередині корпусу. Робоче колесо складається із двох дисків (переднього й заднього), що відстоять на деякій відстані один від одного. Між дисками, з'єднуючи їх у єдину конструкцію, перебувають лопаті, плавно вигнуті вбік, протилежному напрямку обертання колеса.

Для відводу рідини в корпусі насоса є спіральна камера, що розширюється (у формі равлика), куди й надходить рідина, що викидається з робочого колеса. Спіральна камера (відвід) переходить у короткий дифузор, що утворює напірний патрубок, що з'єднується звичайно з напірним трубопроводом.

Відвід відцентрового насоса являє собою пристрій, що збирає рідину, яка вийшла з колеса, і відводить її до вихідного патрубку або наступного ступеня насосу. Відводи виконують у вигляді спіральних каналів, кільцевих каналів постійного перерізу й напрямних апаратів.

Відмінна риса відводів у вигляді напрямних апаратів - наявність лопаток, що утворюють кілька каналів по окружності, причому кожний з них складається зі спіральної частини й дифузора. Існує кілька типів напрямних апаратів. У багатоступеневих насосах застосовують апарати, у яких напрямні й зворотні лопатки (тобто лопатки, що направляють рідину до колеса наступного ступеня) об'єднані в одне ціле (рис. 1, а), або апарати з кільцевим безлопатковим простором

між напрямними й зворотними лопатками (рис. 1, б). У заглибних насосах, де важливо мати мінімальні радіальні розміри, застосовуються напрямні апарати, що складаються з безлопаткової кільцевої камери й зворотних лопаток (рис. 1, в).

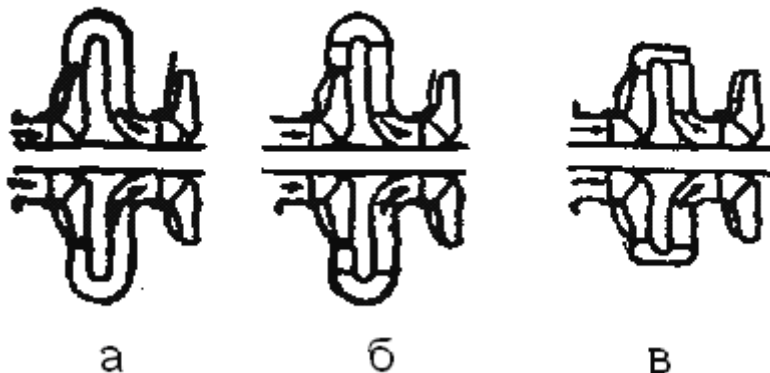


Рис. 1. Види напрямних апаратів

Відвідні пристрої повинні здійснювати наступні функції:

- збирати рідину, що виходить із робочого колеса, і направляти її до вихідного патрубку або до колеса наступного ступеня;
- перетворювати з найменшими втратами кінетичну енергію в потенціальну;
- змінювати момент швидкості по контуру що охоплює колесо.

Не всі види відводів можуть виконувати ці функції. Спіральні й кільцеві відводи виконують тільки перші дві. Відводи у вигляді напрямних апаратів виконують всі функції.

Протягом багатьох років робоче колесо вважалось основним робочим органом насоса, що визначає його енергетичні якості. У дійсності відвід має не менше значення, ніж робоче колесо. Відвід значною мірою обумовлює гідравлічні втрати й, отже, гідравлічний ККД насосу й оптимальний режим його роботи.

Відвід перетворює кінетичну енергію в потенційну в умовах зменшення швидкостей (потік у дифузорному каналі). При цьому неминуче відбувається втрата енергії, величина якої залежить від форми відводу.

Напрямні апарати застосовуються в багатоступневих і одноступневих насосах високої швидкості (> 350). Іноді вони використовуються як елементи бокового відводу для зменшення радіальних зусиль в одноступневих насосах і у відводах останніх ступенів багатоступневих насосів. Напрямний апарат являє собою нерухому кругову сітку лопатей, розташованих навколо робочого колеса з невеликим радіальним зазором. Канали можуть бути відносно короткими - напрямні апарати одноступневих насосів - або досить довгими, зі складною конфігурацією - напрямні апарати багатоступневих насосів.

У будь-якому напрямному апараті, незалежно від складності каналів можна умовно виділити дві ділянки: перший - спіральний, котрий по гідравлічних функціях і обрисам в основному подібний спіралі, другий - дифузор в одноступінчастих насосах. Такий розподіл визначається характером течії рідини. Напрямний апарат багатоступінчастого насоса переводить рідину від робочого колеса одного щабля до робочого колеса наступної. В напрямному апараті можна умовно визначити власне напрямний і зворотний (або підвідний) апарати. У першому з них, що відводить рідину від робочого колеса, відбувається в основному перетворення кінетичної енергії в потенціальну. З першої частини напрямного апарата потік попадає у зворотний апарат, лопаті якого підводять рідину до колеса наступної ступені із заданим моментом швидкості.

Існує кілька гідравлічних схем напрямних апаратів багатоступневих насосів з коефіцієнтом швидкості 70-120:

1. Апарати у вигляді безперервних просторових каналів;
2. Апарати спрощеної форми. Поворот рідини відбувається в кільцевому безлопатевому просторі між напрямними й зворотними лопатками;
3. Апарати без напрямних лопаток. Потік з робочого колеса попадає в безлопатевий кільцевий простір, а потім - на зворотні лопатки.

Значне число типорозмірів одно- і двоступневих відцентрових насосів (ВЦН) мають як відвід спіральні камери й дифузори, виконані безпосередньо у відлитих частинах корпусу й насосу (рис. 2, а).

Відводи насосів, що перекачують рідини із твердими частками, часто виготовляють у вигляді кільцевої камери, що переходить у дифузорний патрубок (рис. 2, б).

Багатоступеневі ВЦН мають зазвичай лопатеві відводи - напрямні апарати (рис. 2, в).

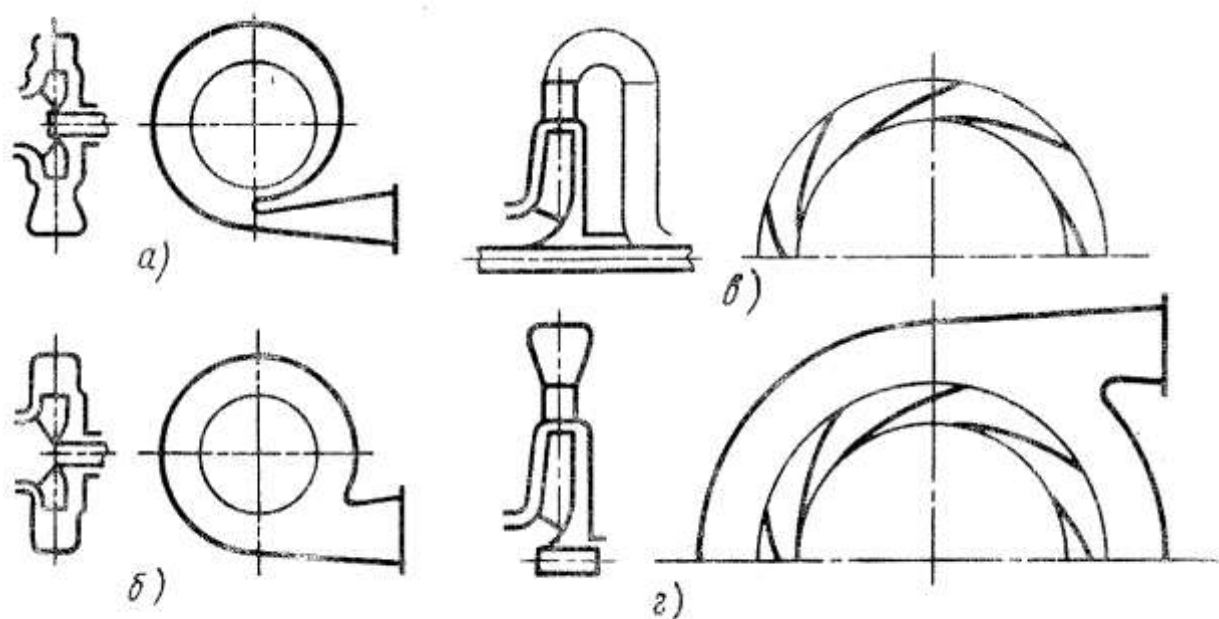


Рис. 2. Конструктивні схеми відводів відцентрових насосів.

У вітчизняній практиці поширені напрямні апарати чотирьох типів. До першого типу ставляться напрямні апарати, у яких дифузорні канали, що відводять, з'єднані перевідними каналами зі зворотними підводящими каналами (рис. 3, а). Напрячний апарат другого типу являє собою деталь, у якій зворотні канали, що підводять, роз'єднані з каналами відводу безлопатевим кільцевим простором (рис. 3, б). До третього типу ставляться напрямні апарати, що представляють собою деталь, у якій виконані тільки канали дифузійних відводів. Зворотні підвідні канали розташовані в іншій деталі, що сполучається (рис. 3, в). У деяких конструкціях,

найчастіше при нерозбірному роторі, доводиться застосовувати роз'ємні напрямні апарати (четвертий тип) (рис. 3, г).

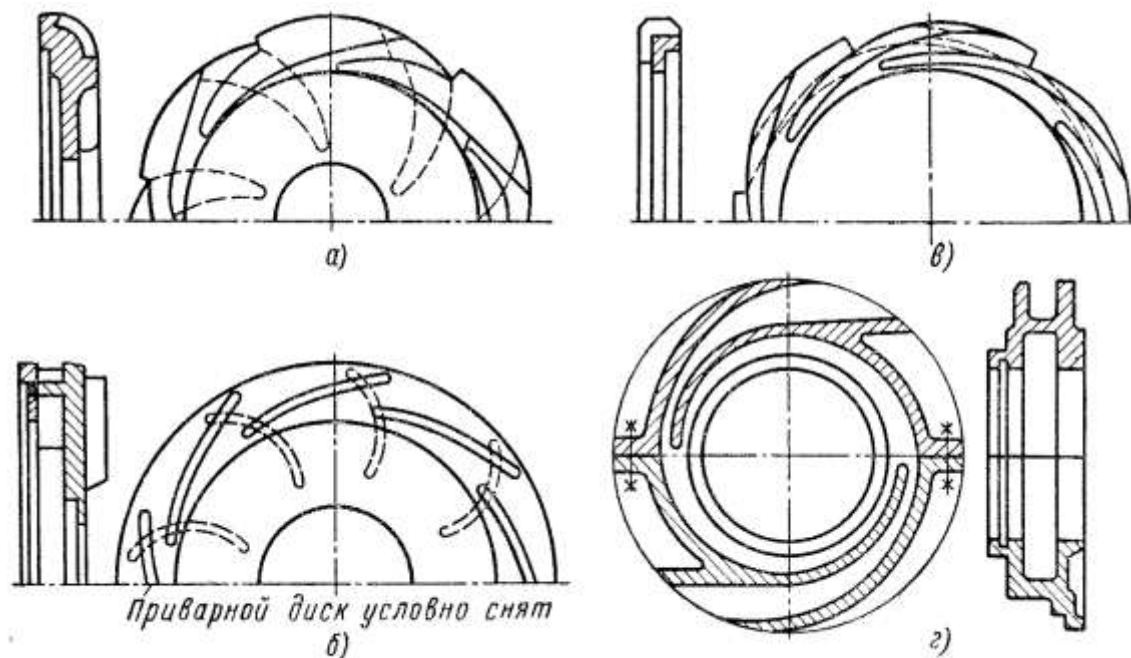


Рис. 3. Типи напрямних апаратів.

Аналіз основних відомостей про напрямні апарати (НА) обґрунтовує вибір об'єкту дослідження як такого, що є найпоширенішим конструктивним виконанням серед існуючих НА і має визначний вплив на показники якості роботи насосу зокрема і системи, де він експлуатується, загалом.

2 Результати дослідження

2.1 Системний аналіз напрямного апарату в аспекті блочно - модульного проектування

Під системним аналізом розуміють сукупність прийомів і методів для вивчення складних об'єктів, або узагальнених динамічних систем (УДС). УДС – це сукупність взаємозв'язаних об'єктів і процесів, які змінюються в часі.

Дослідження УДС в системному аналізі розбивається на декілька основних етапів:

1. Постановка задачі – визначення об'єкта дослідження, постановка цілі, задання критеріїв для вивчення цього об'єкта дослідження цього об'єкту і управління ним.
2. Структуризація – розбиття сукупності об'єктів і процесів на два класи – систему, що вивчається, та зовнішнє середовище.
3. Складення математичної моделі системи, що вивчається:
 - Параметризація;
 - Встановлення взаємозв'язків між введеними параметрами.

Системний аналіз напрямних апаратів - аналіз окремих частин як самостійних структурних складових і паралельно – виявлення ролі кожної з них у функціонуванні системи вцілому. Таким чином реалізуються процеси аналізу і синтезу, фундаментальний зміст яких – розкладення цілого на складові частини і відновлення цілого з частин. Принцип системності заключається в тому, що при декомпозиції повинні бути встановлені такі зв'язки між структурними компонентами об'єкту, які забезпечують цілісність системи. Отже, дослідження має принцип системності.

Згідно основних принципів структурно-параметричного геометричного моделювання, будь-який об'єкт слід розглядати як сукупність, так званих, блоків, які в свою чергу є структурним поєднанням компонентів нижчого порядку. В той

самий час, обов'язковим є розгляд об'єкта, що моделюється, складовим компонентом системи більш високого порядку. Сформульований таким чином принцип системного підходу широко використовується і в процесах проектування та дослідження в галузі гідродинаміки.

Розглянемо детально кожен з етапів системного аналізу стосовно дослідження напрямного апарату.

Перший етап. Отже, об'єктом дослідження являється напрямний апарат відцентрового насосу. Метою дослідження об'єкту являється методика проектування моделі напрямного апарату. Для досягнення мети необхідно проаналізувати всі типи НА, зробити висновок про схожість елементів конструкції, і, як наслідок, - можливість модифікації моделі в залежності від конструктивного виконання.

Другий етап. Для дискретизації напрямного апарата слід звернутись до робочого процесу відцентрових насосів, одним з головних учасників якого є досліджуваний об'єкт.

Складемо схеми для одноступеневих ВЦН двох виконань (рис. 5, 6). На схемах прийняті наступні позначення:

ПЧ – проточна частина;

НА – напрямний апарат.



Рис.5. Схема системного аналізу напрямного апарату в одноступеневому насосі зі спіральним відводом



Рис.6. Схема системного аналізу напрямного апарату в одноступеневому насосі із кільцевим відводом

Складемо схеми для кожного типу напрямних апаратів в багатоступеневих насосах (рис. 7 - 10). Як видно із рисунку 3, їх чотири типи.



Рис.7. Схема системного аналізу напрямного апарату першого типу

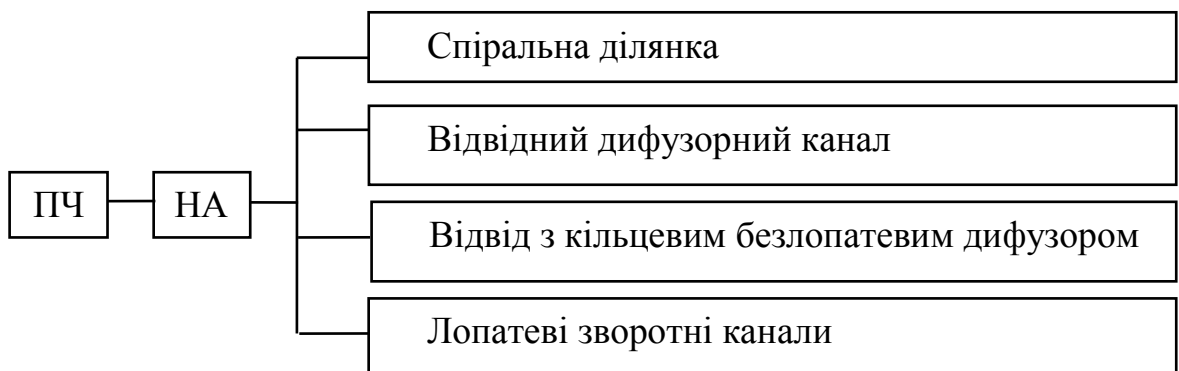


Рис.8. Схема системного аналізу напрямного апарату другого типу



Рис.9. Схема системного аналізу напрямного апарату третього типу

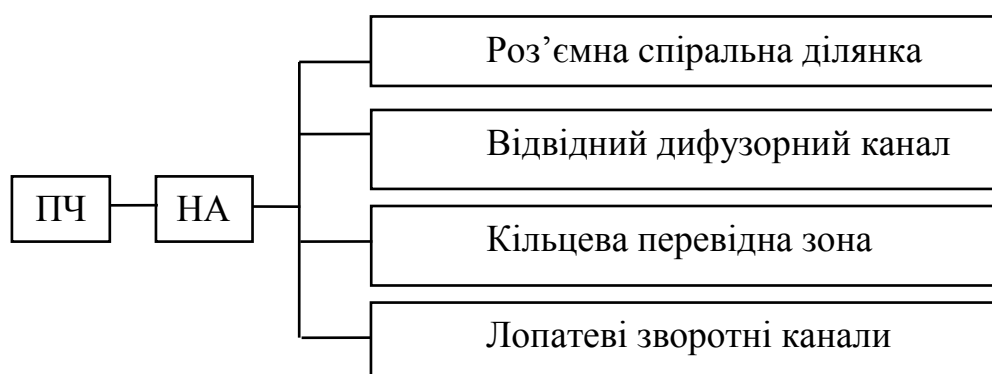


Рис.10. Схема системного аналізу напрямного апарату четвертого типу

На основі аналізу конструкцій НА можна виділити блоки, які є складовими всіх НА (або відсутні), але які відрізняються за конструктивними виконаннями.

Незалежно від складності конструкції каналів НА, тривимірна модель якого наведена на рис. 11, можна виділити наступні елементи :

1. спіральний – за гідравлічними функціями та геометрією подібний до спіральної камери;
2. дифузор – в якому безпосередньо відбувається перетворення кінетичної енергії течії в потенціальну;
3. перевідні та зворотні канали – які формують потрібну структуру течії на вході до наступного ступеня.

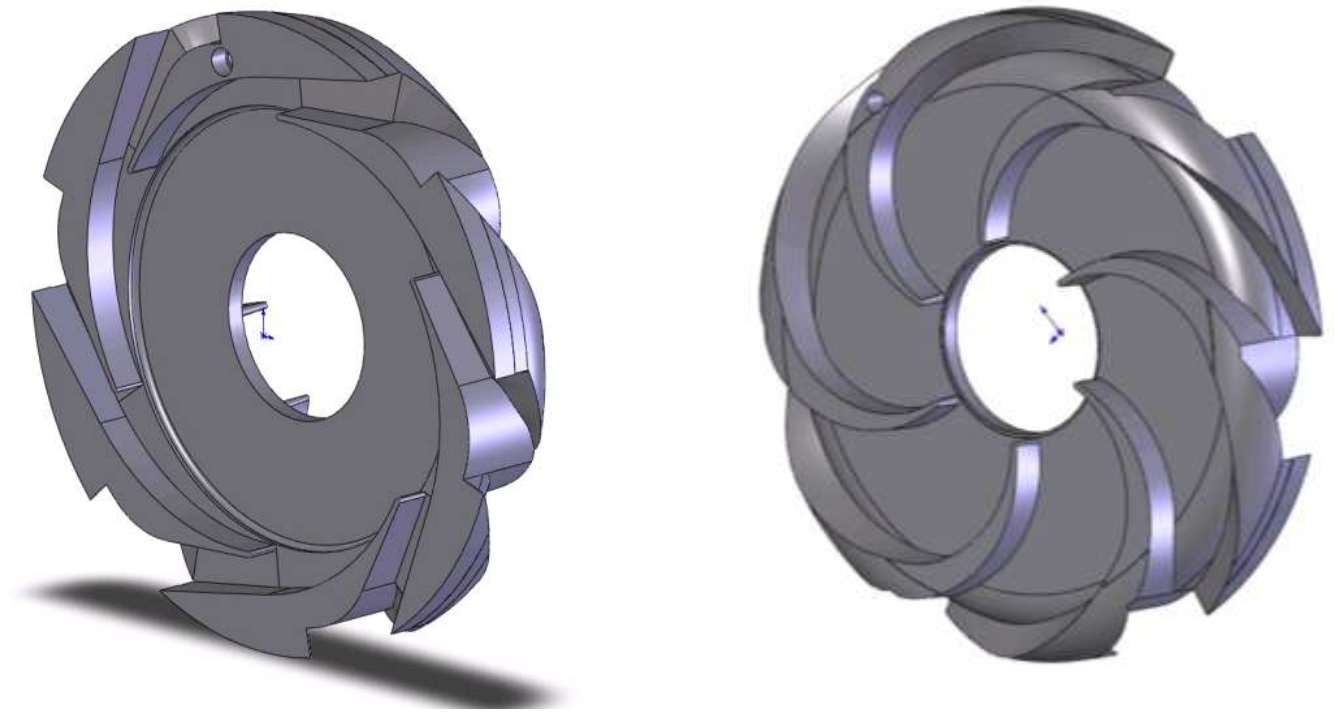


Рис. 11. Тривимірний модель НА проміжного ступеня ВЦН

Такий розподіл обґрунтований можливістю використання окремих елементів НА при створенні нових конструкцій ще й відводу. Поділ на блоки дозволить спростити процес перебудови твердотільної моделі апарату у випадку, якщо необхідно змінити конструктивні зміни в існуючу модель.

На рис.12 наведена загальна блок-схема структурного аналізу НА (узагальнена конструкція) як робочого органу проточної частини ВЦН. На схемі вказано, що НА є елементом системи більш високого порядку – проточної частини (ПЧ) ВЦН.

Пунктиром вказані блоки, які для різних конструктивних виконань будуть відрізнятися або відсутні. В залежності від комбінації блоків створюються моделі НА різних конструктивних виконань.



Рис.12. Узагальнена схема системного аналізу напрямного апарата

2.2 Параметризація моделі напрямного апарату

Третій етап системного аналізу.

1) Параметризація або параметричний аналіз – це процес підрахування параметрів геометричної моделі. З допомогою параметричного аналізу можна визначити, до якого типу відноситься задача: задача, яка розв’язується геометричними методами або та, яка розв’язується з допомогою алгебраїчних рівнянь, тобто вибрати найпростіший спосіб розв’язання поставленої задачі.

Параметри фігури поділяються на параметри, що визначають форму елемента та ті, які характеризують його положення у просторі. Число параметрів дорівнює мінімальній, але достатній кількості розмірів, яких вистачає для визначення єдиної за формою фігури. Елементарні геометричні фігури, такі як точка, пряма, площина, не мають параметрів форми. Загальна кількість параметрів геометричної фігури у заданому просторі має назву її параметричного числа p у цьому просторі:

$$p = p_n + p_\phi \quad (1)$$

p_n – кількість параметрів положення;

p_ϕ – кількість параметрів форми.

Для підрахунку числа розмірів будь-якої плоскої геометричної фігури складної форми достатньо від сумарного числа параметрів p всіх її елементів відняти три параметри положення і сумарне число параметрів, що витрачаються на виконання геометричних умов, які забезпечують необхідні відношення між елементами.

Для тривимірної деталі число параметрів можна підрахувати і в просторі, і за проекціями. Модель напрямного апарату обмежена 31 площинами і однією циліндричною поверхнею. Параметри положення форми можна зв'язати, відповідним чином призначивши координатну систему. Довільна площина у просторі визначається дев'ятьма параметрами – три точки по три координати. І тому площини, що обмежують форму деталі матимуть $31 \times 9 = 279$ параметри. Циліндрична поверхня отвору має вісім параметрів. Отже, сумарна кількість параметрів форми: $p_{\phi} = 279 + 8 = 287$.

Параметрами положення задається положення геометричної фігури у просторі. У загальному випадку фігура має шість параметрів положення за числом ступенів її вільності або за числом елементарних рухів чи переміщень, які є складовими частинами будь – якого складного руху (переміщення). Такими рухами є прямолінійно - поступальні рухи (переміщення) уздовж трьох координатних осей (або уздовж довільних непаралельних прямих, що не належать одній площині) і обертання навколо трьох координатних осей (або навколо трьох довільних непаралельних прямих, що не належать одній площині). З цього правила є виняток, коли існує рух, що не переводить фігуру в інше положення у просторі при її обертанні навколо власної осі. Тому поверхня обертання має 5 параметрів положення. В даному НА п'ять параметрів положення зв'язані умовою належності осі апарату Ox , а також умовою, що відсутні переміщення у напрямках всіх осей, передбачається тільки обертання навколо осі Ox . Отже, для даного НА маємо один параметр положення: $p_n = 1$.

Отримаємо параметричне число для моделі НА за формулою 1:
 $p = 287 + 1 = 288$.

Основними конструктивними розмірами напрямного апарату є діаметр входу в апарат D_3 , діаметр виходу з апарату D_4 , число лоптей (або число каналів) z , ширина направляючого апарату B_3 , висота апарату (висота від D_3 до обмежуючої ззовні циліндричної поверхні) і кути лопатей. Деякі з цих величин (z і D_4) залежать від типу насоса, його призначення і конструкції напрямного апарату.

2) Встановлення взаємозв'язків між введеними параметрами.

Параметричне конструювання з повним набором зв'язків або “тверда” параметризація - інтелектуальне моделювання, де геометрія й конструкторські наміри закладені в самому визначенні моделі. “Тверда” параметризація - режим параметричного конструювання, при якому конструктор повністю задає всі необхідні зв'язки, однозначно визначаючи тим самим форму геометричної моделі виробу. У цьому випадку зміна значення якого-небудь параметра або перевизначення зв'язків спричиняє автоматична зміна геометрії моделі й від конструктора не вимагається виконання яких-небудь дій по модифікації геометричної моделі.

Для режиму “твердої” параметризації характерна наявність випадків, коли при зміні параметрів геометричної моделі рішення взагалі не може бути знайдено, тому що частина параметрів і встановлені зв'язки вступають у протиріччя один з одним. Інакше кажучи, така технологія дозволяє, при необхідності, управляти зміною форми конструкції в деяких межах, які визначаються інтервалом взаємної несуперечності всієї сукупності параметрів і накладених зв'язків.

Існує багато способів завдання параметрів і зв'язків для однієї й тієї ж конструкції, тому при використанні цієї технології дуже важливим є порядок визначення й характер накладених зв'язків, які будуть управляти зміною форми конструкції, тому що для кожного способу накладення зв'язків інтервали їхньої взаємної несуперечності будуть різними.

“М'яка” параметризація (робота з недопевною системою зв'язків) - режим параметричного конструювання, що дозволяє конструкторові працювати, не замислюючись про порядок, у якому визначені або враховані зв'язки, а також про

їхню достатність для повного опису геометрії конструкції. Такий підхід дозволяє користувачеві вирішувати проблему, впливаючи по інтуїтивному, найбільш природному шляху.

Ключова перевага використання технології “м'якої” параметризації при конструюванні - можливість рішення геометрично недовизначених завдань шляхом надання користувачеві можливості виявлення невідомих факторів у вигляді зв'язків і знаходження потрібного рішення.

З погляду практичної реалізації, “м'яка” параметризація - це метод для знаходження необхідних розмірів і уточнення орієнтації геометричних елементів, що визначають форму конструкції. В основі методу лежить принцип розв'язання системи нелінійних рівнянь, які описують систему зв'язків, що управляє формою.

Однією з особливостей параметричного моделювання є можливість описувати елементи не тільки з допомогою розмірів, але й взаємозв'язків.

Взаємозв'язок елементів моделі – це створення геометричних взаємозалежностей між положеннями елементів в ескізі, чи між положеннями компонентів моделі.

Виділяється декілька видів взаємозв'язків:

1. Збіг - змушує виділену крапку збігатися з іншою крапкою або лежати на виділеній лінії, дузі, окружності або еліпсі.
2. Паралельність - даний взаємозв'язок визначає виділені елементи як паралельні.
3. Перпендикулярність - змушує виділені лінії й елементи розташовуватися перпендикулярно друг до друга.
4. Дотичність - виконується прив'язка до дотичних окружностей, дуг, скруглений, парабол, еліпсів, неповних еліпсів і сплайнів.
5. Концентричність - використовується для двох виділених дуг, окружностей, крапки й дуги, крапки й окружності або дуги й окружності цей взаємозв'язок означає сполучення їхніх центрів.

6. Кут - виконується прив'язка до кутів, тобто об'єкт орієнтується щодо іншого об'єкта на певний кут.

7. Відстань - обрані елементи розташовані на зазначеній відстані.

8. Колінеарність змушує виділені лінії розташовуватися на одній нескінченній лінії.

9. Рівність - примусово призначає виділеним лініям однакову довжину, а виділеним дугам, окружностям або дузі й окружності - однаковий радіус.

10. Зафіксувати - закріплює виділений об'єкт у заданій позиції. Якщо накласти цей взаємозв'язок на лінію або дугу, її положення буде залишатися тим самим, але розмір можна буде міняти, розтягуючи її за кінцеві крапки.

11. Крапка пронизання - змушує крапку ескізу або кінцеву крапку об'єкта збігатися з об'єктом іншого ескізу.

12. Перетинання - примусово переміщає виділену крапку на перетинання двох виділених ліній.

Використання взаємозв'язків між елементами моделі допомагає визначити форму моделі. В залежності від виду параметризації, можна отримати жорстку прив'язку, яка буде повністю визначати модель, чи частково визначену деталь, яку можна конструювати в залежності від вимог.

В проектуванні НА буде використовуватися м'яка параметризація, так як необхідно створити умови для можливого подальшого корегування моделі, модифікації її в інше конструктивне виконання. До того ж при необхідності внести зміни у геометричні форми каналів напрямних апаратів, необхідно витримати розміри під кріплення апарату на валу насоса, тому застосування «твердої параметризації» виключається.

Для цього будуть використовуватися взаємозв'язки між елементами ескізів, а також між моделями виділених блоків НА.

3 Загальні методичні рекомендації до тривимірного моделювання напрямного апарату відцентрових насосів

3.1 Методика розрахунків геометричних параметрів НА ВЦН

Відвідний пристрій робочого колеса визначає гідравлічні втрати, а значить і гідравлічний ККД насоса та його оптимальний режим роботи. Від правильного проектування НА залежать такі показники якості ступеня, як економічність, малогабаритність (радіальні та осьові розміри), форма характеристики.

Основними конструктивними параметрами НА є діаметр входу D_3 , діаметр виходу з НА D_6 та ширина виходу b_6 , число каналів (або лопаток) $z_{на}$, ширина НА b_3 та кути лопатей.

Першим кроком конструювання НА з безперервними перевідними каналами є визначення розмірів вихідного перерізу спіральної ділянки $A_{на}$, який введений до розгляду за аналогією до пропускної здатності спірального відводу $A_{сн}$. Значення $A_{сн}$ визначається за заданими величинами Q , H та η_g , далі задаємось значенням $A_{на}$ за умови $A_{на} > A_{сн}$ для забезпечення максимуму ККД у робочій точці ступеня. За даними експериментальних досліджень величину відношення $A_{на}/A_{сн}$ треба приймати в межах $m = 1,1 \div 1,4$, причому кращому у гідравлічному відношенні апарату відповідає менше значення з наведеного інтервалу.

Другим кроком є вибір числа лопаток (каналів) НА. Дослідження впливу відношення числа лопатей РК $z_{рк}$ та НА $z_{на}$ на віброакустичні характеристики насоса вказують на точні значення відношення за умови мінімуму збуджуючих сил при взаємодії ґраток апарату та колеса, а значить і забезпечення надійності у роботі насоса. Зазвичай приймають: для $z_{рк} = 7$ приймають $z_{на} = 9$; для $z_{рк} = 8$ – $z_{на} = 6$; для $z_{рк} = 6$ – $z_{на} = 8$.

Застосування числа каналів НА $z_{на} = 6 - 8$ дозволяє виграти і у габаритному показнику, оскільки збільшення числа каналів призводить до зменшення радіального розміру .

Третім кроком визначають геометричні розміри вхідного перерізу. Щодо цього існують наступні рекомендації. Ширину НА b_3 слід приймати більшою ширини РК b_3 у наступних співвідношеннях: $b_3 = b_2 + (2 \div 4)$ або $b_3 = b_2 + (0,024 \div 0,05)D_2$. У деяких випадках застосовують відкрите спряження, коли $b_3 \gg b_2$. Ширина НА, як правило, є сталою для спіральної ділянки.

Діаметр входу обирають за емпіричними співвідношеннями (для $n_s < 150$) $D_3 = D_2 \cdot (1,02 \div 1,05)$ для забезпечення деякого вирівнювання течії за РК до входу в НА. Максимальний радіальний зазор приймають рівним 4 – 5 мм.

Кут течії на вході визначається як $\alpha_3 = \arctg(V_{3m}/V_{3u})$, де меридіанна та колова складові визначаються відповідно до $V_{3m} = Q/(\pi \cdot D_3 \cdot b_3)$ та $V_{3u} = K_2/D_3$. З урахуванням стиснення потоку його кут $\alpha'_3 = \arctg(V_{3m}/\psi_3 V_{3u})$, де ψ_3 – коефіцієнт стиснення течії, визначається за.

Кут установки лопатей приймається більшим від кута течії на емпіричний коефіцієнт $\mu = 1,2 \div 1,8$, котрий враховує нерівномірність розподілу за кутом колеса швидкостей та зворотні струми в РК: $tg\alpha_{3л} = \mu \cdot tg\alpha'_3$ (менші значення коефіцієнту приймаються для менших n_s).

Форму перерізу рекомендують обирати квадратну, більш вигідну у гідравлічному відношенні, бо вона характеризується мінімальним периметром тертя.

Розміри розрахункового перерізу співвідносяться як

$$h_4 \cong (r_4 - r_3) \cos \alpha_{3л},$$

$$r_4 = r_3 \cdot e^{\frac{mAc_n}{z_{на} \cdot b_3}}.$$

Четвертим кроком визначають параметри дифузornoї ділянки та перевідних каналів.

Дифузорна частина визначає гідродинамічну досконалість відводу як перетворювача енергії кінетичної в енергію тиску. Перетворення раціонально проводити на початковій ділянці дифузору до повороту каналу в плані. Кут розширення дифузору слід обирати в межах $\varphi_{екв} = 7-9^\circ$, останній визначається за. Крім загального кута розширення, для характеристики дифузорної ділянки використовують кут розширення в плані φ_h (за приймаємо $\varphi_h = 10 - 12^\circ$; за $\varphi_h = 6 - 12^\circ$) та в площині, що проходить через вісь ротору насоса φ_b (за $\varphi_b = 4 - 6^\circ$; за $\varphi_b = 4 - 7^\circ$). Існують й інші рекомендація щодо куту дифузору.

Кривовісні дифузори мають гірші енергетичні якості, проте дозволяють дещо зменшити радіальні габарити. Відносний середній радіус кривизни слід витримувати

$$\text{в межах } \frac{R_{cp}}{h_4} = 18 \div 22.$$

Довжину дифузору рекомендують виконувати рівною до $4h_3$. Відносна довжина для прямовісних дифузорів повинна не виходити за межі $3 \div 6$, а кривовісних – $4,5 \div 9$.

Канал повороту течії в плані рекомендують виконувати з постійним перерізом або з невеликою конфузорністю. Зворотні канали виконують або прямовісними, бо це сприяє вирівнюванню поля швидкостей, або з невеликою конфузорністю. При цьому повну дифузорність рекомендують виконувати у межах $V_6/V_5 = 1,2 \div 1,5$, а радіус кривизни зворотних каналів по середній лінії може бути прийнятий $R_{cp} \approx 0,5R_4$.

Алгоритм проведення теоретичної частини проектування напрямного апарату, що містить у собі розрахунки геометричних параметрів, наведений на рис. 13.

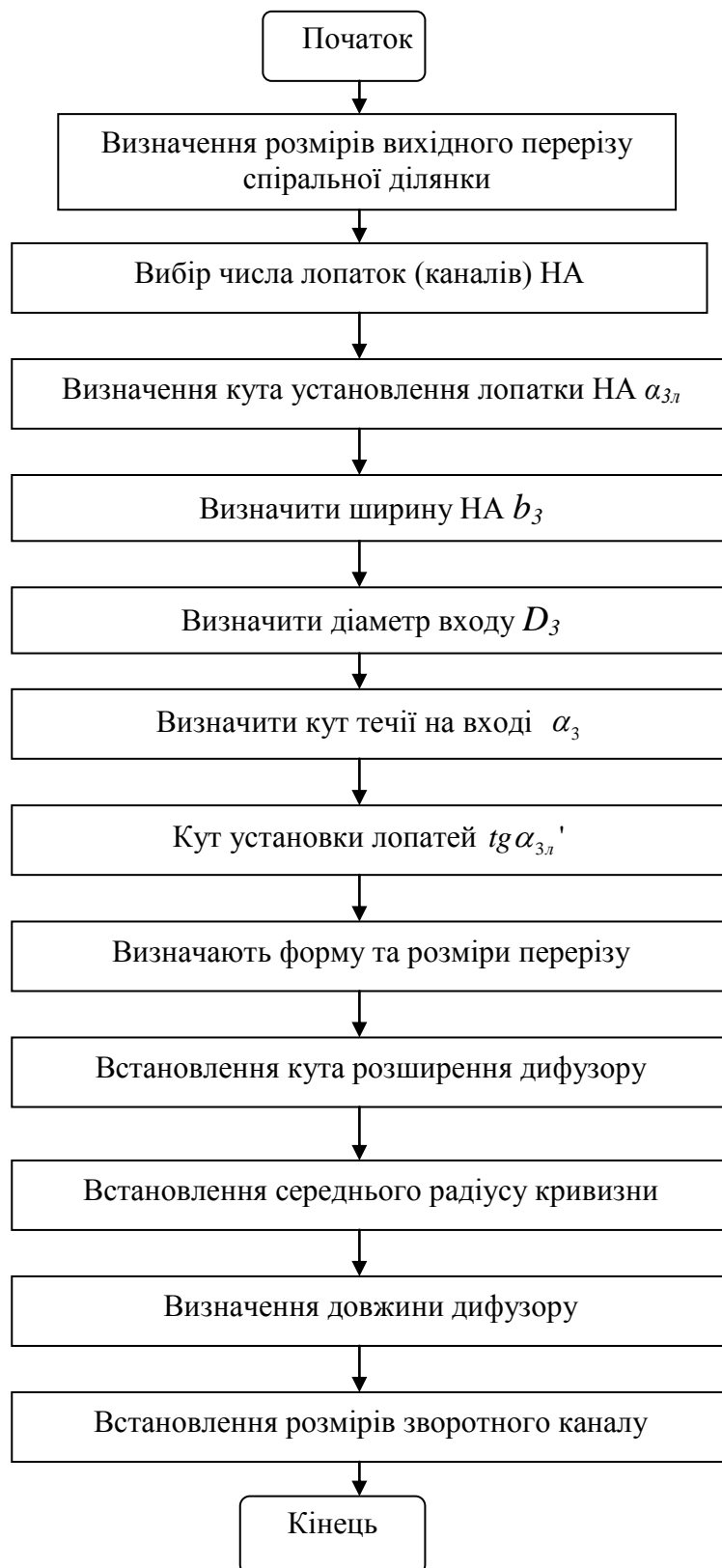


Рис. 13 - Алгоритм теоретичної частини проектування.

З огляду на алгоритм процесу проектування напрямних апаратів можна виділити наступний порядок розрахунку параметрів напрямного апарату відцентрового насосу:

- проектування спіральної ділянки,
- проектування ділянки дифузору,
- проектування ділянки зворотніх каналів,
- проектування перевідної зони.

Раціональним вважається прийняти аналогічну послідовність розроблення геометричної тривимірної моделі робочого органа, що досліджується.

3.2 Загальні рекомендації до побудови 3D моделі НА

При побудові тривимірної моделі відповідного пристрою ВЦН раціонально дотримуватись наступної послідовності, враховуючи результати проведеного системного аналізу:

1. Побудова спіральної ділянки напрямного апарату.
2. Побудова дифузорового каналу.
3. Побудова ділянки зворотніх каналів за наявності останніх у конкретному конструктивному виконанні.
4. Побудова перевідної ділянки напрямного апарату.

У випадку тривимірного моделювання напрямного апарату кінцевого ступеня у багатоступеневому виконанні ВЦН слід замінити 3 та 4 етапи наведеної послідовності на етап побудови ділянки відведення рідини назовні з насосу до напірного трубопроводу.

У випадку проектування напрямних апаратів одноступеневих насосів, що виконують роль відводів, зі вказаного переліку виключають пункти 2, 4 при збереженні загальної послідовності моделювання.

Проведений системний аналіз дозволяє стверджувати про однотипність першого і другого етапів тривимірного моделювання різних конструктивних

виконань напрямних апаратів багатоступневих насосів, першого і третього - для одноступневих насосів. Етапи третій та четвертий відрізняються внутрішніми операціями відповідно до конкретного конструктивного типу відповідного пристрою.

При моделюванні НА будуть в основному будуть встановлюватися наступні взаємозв'язки між елементами ескізу: збіг, перпендикулярність, дотичність, концентричність, відстань, крапка пронизання.

Висновки

Формуючи тривимірну модель НА з окремих блоків: спіральної частини, дифузору, ділянок перевідних (або за відсутності останніх – ділянки кільцевої області) та зворотних (підвідних) каналів, ми значно спрощуємо процес редагування створеної моделі.

Створена блочним методом модель НА проміжного ступеня легко піддається процесу модифікації: чи то у НА кінцевого ступеня шляхом заміни ділянки зворотних каналів відповідною ділянкою відвідного пристрою чи то ділянки перевідних каналів кільцевою областю і т.п. Наряду з цим ми отримуємо також можливість використовувати створені блоки 3D моделі одного апарату при формуванні моделі іншого апарату та відвідних пристроїв.

Виконана «м'яка» параметризація напрямного апарату проміжного ступеня ВЦН дозволяє модифікувати тривимірні моделі апаратів на різні робочі параметри із дотримання преднальних розмірів (під кріплення на валу та у корпус насосу); створює базові засади для формування автоматизованого тривимірного моделювання напрямних апаратів визначеного конструктивного виконання.

Запропонована методика побудови тривимірної моделі, яка враховує особливості робочого процесу у досліджуваному органі ПЧ ВЦН, та дозволяє підвищити якість та швидкість конструкторського етапу проектування робочих органів лопатевих насосів. Дані методики раціонально застосувати при проектуванні інших робочих органів відцентрових насосів, зокрема відвідних пристроїв.

Впровадження тривимірного моделювання у проектування та дослідження робочих процесів окремих елементів проточної частини багатоступеневих насосів та проточних частин в цілому дозволяє значно скоротити час, кошти та трудові ресурси на отримання бажаного результату.

Список літератури

- 1 Д. Хитрых. Ansys Turbo: Сквозная технология проектирования лопаточных машин. / Д. Хитрых // Ansys Solution. Русская редакция. – 2007. – № 6. – С. 31 - 37.
- 2 Д. Хитрых. Проектирование лопаточных машин. Часть 1/ Д. Хитрых / ANSYS Solution. Русская редакция.– 2007. – №5. – С.37 – 40.
- 3 Д. Хитрых. Проектирование лопаточных машин. Часть 2/ Д. Хитрых / ANSYS Solution. Русская редакция.– 2008. – №8. – С.39 – 43.
- 4 Вертячих О.В. Гідродинамічні аспекти блочно-модульного конструювання проточних частин насосів гідродинамічного принципу дії на ділянці «вихід з робочого колеса – вхід у відвід»/ Карапузова М.В., Неня В.Г., Неня А.В// Вісник Національного технічного університету України «КПІ» К.: НТУУ «КПІ». – 2007 г. – № 54. – С. 25 - 33
- 5 Ванін В.В. Визначення та основні положення структурно-параметричного моделювання/ Ванін В.В., Вірченко Г.А.// Геометричне та комп'ютерне моделювання. Харків: ХДУХТ, 2009. Вип.23.- С.42-48.
- 6 Расчет отводящих устройств центробежных насосов/ Полоцкий Н.Д., Богницкая Ф.А., Агульник Р.М / под ред. С.С. Руднева – М. : ЦИНТИХимнефтемаша, 1967. – 48 с.
- 7 Михайлов А.К., Малюшенко В.В./ Лопастные насосы/ Москва, «Машиностроение», 1977 – 289 с.
- 8 <http://tct-msk.ru/articles/detail.php?ID=3092> – Насосное оборудование
- 9 Малюшенко В.В., Михайлов А.К. Энергетические насосы: Справочное пособие.- М.Энергоиздат, 1981.- 200 с.
- 10 Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование.- М.:Машиностроение, 1977. - 228 с.
- 11 Лопастные насосы: Справочник/ В.А.Зимницкий, А.В. Каплун, А.Н.Папир, В.А.Умов/ Под общ.ред. В.А. Зимницкий и В.А. Умова.-

- Л.:Машиностроение, Ленинградское отд., 1986.- 334 с.
- 12 Антонов А.В. Системный анализ. — М.: Высшая школа, 2004. — 454 с.
 - 13 Губанов В.А., Захаров В.В., Коваленко А.Н. Введение в системный анализ: Учебное пособие. — Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1988. — 232 с.
 - 14 Акимов С.В. Архитектура распределенной системы структурно-параметрического синтеза // Международная НТК «Единое информационное пространство '2004»: сб. докл. / Днепропетровск, 2004, С. 21-24.
 - 15 Акимов С.В. Четырехуровневая интегративная модель для автоматизации структурно-параметрического синтеза // Труды учебных заведений связи / СПбГУТ. СПб, 2004. № 171. С. 165-173.
 - 16 Ковальов С.М., Золотова А.В. Обчислювальна геометрія: Навчальник. — К.:КНУБА, 2008 — 115 с.
 - 17 Ковальов С.М. Параметричний аналіз в геометрії: Навч. Посібник. — К.:КНУБА, 1999, - 77 с.