

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Рябчиков Микола Львович

УДК 621.824.6

ОСНОВИ ТЕОРІЇ РОЗРАХУНКУ ТА КОНСТРУЮВАННЯ РІДИНОНАПОВНЕНИХ ВАЛІВ

Спеціальність 05.02.02 - Машинознавство

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків - 2004

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській інженерно – педагогічній академії
Міністерства освіти і науки України, м.Харків

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Доценко Володимир Миколайович,
Національний аерокосмічний університет “Харківський авіаційний інститут”, м.Харків,
професор кафедри теоретичної механіки і машинознавства.

доктор технічних наук, професор
Кириченко Анатолій Федорович
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, м.Харків,
професор кафедри нарисної геометрії і графіки.

доктор технічних наук, професор
Щербань Юрій Юрійович,
Київський національний університет технологій і дизайну, м.Київ,
проректор з навчальних та інформаційних технологій.

Провідна установа: Інститут проблем машинобудування НАН України
ім. А.М. Підгорного, м.Харків.

Захист відбудеться “ 21 ” квітня 2004 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 64.050.10 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний
університет” за адресою:

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету
“Харківський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий “ 12 ” березня 2004 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Бортовой В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасний стан розвитку України свідчить про позитивні тенденції у розвитку певних галузей промисловості. Це насамперед відноситься до харчової, легкої промисловості, галузей, пов'язаних з пакуванням, виготовленням та переробкою полімерних плівок. Працює традиційна для України промисловість металургії і металопрокату. У той же час дослідні організації України взагалі і Харкова зокрема мають розробки у напрямках цих галузей, науковці України, що працюють в області фундаментальних досліджень, одержали ряд результатів в області плазмової металізації, вакуумних технологій та інших новітніх фізико – хімічних процесів, які потребують втілення у реальні машини.

Робота відноситься до галузі машинознавства, особливо до методів конструювання машин для новітніх фізико – хімічних технологій, що втілюють у реальне виробництво останні досягнення фізики, хімії щодо створення технологічних процесів в умовах, пов'язаних з вакуумом або спеціальними середовищами, переважно призначених для обробки довгомірних листових матеріалів, тобто таких, які мають довжину багато більшу, ніж ширину, яка у свою чергу більша за товщину. Типовими елементами таких виробництв є різноманітні пристрої, що обертаються вали, вальці, барабани, до яких зараз пред'являються нові вимоги: підвищення якості за рахунок регулювання прогинів, температур і інших факторів по довжині, можливість роботи у спеціальних умовах (вакуум, спеціальні середовища та ін.), вимоги по економії енергетичних і інші вимоги при виробництві та експлуатації.

Новітніми елементами, поки що не узагальненими, є елементи з рідинним керуванням. У різних галузях вони розглядаються з своїх позицій і не мають загальної концепції розрахунку і проектування. У той же час широта галузей можливого і дійсного використання таких пристроїв свідчить про те, що така теорія повинна бути розроблена для них, як для нових типових елементів деталей машин.

Актуальність роботи, таким чином, складається у можливості розв'язання задач підвищення якості продукції і забезпечення її конкурентоспроможності на рівні кращих світових зразків при одночасній економії енергоресурсів.

В Україні розроблені нові фізико-хімічні процеси обробки листових матеріалів (вакуумна металізація, нанесення голографічних покриттів та ін.), які вимагають розробки теоретичних основ створення нової техніки для забезпечення цих процесів. Широкому втіленню пристроїв в обладнанні для обробки та виготовленні полімерних, паперових матеріалів, нових матеріалів для пакування, що розвиваються в Україні перешкоджає відсутність чіткої теорії їх розрахунку. Ряд перспективних для України галузей (металопрокат, промисловість полімерних плівок, текстильна, па-

піропереробна) вимагають нового енергозберігаючого обладнання з можливістю підвищення якості продукції.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась відповідно до державної науково-технічної програми “Підвищення надійності і довговічності машин і конструкцій”, Урядової програми “Україна-2010” (проект 4 – “Технологія і технічне оновлення виробництва”), державного інноваційного проекту №6396-22/42 “Організація виробництва харчової упаковки з впровадженням технологій плазмохімічної обробки і вакуум-плазмового нанесення тонких покриттів”, планами держбюджетних НДР Української інженерно-педагогічної академії №0/2 “Дослідження питань механіки рідинонаповнених барабанів”, номер державної реєстрації 0104U0943, №3/3 “Побудова систем автоматизованого проектування обертальних елементів машин”, номер державної реєстрації 0104U0941.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є комплексне розв'язання проблеми по створенню високоякісних конкурентоспроможних валів з керуванням рідиною, переважно для новітніх фізико-хімічних технологій з врахуванням роботи в складних умовах вакууму або спеціальних середовищ, шляхом розробки теоретичних основ їх проектування, теорії їх розрахунку, виконання різних варіантів конструктивних схем валів, систем постачання рідини і розв'язання деяких актуальних і складних питань технології їх виробництва.

Об'єктом дослідження виступають системи валів, стан поверхні яких керується рідиною, що знаходиться усередині пристрою.

Предметом дослідження є система структурно -функціональних ознак, що характеризують рідинонаповнений вал, як єдиний об'єкт.

Методи дослідження включають теоретичні та експериментальні методи. Для розробки основ теорії системного аналізу рідинонаповнених валів використано методологію функціонально – структурного морфологічного аналізу. При формуванні та аналізі множин ознак рідинонаповнених валів використано апарат теорії множин та теорії груп з використанням теорій алгебраїчних систем та графів. В процесі пошуку структурно - функціональних ознак на основі принципу мінімізації прогинів використовувались методи теорії деформації оболонок та методи теоретичної гідродинаміки з участю чисельно-аналітичних методів у розв'язанні рівнянь.

У процесі пошуку граничних умов для реалізації напівемпіричного метода визначення прогинів використовувались методи імітаційного моделювання, що передбачали залучення методів тензометрії, поляризаційно – оптичного методу та методу муарових сіток. При експериментальних дослідженнях реальних пристроїв використовувались методи оптимального планування експерименту з залученням методів математичної статистики. Використовувались методи статичної і динамічної тензометрії. Обробку результатів обчислень, статистичних і експериментальних випробувань виконано методами теорії імовірностей і кореляційного аналізу із застосуванням програм-

ного комплексу MathCAD. В процесі пошуку оптимальних рішень при аналізі проблем проектування пристроїв з мінімальними прогинами та мінімальними енерговитратами використані методи теорії оптимального проектування. При побудові систем автоматизованого проектування використовувався програмний комплекс Autolisp, вбудований у програмне середовище AutoCAD.

Гіпотеза дослідження складається у тому, що усі відомі вали з керуванням рідиною є однорідними об'єктами, структура і функціонування яких підлягає єдиним законам, на основі чого можливо створити єдину теорію таких пристроїв, яка включає відомі об'єкти і може передбачати нові пристрої з заданими властивостями.

У відповідності до мети дослідження і висунутою гіпотезою дослідження, враховуючи багатокритеріальність об'єкта дослідження і багатофакторність проблеми, що складає предмет дослідження, сформульовані такі задачі дослідження:

- провести структурно – морфологічний аналіз рідинонаповненого валу з метою визначення основних характерних параметрів, що визначають закономірності його будівлі;
- розробити теоретичні основи функціонування та створення рідинонаповнених валів, які адекватно описують існуючі вали і дозволяють ефективно створювати нові вали для розв'язання конкретних задач;
- обґрунтувати основні принципи раціонального проектування рідинонаповнених валів, виходячи з їх функціональних та конструктивних властивостей;
- побудувати теоретичні методи розрахунку рідинонаповненого валу з врахуванням принципів раціонального проектування, особливостей їх конструкції, визначити основні теоретичні залежності функціональних параметрів валів від конструктивних параметрів;
- розробити ефективні методи вибору основних параметрів рідинонаповнених валів на базі найліпшого задоволення основним принципам раціонального проектування;
- на основі теоретичних і експериментальних досліджень виявити основні закономірності роботи рідинонаповнених валів з метою запобігання небажаних ефектів, розробити конструктивні методи їх подолання;
- визначити фактори, що негативно впливають на енергоефективність рідинонаповнених валів, розробити систему заходів, що дозволяють створювати рідинонаповнені вали з умов енергозбереження;
- розробити методи роботи рідинонаповнених валів у режимах, пов'язаних з додатковою подачею рідини у внутрішні порожнини, на основі чого визначити фактори, що впливають на якість роботи валів у цих режимах, розробити методи раціонального конструювання з урахуванням додаткових навантажень, що виникають при цьому;

– розробити основні принципи автоматизованого проектування рідинонаповнених валів і їх систем, створити реальні системи проектування з використанням сучасних програмних та апаратних засобів з метою одержання реальних робочих документів для створення валів;

– створити формалізовані методи аналізу конструкції рідинонаповненого валу, на основі чого розробити методи синтезу рідинонаповнених валів з новими властивостями, розробити технологічні методи виготовлення валів, враховуючи необхідність забезпечення основних принципів їх ефективної роботи;

– перевірити загальні властивості рідинонаповнених валів для конкретних валів, виявити частинні закономірності окремих валів, що діють у межах загальної теорії і необхідні у процесі їх конструювання;

– провести реальні випробування розроблених методів у процесі проектування, виготовлення, та експлуатації рідинонаповнених валів, на основі чого перевірити ефективність принципів, методів, алгоритмів, розробити рекомендації по впровадженню рідинонаповнених валів.

Наукова новизна одержаних результатів складається в наступному.

Вперше створена теорія рідинонаповнених валів, як система аксіом, принципів, ознак та правил їхнього об'єднання, які дозволяють синтезувати рідинонаповнені вали з новими властивостями, а також визначати їх параметри з умови найбільш ефективного розв'язання задач, що стоять перед ними.

На основі удосконаленого експериментально – аналітичного метода вперше одержаний комплекс методів по проектуванню рідинонаповнених валів з підвищеною жорсткістю, що дозволяє значно підвищити якість продукції, що виробляється за допомогою рідинонаповнених валів.

На основі досліджень деформування рідинонаповнених валів вперше винайдено парадокс появи зворотних деформацій у валах з гідравлічним керуванням прогину правильне врахування яких дозволить найбільш ефективно проектувати та експлуатувати вказані пристрої.

На основі комплексу експериментальних даних при експлуатації дослідних валів вперше статистично обґрунтована система економії енергії в комплексі з системою кваліметричних ознак роботи рідинонаповненого вала.

На базі дослідження деформування рідинонаповнених валів у режимах додаткових витрат рідини уперше розроблені методи подачі рідини у внутрішні порожнини, виходячи з мінімізації динамічних навантажень, що дозволяє значно поліпшити умови роботи валів і якість продукції.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена теорія з застосуванням методу морфологічного аналізу рідинонаповнених валів дозволяє одержувати пристрої з новими, заданими властивостями. Запропоновані методи дозволяють правильно підібрати параметри валів для рішення конкретних задач, проектувати вали з підвищеною жорсткістю з можливістю забезпечення мінімального прогину, вибирати і проектувати засоби подачі рідини в обертальні пристрої, ви-

ходячи з реальних вимог технологічного процесу, значно скорочувати час проектування охолоджуваних барабанів і пристроїв подачі рідини при використанні розроблених систем автоматизованого проектування, контролювати реальні деформації валів і барабанів як у ході іспитів, так і в ході експлуатації, враховувати динамічні навантаження в перехідних режимах у ході проектування й експлуатації валів. Запропоновані моделі розрахунку пристроїв дозволяють визначити реальні технологічні режими їх виготовлення. Практичне значення крім того проявляється в можливості спроектувати рідинонаповнений вал з мінімальними енерговитратами, а також в одержанні методів контролю дефектності продукції й енерговитрат на етапі іспитів і виробництва. Сформульовані вимоги до надструктури рідинонаповнених валів спрощують процес проектування машин з участю означених пристроїв.

Комплекс технічних рішень і методів розрахунку валів і барабанів з керуванням рідиною впроваджений при проектуванні і виготовленні дослідних пристроїв в Інституті високих технологій Харківського національного університету ім. В.Н.Каразіна, при виконанні державного інвестиційного проекту №6396-22/42 “Організація виробництва харчової упаковки з впровадженням технологій плазмохімічної обробки і вакуум-плазмового нанесення тонких покриттів”. Методи охолодження листових матеріалів в процесах вакуумної металізації за допомогою рідинонаповнених пристроїв впроваджені в Національному науковому центрі “Фізико-технічний інститут”. Комплекс кваліметричних ознак при аналізі листових матеріалів впроваджений на АО “Харківська кондитерська фабрика”. Технологічні режими виготовлення та обробки рідинонаповнених пристроїв впроваджені на ЗАО науково-технічне підприємство “Мостокран” та Харківському дослідно – експериментальному заводі “Центросоюзу”.

Результати досліджень впроваджені в навчальний процес на кафедрах “Проектування та експлуатація технічних систем машинобудування” та “Технології легкої промисловості” Української інженерно-педагогічної академії.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові результати, що виносяться на захист, одержані автором особисто і в основному викладені в роботах, опублікованих одноосібно. Автором особисто одержані нові наукові результати до яких відносяться: система ознак рідинонаповнених валів, що характеризують часткові рішення, виходячи з принципу мінімальних прогинів, наукова теорія у вигляді аксіом, ознак, системи основних принципів і правил їх об’єднання, що дозволяють одержати пристрої з новими якостями, методи і алгоритми вибору основних параметрів рідинонаповнених валів на основі критерію мінімізації прогинів контактного шару і методи проектування пристроїв з підвищеною жорсткістю, методи проектування систем руху рідини, виходячи з мінімізації динамічних прогинів, методи вибору систем подачі рідини в обертальні елементи машин, система принципів економії енергії в рідинонаповнених валах.

У спільних роботах здобувачу належить обґрунтування методології досліджень, формування розрахункових і математичних моделей, узагальнення теоретичних положень і результатів експериментів. Збирання статистичної інформації, опрацювання і аналіз результатів досліджень, розробка обчислювальних алгоритмів, проектно-конструкторської документації і практичних рекомендацій для промислового впровадження виконані сумісно. За участю співавторів розв'язано ряд теоретичних і практичних задач, що не увійшли безпосередньо в дисертаційну роботу, але суттєво розширюють галузь застосування запропонованих методів і алгоритмів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідались на: Міжнародній науково-технічній конференції «Современные проблемы машиностроения и технический прогресс» (Севастополь, 1998), Міжнародній конференції «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники», (Харків, 1998), п'ятій міжнародній конференції «Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини» (Миколаїв, червень 1999), шостій міжнародній конференції «СЕТ-99» (Харків, грудень 1999), Міжнародній науково-практичній конференції «Наука і соціальні проблеми суспільства: людина, техніка, технологія» (Харків, 2001), Міжнародній конференції «Информационные технологии: наука техника, образование. Технология и автоматизированное проектирование в машиностроении» (Харків, 1998), Міжнародній конференції «Информационные технологии: наука техника, образование. Компьютерные технологии в механике и управлении» (Харків, 1998), XI міжнародній науково – практичній конференції «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» MicroCAD –2003 (Харків, 2003), Міжнародній конференції «Актуальні проблеми інженерної підготовки спеціалістів у вищих навчальних закладах інженерно-педагогічного профілю, (Харків, 2001), на ряді науково - технічних конференцій УПА (1998-2002 рр.), на виставці «Наука Харківщини 2000», на наукових семінарах кафедри «Деталі машин» Харківського національного технічного університету «ХПТ», кафедри «Нові фізичні технології» Харківського національного університету ім.В.Н.Каразіна, кафедри «ТМ і ТММ» Харківського аерокосмічного університету «ХАІ», наукової ради ВАТ «УкрНДІ-хіммаш», кафедри «Машини і апарати легкої промисловості» Київського національного університету технологій та дизайну, кафедр «Проектування та експлуатація технічних систем машинобудування» та «Технології легкої промисловості» Української інженерно-педагогічної академії, у Національному науковому центрі ХФТІ, обговорювались на технічних радах на ЗАТ НТП «Мостокран» та Харківському дослідно – експериментальному заводі «Центросоюзу».

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 38 наукових праць., в тому числі 30 статей у наукових фахових журналах та збірниках наукових праць та 1 патент України, 14 робіт написані без співавторів.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з двох томів загальним обсягом 453 сторінки. У першому томі містяться вступ, п'ять розділів з висновками по кожному, загальні ви-

сновки, список використаних джерел з 315 найменувань. Загальний обсяг дисертації становить 360 сторінок, включаючи 237 ілюстрацій, 33 таблиць. Другий том вміщає 26 додатків на 64 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, визначені об'єкт, предмет, гіпотеза і теза дослідження, сформульовані мета і задачі дослідження. Названо результати, що виносяться на захист, визначені їхня новизна, вірогідність і практична значимість. Визначено особистий внесок автора в спільних наукових публікаціях, дані зведення про апробацію результатів.

У **першому розділі** “Розробка загальних принципів побудови теорії рідинонаповнених валів” виявлені й обґрунтовані актуальні задачі розрахунку та проектування валів та інших обертальних пристроїв з керуванням рідиною для різних галузей промисловості. Досліджені галузі використання валів, та інших обертальних пристроїв. Показано, що вказані пристрої є перспективними для галузей, пов’язаних з обробкою довгомірних, рулонних та інших матеріалів, насамперед в умовах новітніх фізико-хімічних процесів.

Аналіз літературних джерел продемонстрував дуже великий об’єм патентної інформації щодо вказаних пристроїв. У той же час практично відсутні реальні дані щодо практичного проектування рідинонаповнених валів.

На базі проведеного аналізу зроблені такі висновки щодо стану питання теорії рідинонаповнених валів. Вали з керуванням рідиною використовуються під різними назвами у різних галузях промисловості, але не мають єдиної підходу при розрахунку та проектуванні. Сучасні фізико-хімічні технології вимагають використання рідинонаповнених валів для забезпечення якісного протікання процесу. Принципи конструювання таких валів не мають спільного напрямку, моделі розрахунку мають дуже вузьку направленість. Відсутні реальні рекомендації по організації систем автоматизованого проектування подібних пристроїв, які б могли прискорити створення реальних конструкцій. Теорія розрахунку та проектування окремих валів, якщо вона існує, має фрагментарний характер, загальної теорії рідинонаповнених валів не існує. Практично не досліджені питання перехідних процесів у валах. Не враховується вплив умов обпирання на деформування оболонок рідинонаповнених валів. Немає практичних рекомендацій по конструюванню систем подавання рідини в елементи машин, що обертаються. Незважаючи на досить великі проблеми при виготовленні таких пристроїв, реальних рекомендацій і розробок у цьому напрямку досить мало. Вали з гідравлічним регулюванням перетворюються у великого споживача енергії, але засоби зниження витрат мають розрізнений характер. Сучасні фізико-хімічні технології повинні включати рідинонаповнені вали, як обов’язковий елемент, але методи створення таких пристроїв практично відсу-

тні. Невідомий принцип створення нових систем рідинонаповнених валів, внаслідок чого значно збільшується час їх втілення в реальні конструкції

У результаті дослідження стану питання поставлені задачі, які визначають логічну схему розв'язання проблеми дисертаційного дослідження. Така схема включає: первинний аналіз відомих рідинонаповнених обертальних пристроїв, доведення структурно – функціональної подібності пристроїв; аналіз гіпотез і припущень; розробка моделі деформування рідинонаповненого вала; розробку моделі перехідних режимів у рідинонаповнених валах; розв'язання проблем виробництва. На базі цих моделей необхідно розв'язати задачі вибору основних параметрів рідинонаповнених пристроїв на основі критерію мінімізації прогинів, проектування систем руху рідини, виходячи з мінімізації динамічних прогинів, вибору систем подачі рідини в обертальні елементи машин. У свою чергу розв'язання цих задач дозволить сформувати систему структурно - функціональних ознак рідинонаповнених валів, що характеризують часткові рішення і сформувати наукову теорію у вигляді аксіом, ознак, системи основних принципів і правил їх об'єднання, що дозволяють одержати пристрої з новими якостями

Запропонована концепція єдиного підходу до питання проектування валів з керуванням рідиною. Загальна схема функціонування рідинонаповненого вала має вигляд (рис.1).

На блок-схемі зображений рідинонаповнений вал у вигляді блока, який має пружність E і теплопровідність λ . На вхід блока подаються вхідні величини: тиск p і температура t рідини, які знаходяться у взаємному впливі із швидкістю рідини v . На виході з блока - переміщення (деформації) контактної поверхні вала w і її температура T . На вихідні параметри здійснюють також вплив зовнішні дії (тиск q , теплота Q), а також стан поверхні R_z .

Рис.1 Схема рідинонаповненого вала

На підставі аналізу структури рідинонаповнених валів зроблений висновок про виділення і розкласифікування базових структурно - функціональних ознак. Показано, що розширення цих ознак, отримане в ході заглибленого вивчення зазначених пристроїв дасть можливість створювати рідинонаповнені вали з заданими якостями і прогнозувати появу нових пристроїв

Проведений первинний структурний аналіз показав безперечну подібність структури рідинонаповнених валів, що з'явилося базою для створення загальної теорії вказаних пристроїв. Для побудови теорії була розроблена система аксіом, припущень та принципів. Серед них провідні місця займають гіпотези структурно – функціональної однорідності рідинонаповнених валів, які дозволяють створювати пристрої на базі системи ознак, що характеризують часткові рішення та прин-

цип мінімізації прогинів зовнішнього шару оболонки пристрою, який є основним для визначення критерію оптимізації, визначення напрямків пошуку структурно - функціональних ознак.

На основі введених принципів було показано, що для подальшого аналізу необхідно розробити модель статичного деформування рідинонаповнених пристроїв, модель поведінки пристроїв в умовах перехідних процесів, розв'язати ряд актуальних проблем їх виробництва.

З метою дослідження деформацій у системах рідинонаповнених пристроїв був запропонований напівемпіричний метод, у якому прогини оболонки пристрою знаходилися шляхом чисельно-аналітичного розв'язання диференційних рівнянь, а граничні умови знаходилися експериментально на моделях окремо для кожної групи пристроїв. Були показані напрямки розв'язання рівнянь у простіших випадках. Аналіз можливих результатів розрахунку виділяє довгі вали (із співвідношенням $coef = \frac{h^2 l^4}{r^6} > 100$), для яких характерне деформування, як довгого стержня для несиметричного навантаження і деформування, як довгої оболонки для симетричного внутрішнього навантаження, короткі вали із співвідношенням $coef = \frac{h^2 l^4}{r^6} < 10$, для яких характерні місцеві деформації стінки вала і проміжні, які не враховує ніяка інша теорія.

Була розроблена методика визначення прогинів в системах рідинонаповнених валів в перехідних процесах. Враховуючи співвідношення розмірів існуючих рідинонаповнених валів, обмеження їх прогинів, умову мінімізації прогинів, властивості рідини, що керує рідинонаповненим валом, методи гідродинаміки та гідропружності, методи розв'язання диференційних рівнянь, методи операційного числення була розроблена загальна методика визначення швидкості хвилі збурення у каналі рідинонаповненого вала, а також параметри підвищення тиску у цій хвилі. Швидкість хвилі збурення у загальному випадку визначається, як

$$a = \frac{\sqrt{\Psi/\rho}}{\sqrt{1 + \frac{k_g \Psi b}{\Omega}}}, \quad (1)$$

де Ψ - об'ємний модуль пружності рідини, що рухається у валі, k_g - жорсткість каналу вала, яким рухається рідина, Ω - площа поперечного перерізу каналу для руху рідини, b - ширина каналу, ρ - густина рідини.

У перехідних процесах деформації вала визначаються хвилею збурення, яка йде каналами для рідини при раптовому підвищенні витрат рідини. Коливання вала у перехідних режимах ви-

значаються сумісними коливаннями збуреної рідини у порожнині вала і власними коливаннями вала, як твердого тіла.

Запропоновані моделі розрахунку пристроїв дозволили визначити реальні технологічні режими їх виготовлення.

У **другому розділі** “Системи рідинонаповнених валів з превалюванням регулювання температури” був проведений пошук структурно - функціональних ознак на основі дослідження рідинонаповнених пристроїв відповідної групи. На основі запропонованих методів морфологічного аналізу були виділені відомі рідинонаповнені пристрої для подальшого аналізу.

Був проведений аналіз ознак рідиноохолоджуючих валів та визначені принципи їх будови в процесі статичного деформування на основі розроблених моделей. Цей аналіз підтвердив доречність розподілення вказаних пристроїв на три класи. Вали будуть довгими при досить яскраво вираженій циліндричній ділянці посередині пристрою, короткими при практичній відсутності цієї ділянки, а також вали середньої довжини, які займають проміжне становище.

У відповідності до принципу руху рідини усередині вала були виділені такі основні принципи: одягання оболонки на повздовжні перегородки, одягання оболонки на гвинтові перегородки (обидва ці принципи можуть передбачати вільне одягання оболонки та посадку з натягом), канали у валі та канали між оболонкою вала та осердям.

При аналізі різних принципів руху рідини сумісно з аналізом деформування оболонки вала, враховуючи принцип мінімізації прогинів були розроблені заходи для підвищення жорсткості валів. Підвищена жорсткість забезпечується при надяганні оболонки на перегородки з натягом. При збільшенні кількості витків n перегородок деформації оболонки вала різко знижуються, внаслідок цього поверхня вала стає більш рівною, якість продукції, що виробляється стає кращою (рис.2).

Рис.2. Профіль прогинів оболонки рідинонаповненого вала для різної кількості витків

1- $n=1$; 2- $n=5$; 3- $n=7$; 4- $n=14$

Вплив граничних зон враховувався шляхом проведення експериментів на моделях. При цьому змінним параметром вважалось відношення товщини оболонки пристрою до товщини боковини. Експерименти проводилися за допомогою методу муарових сіток, а також за допомогою інтерференційно-оптичного методу.

Сучасні засоби дослідження деформацій за допомогою муарового ефекту передбачають можливість безпосереднього виводу результатів вимірювань плоских зразків на комп'ютерну техніку, наприклад за допомогою сканерів. Таким чином були проведені дослідження растрів, які вини-

кають при накладенні плоскої гумової моделі на контрольний растр, який виконано на прозорому матеріалі.

Моделі граничних зон, виконані з пружного матеріалу розташовувались в зоні екрану сканеру, що був підключений до комп'ютеру. Одержана кольорова картина оброблялася на комп'ютері з метою одержання найліпших для візуального контролю результатів. Аналіз картин муарових смуг і визначення деформацій для плоских задач виконувався побудовою графіків переміщень вздовж осей.

Досить обґрунтованим при цьому було введення трьох ознак граничних зон для рідиноохолоджувальних валів у залежності від кута повороту оболонки. Перша ознака може охарактеризувати граничні зони, як жорсткі. При цьому кут повороту поблизу граничних зон практично дорівнює нулю. Такі умови характерні для співвідношень товщини боковини до товщини оболонки, що перевищує 2...2,5. М'які граничні зони означають слабкий опір граничних зон деформаціям оболонки і характерні для співвідношень вказаних розмірів, менших одиниці. Останні розміри характеризують перехідні граничні умови.

Для подальшого розвитку системи ознак були досліджені перехідні процеси у рідиноохолоджуючих валах на базі розв'язання диференційного рівняння руху рідини із врахуванням її пружних властивостей сумісно з пружними властивостями оболонки вала. Швидкість розповсюдження пружних хвиль у каналі рідинонаповненого вала

$$a = \frac{\sqrt{\Psi/\rho}}{\sqrt{1 + \frac{\Psi b^4 (1 - \gamma^2)}{E 15h} \left(\frac{1}{\delta^3} + \frac{1}{\delta_1^3} \right)}}, \quad (2)$$

де E – модуль пружності матеріалу вала; δ – товщина зовнішньої оболонки вала; δ_1 – товщина внутрішньої оболонки; h – висота каналу для проходження рідини.

На основі розв'язання рівнянь нестационарних процесів обробки рулонних матеріалів були визначені ефективні режими охолодження листових матеріалів на рідиноохолоджуючих валах

Були розширені ознаки охолоджувальних валів у напрямку зміни температури. Показано, що певна комбінація ознак може призвести до створення валів із змінною по довжині температурою.

Було проведено формування структурно – функціональних ознак при дослідженні роботи нагрівальних валів. При цьому оцінювалась жорсткість валів з метою забезпечення принципу мінімізації прогинів.

Була сформована система ознак схем подавання рідини у системах рідинонаповнених валів. Виділені ознаки по засобу подавання рідини. При цьому аналіз був направлений на їх порівняння з

точки зору надійності і забезпечення мінімальних гідравлічних опорів. По виду рідини схеми подачі були розподілені на подачі звичайних, нагрітих та криогенних рідин.

Особливо глибоко розглядані особливості теорії конструювання систем подавання криогенних рідин, як таких, що забезпечують виконання новітніх фізико-хімічних процесів. Було проаналізоване температурне поле у цапфі вала з подаванням криогенних рідин.

Задача про розподілення температур у такій моделі вирішувалась за допомогою функції *multigrid* у програмному середовищі *Mathcad 2000*. Досліджувались реальні цапфи діаметром 30...60 мм при протіканні нею охолоджуючої рідини – Тосола при температурі $-40...-80^{\circ}\text{C}$. На рис.3 зображене типове розподілення температур перерізом.

На основі розподілення температур проведений аналіз температурних деформацій з метою вибору раціональних співвідношень розмірів, який показав невісьосиметричний профіль деформацій. На основі цього синтезований новий пристрій для подачі криогенних рідин в обертальні елементи машин, що працюють в умовах вакууму (рис.4).

Рис.3. Розподілення температур перерізом цапфи вала

На рисунку означені: 1-частка рідинонаповненого валу, 2- привідний вал, 3 – корпус вакуумних ущільнень, 4 – підшипник, 5 – гумові ущільнення, 6- порожнина для вакуумного мастила, 7 – трубка подавання керуючої рідини, 8- трубка виведення керуючої рідини. 9 – шпильки кріплення корпусу вакуумних ущільнень, 10 – корпус подачі і виведення рідини, 11 гумові ущільнення робочої рідини, 12 – тепло ізолююче кільце, 13 – шпильки кріплення корпусу, 14 – елемент передачі скручу вального моменту.

Рис.4. Синтезований вузол подачі криогенної рідини в обертальні елементи машин, що працюють в умовах вакууму

Сформовані проблеми побудови систем автоматизованого проектування систем рідинонаповнених валів. На основі розробки ряду алгоритмів сформовані програми на мові Auto Lisp, що є складовою частиною середовища автоматизованого проектування AutoCAD. Розроблені програми дозволяють в автоматичному режимі одержувати робочі креслення деталей і систем на будь-якому носії.

Для підтвердження одержаних даних був проведений натурний двофакторний експеримент по визначенню деформацій оболонки рідинонаповненого вала у реальній установці вакуумної металізації полімерної плівки (рис.5). Факторами впливу були обрані тиск рідини та її температура.

Рис.5 Дослідна установка для визначення деформацій рідиноохолоджуючих валів в умовах вакууму

У вакуумній камері 1 розташовується рідиноохолоджуючий вал 2, який опирається на два підшипники. Один з підшипників розташований у вузлі подавання рідини 3. Охолодження вала ведеться з камери охолодження 4. Температура і тиск охолоджуючої рідини, що подається у порожнину барабана контролюються за допомогою термометра 5 і манометра 6. Термометр 7 і манометр 8 контролюють температуру і тиск рідини, що виводиться з барабану. Додаткова камера подавання нагрітої рідини у вузол подавання 9 також має термометр 10 і манометр 11.

Привід вала до обертання здійснюється за допомогою асинхронного двигуна 12, частота обертання якого регулюється шляхом зміни частоти струму за допомогою системи керування 13. Частота обертання знижується за допомогою редуктора 14 і контролюється за допомогою стробоскопа 15. Привід вала від редуктора здійснюється за допомогою ланцюга 16.

Дані про деформації оболонки вала знімаються за допомогою перетворюючого пристрою 17, описаного у попередньому розділі. Сигнали від пристрою реєструються за допомогою тензостанції 18 і електронно – променевого осцилографа 19.

Для активного вимірювання переміщень оболонки вала був розроблений оригінальний перетворюючий елемент, який дозволяє просте кріплення тензометричного датчика і одночасно надійний контакт з точкою, прогин якої підлягає вимірюванню.

Такий елемент уявляє з себе тонку пластину, закріплену з одного кінця, другим кінцем ця пластина пружно обпирається на пристрій, деформація якого підлягає вимірюванню. Тензодатчик закріплюється до пластини вздовж її довжини поблизу точки закріплення пластини.

Для вимірювання статичних і квазістатичних деформацій використовувались мостові схеми з живленням на перемінному струмі, які дозволяють здійснювати схемну термокомпенсацію.

Для динамічних вимірювань у широкому діапазоні частот використовувалась схема з підсилювачем на частоті з реєстрацією за допомогою електронно - променевим осцилографом

Для реєстрації ряду вимірювань у десяти точках по довжині вала або барабану запропонований пристрій, який уявляє з себе десять перетворюючих елементів, закріплених на одному несучому стержні.

Стержень закріплюється у камері паралельно осі вала таким чином, що перетворюючі елементи опиняються щільно притиснутими до поверхні, деформації якої підлягають вимірюванню

Результати експерименту підтвердили правильність теоретичних доведень і дозволили ввести додаткові коефіцієнти, що уточнюють їх.

У третьому розділі “Системи рідинонаповнених валів з превалюванням регулювання прогину” поставлена та розв’язана задача відшукування нових структурно - функціональних ознак рідинонаповнених валів з переважним регулюванням прогину, при цьому розроблений ряд методів їх раціонального проектування.

В процесі дослідження підтверджена однорідність усіх видів рідинонаповнених валів з точки зору їх геометрії. При застосуванні напівемпіричного методу визначення деформацій виділені ті ж групи, що й для пристроїв з превалюванням регулювання температури.

Функція прогинів валу з безперервним регулюванням прогину від дії внутрішнього тиску та зовнішнього навантаження визначається за формулами

$$w = \frac{4pl^4}{\pi^2 Ehr^2} \frac{r_2}{1 - \mu^2} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{\mu^2}{r} \right) \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{j^3 \cdot \sin \frac{\pi j}{2} \cdot \sin \frac{(2i-1)\pi x}{l} \cdot \cos j\varphi}{\left[(2i-1)^4 \pi^4 + \frac{h^2 l^2}{12r^6} j^4 (j^2 - 1)^2 \right]}, \quad (3)$$

$$w_q = \frac{4ql^4}{\pi^2 r_2 r^2 Eh} \frac{r_2}{1 - \mu^2} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{\mu^2}{r} \right) \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{j^4 \cdot \sin \frac{(2i-1)\pi x}{l} \cdot \cos j\varphi}{\left[(2i-1)^4 \pi^4 + \frac{h^2 l^4}{12r^6} j^4 (j^2 - 1)^2 \right]}, \quad (4)$$

де p – внутрішній тиск усередині валу; q - зовнішнє лінійне навантаження; h - товщина оболонки валу; r_2 - радіус зовнішнього шару валу; r - радіус внутрішнього шару валу; l - довжина валу; μ - коефіцієнт Пуассона матеріалу валу; x - позадвжжня координата; φ - колова координата.

Розроблені методи дозволяють визначити параметри регулювання для усіх типорозмірів валів.

В процесі чисельного розрахунку виявлено парадокс появи зворотних деформацій у валах з гідравлічною компенсацією прогину при певних спів відношеннях розмірів (рис.6), знання якого дозволяє запобігти негативних ефектів при проектуванні валів для новітніх фізико-хімічних технологій, а також доведене існування методів подолання цього парадокса з метою створення працездатних конструкцій валів усього розмірного діапазону. Характерним параметром при цьому ви-

ступає величина $koef = \frac{h^2 l^4}{r^6}$.

Рис.6. Деформована поверхня вала при внутрішньому навантаженні

При визначенні деформацій від дії внутрішнього тиску поверхня прогинів до значень геометричного коефіцієнту 100-150 незначно відрізняється від розрахунків за звичайною моделлю. Для менших значень поверхня прогинів значно відрізняється від стержневої моделі, особливо для шару, що безпосередньо торкається матеріалу. Для значень геометричного коефіцієнту 2-3 виникає ефект зворотних деформацій контактного шару. Система регулювання вала потребує значного корегування для значень коефіцієнту менше 300-350. Для значень коефіцієнту 20-100 виправлення небажаних прогинів валу звичайної конструкції уявляє складну проблему у зв'язку з необхідністю значного підвищення внутрішнього тиску. Для значень коефіцієнту менше 3-4 регулювання прогину валом звичайної конструкції неможливо.

Був проведений комплекс експериментів по визначенню залежності жорсткості граничних умов від співвідношення розмірів опорного елемента. Виділено три групи граничних умов, що також підтвердило структурно – функціональну однорідність рідинонаповнених валів.

Спеціальні види опорних пристроїв, які характерні для валів з гідравлічним регулюванням вносять значні корективи в формування профілю прогинів. Визначальним при цьому є коефіцієнт опори χ , що дорівнює відношенню довжини опорного елемента до товщини оболонки вала. Для значень коефіцієнту менше 1 обпирання валу практично не відрізняється від шарнірного, коефіцієнт жорсткості опори близький до нуля. Підвищення коефіцієнту опори до 2-2,5 веде до підвищення жорсткості опори, яке близьке до абсолютно жорсткого.

Досліджені зміни у деформаціях валів у випадку підвищення жорсткості граничних умов з використанням напівемпіричного методу визначення деформацій. Доведено (рис.7), що підвищення жорсткості опор у значній мірі погіршує можливості валів протистояти небажаним прогинам.

Виявлений значний вплив засобу руху рідини крізь рідинонаповнені вали на їх деформації у перехідних режимах, що дозволило створити методи раціонального проектування засобів подачі рідини для різних систем валів.

У процесі досліджень виявлена досить значна залежність прогинів, що виникають у перехідних процесах від засобу подачі рідини у порожнину рідинонаповненого вала. Виявлені такі методи подачі рідини: подача рідини з середини, подача рідини з двох боків, подача рідини з одного боку.

Рис.7. Деформована поверхня вала з жорсткими граничними умовами

Перхідні характеристики для коротких валів з товстими стінками погіршуються. Швидкості хвиль збурення і відповідно підвищення тиску у них збільшується. При збільшенні діаметру вала у 2 рази додатковий тиск у хвилі збурення підвищується приблизно у 2 рази.

Показано, що для довгих валів раціональною є центральна подача, що забезпечує менші динамічні навантаження (рис.8).

На рисунку означено a_0 - швидкість розповсюдження пружних хвиль в абсолютно жорсткому каналі, a - швидкість розповсюдження хвилі збурення в каналі рідиноповненого вала з регулюванням прогину. Для коротких валів раціональною є значення коефіцієнта співвідношення діаметра вала до довжини 0,7...0,8, при якому динамічні характеристики приблизно однакові. Аналізу підлягали амплітуди підвищення тиску у хвилі збурення у процесі руху рідини, а також частоти коливань рідини у каналі з метою врахування небезпеки входження конструкції у зону резонансу.

Рис.8. Зміна швидкості хвилі збурення по довжині вала

1-бокова подача, $\alpha=1$; 2- бокова подача, $\alpha=0,7$; 3- бокова подача, $\alpha=0,5$;

4-центральна подача, $\alpha=1$;5- центральна подача, $\alpha=0,7$; 6- центральна подача, $\alpha=0,5$

Доведена можливість створення довільного прогину оболонки вала з дискретним регулюванням. Розраховані параметри пристроїв для найліпшої реалізації цієї можливості. Функція прогинів при дискретному регулюванні під дією зосередженої сили визначається залежністю

$$w_F = \frac{4Fl^3}{\pi r_2 E h r^2} \frac{r_2}{1 - \mu^2} \left(\frac{1}{r_2} - \frac{\mu^2}{r} \right) \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{j^4 \cdot \sin \frac{i\pi x}{l} \cdot \cos j\varphi \cdot \sin \frac{i\pi \xi}{l} \cdot \sin \frac{j\pi}{2}}{\left[i^4 \pi^4 + \frac{h^2 l^4}{12r^6} j^4 (j^2 - 1)^2 \right]}, \quad (5)$$

де ξ - координата точки прикладення сили від дії дискретного елемента регулювання. Проведений аналіз показав необхідність певних співвідношення розмірів для створення вала з заданим профілем прогинів (рис.9).

Оптимальне співвідношення розмірів визначається коефіцієнтом $coef = \frac{h^2 l^4}{r^6}$, який повинен бути у межах 20-40.

Подальші дослідження структурно-функціональних властивостей валів з керуванням рідиною дозволили виявити вали, у яких регулюється не оболонка, а спеціальні керовані елементи, які

змінюють своє положення під дією рідини, що подається зсередини вала. На базі розробленої моделі перехідних режимів розраховані переміщення елементів у таких валах, досліджені параметри перехідних процесів. Виявлено, що основними параметрами, що впливають на рівень динамічних навантажень можна вважати в'язкість робочої рідини, а також жорсткість пружних елементів, які керують процесом переміщень додаткових елементів.

Рис.9. Профіль прогинів рідинонаповненого валу з дискретним регулюванням

Розвиваючи систему ознак, що характеризують рвідинонаповнені вали, було винайдено, що у ряді випадків вони можуть одержувати властивості саморегулювання. Докладно були розглядані приклади таких валів.

Був проведений комплекс натурних експериментів в дослідній установці вакуумної обробки полімерної плівки, у якій використовувалися вали з рідинним регулюванням прогину. У ході експериментів визначалися статичні та динамічні прогини під дією внутрішнього тиску рідини. Експерименти підтвердили справедливність теоретичних висновків.

У **четвертому розділі** “Система енергозбереження рідинонаповнених валів” виявлені і обґрунтовані основні способи і засоби економії енергії при проектуванні та експлуатації рідинонаповнених валів.

Показано, що рідинонаповнені вали, значно підвищуючи якість продукції, самі перетворюються у великого споживача енергії. Для визначення найліпшого співвідношення якості – енерговитрати у системах рідинонаповнених валів була розроблена система кваліметричних ознак продукції, що виробляється за допомогою рідинонаповнених валів.

На базі комплексу експериментальних досліджень на дослідно-експериментальній установі вакуумної металізації були визначені витрати енергії та дефектність продукції у залежності від основних параметрів, що підлягають регулюванню – витрат рідини і її температури. Енерговитрати перераховувалися у вартісні показники за державними тарифами на електроенергію. Якість продукції перераховувалась на вартість за середніми ринковими цінами на полімерні плівки. На рис 10. показані залежності витрат вартості від зниження якості і від підвищення енерговитрат при зміні температури робочої рідини. Рисунок демонструє досить яскраво виражений мінімум витрат, які визначають оптимальні параметри експлуатації рідинонаповненого вала.

На основі одержаних даних розроблена загальна модель найменших енерговитрат, як багатofакторна модель мінімізації ймовірних подій різних видів витрат. У якості ймовірних подій можуть виступати температура поверхні рідинонаповненого вала, реальні витрати і тиск рідини, а також якості матеріалу, що обробляється – теплопровідність та товщина.

Рис.10. Витрати в залежності від температури для плівки товщиною 60 мкм
1-витрати дефектів, 2-витрати електроенергії, 3-сумарні витрати

Імовірність появи дефектної продукції у цій моделі буде визначатися, як перетин поверхні ймовірностей енерговитрат, що забезпечуються і поверхні ймовірностей енерговитрат, що вимагаються, виходячи з ймовірних властивостей матеріалу.

У випадку врахування двох факторів, що забезпечують роботу вала (температури рідини і її швидкості) імовірність появи неякісної продукції у цьому разі буде визначатися об'ємом фігури, яка є перетинанням поверхонь густин енергій, що вимагаються і густин енергій, що забезпечується.

$$P = f(p) \cap f(t, w), \quad (6)$$

де $f(t, w)$ – густина ймовірності забезпечення заданої температури і швидкості рідини, $f(p)$ – густина ймовірності появи певних ознак продукції, що вимагають певних витрат енергії.

Процент неякісної продукції може бути знайдений, як подвійний інтеграл (7), у якому границі інтегрування визначаються залежністю (8). Економія енергії при цьому визначається різницею між заданими значеннями температури і швидкості охолоджуючої рідини і значеннями, прийнятими з умови зниження енерговитрат.

$$P = \iint f(t, w) dp_w dp_t + \int f(p) dp, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{1-r^2}} \left[\frac{(p_w - m_w)^2}{\sigma_w^2} - \frac{2r(p_w - m_w)(p_t - m_t)}{\sigma_t \sigma_w} + \frac{(p_t - m_t)^2}{\sigma_t^2} \right] - \frac{(p_w + p_t - p)^2}{\sigma_p^2} = \\ & = 2 \ln \frac{\sigma_p^2}{\sigma_t \sigma_w \sqrt{2\pi(1-r^2)}} \end{aligned} \quad (8)$$

де m_w – математичне очікування витрат енергії, пов'язане з забезпеченням швидкості рідини, m_t – математичне очікування витрат енергії, пов'язане з забезпеченням температури, m_p – математичне очікування витрат енергії, пов'язане з забезпеченням технологічного процесу, σ_w – середньоквадратичне відхилення витрат енергії, пов'язане з забезпеченням швидкості рідини, σ_t – середньоква-

дратичне відхилення витрат енергії, пов'язане з забезпеченням температури, σ_p - середньоквадратичне відхилення витрат енергії, пов'язане з забезпеченням технологічного процесу.

Однофакторні моделі пройшли опробування в умовах експериментального пристрою вакуумної металізації і дозволили знизити втрати енергії на охолодження поліетиленової плівки при металізації алюмінієм на 10..12% при практично непомітному зниженні якості. Двовірні моделі повністю обґрунтовані. Для них створено повне математичне забезпечення. Очікується, що їх використання дозволить знизити витрати ще на 5..7%. Багатофакторні методи є перспективними.

У ході подальшого аналізу було виявлено, що великим споживачем енергії є система каналів для проходження рідини усередині рідинонаповненого вала. Оптимізація розташування каналів приводить до зниження енерговитрат. Стандартна конструкція валу не забезпечує перетікання рідини, завдяки цьому рідина обертається у замкненому просторі, що викликає підвищені витрати на тертя. Додаткові канали для перетікання рідини, розташовані оптимальним чином можуть значно знизити ці небажані ефекти.

В процесі розрахунків синтезований вал із зменшеними енерговитратами, який можна одержати, якщо просвердлити поперечний отвір в осерді, яким будуть проходити зайві витрати рідини. Енерговитрати при цьому знижуються в 1,5-1,7 рази.

У результаті пошуку одержаний вал з мінімальними енерговитратами з нахиленими діаметральними отворами в осерді. Економія досягається за рахунок зниження гідравлічних опорів на поворотах. Енерговитрати знижуються в 2-2,2 рази.

У **п'ятому розділі** "Розробка методів побудови рідинонаповнених валів виходячи з системи ознак" проведений морфологічний аналіз комплексу отриманих структурно - функціональних ознак, що дозволив побудувати загальну теорію рідинонаповнених валів, який за заданими правилами дозволяє формувати пристрої з новими властивостями.

Аналіз роботи основних типів валів з рідинним регулюванням, виконаний у попередніх розділах, дозволяє синтезувати загальну теорію таких валів шляхом узагальнення отриманих даних і можливої екстраполяції цих даних на інші пристрої. Усі отримані дані були об'єднані в одному графі ознак рідинонаповненого вала (рис.11).

Рис.11. Ознаки рідинонаповненого вала

Аналіз рідинонаповненого вала дозволив виділити такі основні групи властивостей і особливостей, що характеризують його структуру.

Група B_0 визначає надструктуру вала. Елементи цієї групи розрізняються у залежності від того, наскільки відокремлено розглядається робота вала. Елемент B_{01} визначає роботу окремих валів,

чому власне і були присвячені попередні викладки. Елемент B_{02} передбачає роботу валів у комплексі машин.

Група B_1 визначає особливості, пов'язані з параметром, що превалює при регулюванні. Окремі підгрупи цієї групи: B_{11} – температура; B_{12} – тиск.

Елементи цих двох підгруп у свою чергу можна розділити на такі елементи: $B_{1,1}^1$ - зниження температури; B_{11}^{11} - температура, постійна по довжині; B_{11}^{12} - температура, змінна по довжині; B_{11}^2 - підвищення температури; B_{12}^1 - прогини оболонки вала; B_{12}^{11} - компенсація небажаних прогинів; B_{12}^{111} - з зовнішнім регулюванням; B_{12}^{112} - з саморегулюванням; B_{12}^{12} - регулювання прогинів за заданим законом; B_{12}^2 - деформування додаткових елементів.

Група B_2 визначає особливості розрахунку, пов'язані з забезпеченням якості роботи вала. У цій групі можна визначити дві основні підгрупи: B_{21} – параметри оболонки вала; B_{22} – параметри граничних зон (визначаються експериментально);

На відміну від попередньої групи, підгрупи цієї групи є сумісними, тобто обов'язково виступають разом. У підгрупах виділяємо такі елементи: B_{21}^1 - з'єднання оболонки вала з опорними цапфами на границях; B_{21}^{11} - короткі вали з геометричним коефіцієнтом $coef < 10$; B_{21}^{12} - середні вали з геометричним коефіцієнтом $10 < coef < 100$; B_{21}^{121} - з можливістю компенсації прогинів; B_{21}^{122} - з неможливістю компенсації прогинів; B_{21}^{13} - довгі вали з геометричним коефіцієнтом $coef > 100$; B_{21}^2 - з'єднання оболонки вала з опорним валом за допомогою посадки з натягом; B_{22}^1 - жорсткі граничні зони, коефіцієнт жорсткості $k > 2$; B_{22}^2 - перехідні граничні зони, коефіцієнт жорсткості $1 < k < 2$; B_{22}^3 - "м'які" граничні зони, коефіцієнт жорсткості $k < 1$.

Група B_3 визначає принципи руху рідини крізь вал і включає такі елементи: B_{31} – повздовжні перегородки; B_{32} – поперечні перегородки. Ці обидва елементи можуть включати один з двох: B_3^1 - вільне одягання оболонки на перегородки; B_3^2 - посадка оболонки на перегородки з натягом. Крім цього можливі елементи: B_{33} – канали у валі; B_{34} – канал між оболонкою та осердям; B_{34}^1 - подача рідини з середини вала; B_{34}^2 - подача рідини з боків вала; B_{34}^3 - подача рідини з одного боку.

Група B_4 визначає особливості подавання рідини у порожнину вала. Вона включає дві основні підгрупи: B_{41} – принципи подавання; B_{42} – вид рідини.

Підгрупи включають такі елементи: B_{41}^1 - аксіальна система; B_{41}^2 - система з боковими виходами; B_{41}^3 - система з нахиленими виходами; B_{42}^1 - звичайна рідина; B_{42}^2 - криогенна рідина; B_{42}^3 - високотемпературна рідина.

Група B_5 характеризує принципи економії енергії при проектуванні та експлуатації рідинонаповнених валів. Ця група може включати елементи: B_{51} – вибір оптимального співвідношення якості і витрат; B_{52} – вибір оптимального розташування каналів; B_{53} – інші організаційні принципи економії.

На базі побудованого графа організації рідинонаповненого вала може бути розроблена його морфологічна карта. Така загальна карта приведена нижче (таблиця 1).

Карта має п'ять основних груп. У процесі аналізу обираємо ознаки або елементи з правого стовпчика у кожній групі. У таблиці приведена схема алгоритму побудови рідиноохолоджувального барабану з “м’якими” границями, гвинтовою перегородкою з натягом і охолодженням криогенною рідиною.

Виходячи з морфологічної карти, синтезовані вали з новими властивостями охолоджуючий вал з підвищеною жорсткістю, який може бути означений, як

$$W_b = (B_{11}^{11}, (B_{21}^{13} \vee B_{22}^3), B_3^2, (B_{41}^3 \vee B_{42}^2), B_{51});$$

багатокамерний вал з комбінацією ознак третьої групи, який може бути синтезований на основі ознак, як

$$W = \left(\left((B_{11}^{11} \wedge B_{11}^{12}) \wedge B_{11}^2 \right) \vee (B_{12}^{11} \wedge B_{12}^{12}), (B_{21}^1 \vee B_{22}^2), \right. \\ \left. (B_{31} \vee B_3^1) \vee (B_{32} \vee B_3^1) \vee B_{33} \vee (B_{34}^1 \vee B_{34}^3), B_{41} \vee (B_{42}^1 \wedge B_{42}^2 \wedge B_{42}^3), B_5 \right);$$

вал з регулюванням температури, виходячи з системи ознак означається, як

$$W = (B_{11}^{12}, (B_{21}^{12} \vee B_{21}^2 \vee B_{22}^2), (B_{32} \vee B_3^2), (B_{42}^1 \vee B_{42}^2 \vee B_{42}^3), B_{51});$$

вал з системою ознак, що забезпечують саморегулювання $W = (B_{12}^{112}, (B_{21}^{13} \vee B_{22}^1), B_{33}, B_{41}^1).$

Розроблені методи дозволяють сформулювати основні правила об'єднання знайдених ознак для синтезу пристроїв з новими характеристиками.

Таблиця 1

Загальна морфологічна карта рідинонаповненого вала

Розглядані також проблеми функціонування рідинонаповнених валів разом з надструктурою у системах машин. Сформовані принципи уніфікації вказаних пристроїв.

Розглядана структура, об'єкти і форми впровадження результатів дисертаційного дослідження. У процесі впровадження доведена інженерна та наукова цінність одержаних результатів. Дове-

дений міжгалузевий характер розроблених методів та моделей. Підтверджений факт того, що результати дисертаційного дослідження можна кваліфікувати, як нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, які у сукупності мають суттєве значення для розвитку конкретного напрямку машинознавства, пов'язаного з розрахунком та конструюванням рідинонаповнених валів.

У **висновках** наведені основні результати дисертаційної роботи.

У **додатках** дані матеріали по впровадженню результатів досліджень, наведені тексти програм розрахунку та автоматизованого проектування рідинонаповнених валів.

ВИСНОВКИ

На основі проведених комплексних досліджень розв'язана важлива науково-технічна проблема, що складається в розробці теоретичних основ проектування рідинонаповнених валів, дослідженні, аналізі і створенні нових систем валів з рідинним регулюванням переважно для новітніх фізико-хімічних технологій, що забезпечують їхню високу технічну конкурентоздатність.

1. Проведено морфологічний аналіз рідинонаповненого вала, що впливає з закономірностей його будівлі. На основі складеного списку характерних параметрів побудовані часткові рішення, що реалізуються в конкретних типах рідинонаповнених валів і барабанів. Побудовано морфологічні карти, за допомогою яких визначені функціональні цінності можливих сполучень основних ознак, на основі чого передбачена поява пристроїв з новими якостями (з перемінним прогином, з перемінної по довжині температурою).

2. Побудовано наукову теорію рідинонаповнених валів у виді системи основних ознак (переважний параметр при регулюванні, особливості розрахунку, принципи руху рідини через вал, принципи подачі рідини, принципи економії енергії) і правил їхнього об'єднання, що дозволяють шляхом логічного синтезу одержати пристрої з новими якостями.

3. Введено й обґрунтований принцип мінімального середнього прогину контактного шару рідинонаповненого вала для забезпечення найкращої якості продукції. Принцип є основою для оптимального проектування рідинонаповнених пристроїв.

4. Побудовано математичну напівемпіричну модель рідинонаповненого вала, як складної пружної системи, у якій прогини обчислюються шляхом чисельно-аналітичного рішення диференціальних рівнянь, а граничні умови визначаються експериментально. Отримано теоретичні залежності для визначення прогинів робочих шарів рідинонаповнених валів з урахуванням коливань і динамічних навантажень у перехідних режимах.

5. Розроблено методологію й алгоритми вибору основних параметрів рідинонаповнених валів на основі критерію мінімізації прогинів контактного шару. Теоретично обґрунтовані методи,

що впливають на зниження рівня деформацій у валах: надягання оболонки на сердечник з натягом у валах з охолодженням рідиною, зменшення жорсткості опор і вибір оптимального співвідношення розмірів для валів з регулюванням прогину, вибір раціонального розташування і кількості каналів у валах з нагріванням.

6. Виявлено парадокс появи зворотних деформацій у валах з гідравлічною компенсацією прогину, знання якого дозволяє запобігти негативних ефектів при проектуванні валів для новітніх фізико-хімічних технологій, а також доведене існування методів подолання цього парадокса з метою створення працездатних конструкцій валів усього розмірного діапазону.

7. Створено систему принципів економії енергії при проектуванні, виготовленні й експлуатації рідинонаповнених валів і значно розвинути методи раціонального проектування валів зі зменшеними енерговитратами, що дозволяють знизити енергоємність устаткування і підвищити економічні показники валів на етапі їхнього проектування, виготовлення й експлуатації.

8. Доведено принципову залежність динамічних прогинів рідинонаповнених валів у перехідних режимах від методу подачі рідини у вал, що дозволило створити методи раціонального проектування засобів подачі рідини для різних систем валів. Показано, що для довгих валів раціональною є центральна подача, що забезпечує менші динамічні навантаження. Для коротких валів раціональною є значення коефіцієнта співвідношення діаметра вала до довжини $0,7...0,8$, при якому динамічні характеристики приблизно однакові.

9. Сформульовано принципи побудови систем автоматизованого проектування валів з рідинним керуванням. Розроблено пакети прикладних програм для оптимального автоматизованого проектування систем валів з рідинним керуванням, у результаті виконання яких на основі вихідних параметрів будуються реальні робочі креслення з висновком на плотер.

10. Запропоновано формалізовані методи аналізу, синтезу й оптимізації конструкцій рідинонаповнених валів, спрямовані на поліпшення технологічних параметрів їхнього виготовлення, які дозволяють запобігти підвищені вібрації і погрішності обробки при виготовленні зазначених валів. Розроблено методіку визначення технологічних режимів їхнього виготовлення з умови забезпечення мінімального допуску, базуючись на принципі мінімального середнього прогину.

11. Загальні властивості структур конструкцій відбиваються у певних частинних закономірностях, що діють у межах даної теорії, що доцільно враховувати при конструюванні конкретних валів. Подібні закономірності сформульовані для деяких окремих випадків рідинонаповнених пристроїв: барабана з рідинним охолодженням, вала з гідравлічним керуванням прогину, валка з рідинним підігрівом, вала з регульованими рухливими елементами.

12. Результати системного проектування конструкцій рідинонаповнених валів і барабанів і експериментальні дослідження, проведені в лабораторних і промислових умовах, підтвердили високу ефективність запропонованих методів і технологій оптимального проектування пристроїв з

рідинним регулюванням, що дозволяє рекомендувати розроблену теорію рідинонаповнених валів для застосування в різних галузях промисловості, насамперед зв'язаних з новітніми фізико-хімічними технологіями.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Рябчиков Н.Л., Оболенская Т.А., Безбородов С.М., Лазаренко В.И. Формирование профиля полимерных пленок при каландрировании на жидконагревательных барабанах // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. – 1999. - Выпуск 43. - С. 144-148.

Здобувачем розроблені математичні моделі, використаний принцип мінімізації прогинів.

2. Рябчиков Н.Л. Рациональные системы подвода жидкости в жидконаполненные барабаны в технологических процессах обработки пленочных материалов // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. – 1999. - Выпуск 44. - С.41-43.

3. Рябчиков Н.Л. Оптимизация методов изготовления жидконаполненных барабанов исходя из требований статической и динамической жесткости // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. – 1999. - Выпуск 45. - С.39-42.

4. Рябчиков Н.Л. Выбор рациональных схем подачи жидкости в валах с гидравлической поддержкой // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. – 1999. -Выпуск 47. - С.40-42.

5. Рябчиков М.Л. Концепція рідинонаповнених барабанів для обробки рулонних матеріалів у легкій промисловості // Вісник технологічного університету Поділля. – 1999. - № 3. – С. 50-53 .

6. Рябчиков М.Л. Теорія та практика створення рідиноохолоджувальних пристроїв у технологічних процесах обробки рулонних матеріалів // Вісник технологічного університету Поділля. – 1999. - № 4. - Частина 2. – С. 16-18.

7. Рябчиков М. Динаміка перехідних процесів та оптимізація рідинонаповнених барабанів // Машинознавство (Державний університет “Львівська політехніка”). – 1999. - №11. - С.22-24.

8. Рябчиков М.Л. Конструювання рідинонаповнених барабанів з врахуванням енергозберігання // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. – 2000. - Выпуск 78. - С. 25-26.

9. Рябчиков М.Л. Керування температури рулонного матеріалу на барабанних пристроях // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. - 2000. - Выпуск 79. - С. 48-50.

10. Рябчиков Н.Л., Седов И.Б., Кислов А.Г. Некоторые проблемы обработки рабочих барабанов с длинными цапфами // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. -Харьков: ХГАДТУ. – 2000. - Выпуск 11. - С.41-44.

Здобувачем запропонований комплекс заходів, що забезпечують високоякісне виготовлення рідинонаповнених валів і барабані в умовах реального виробництва.

11. Рябчиков М.Л., Седов І.Б., Маніна Н.Є. Визначення ефективних режимів охолодження листових матеріалів при їх обробці // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. - 2000. - Выпуск 82. - С. 69-73.

Здобувачем розроблена теорія енергозбереження при роботі охолоджуючих валів.

12. Рябчиков М.Л. Створення довільного профілю прогинів вала засобами гідродинамічного регулювання // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ. - 2000. - Выпуск 83. - С. 34-37.

13. Рябчиков М.Л. Особливості регулювання валів з регулюємим прогином на гідравлічній підтримці // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. - 2000. - Выпуск 111. - С. 67-73.

14. Рябчиков М.Л., Матюхова А.Л. Засоби подавання рідини в обертальні елементи машин в умовах вакуумної металізації // Наукові нотатки (Луцький державний технічний університет). - Луцьк: ЛДПУ. - 2000. - С.214-219.

Здобувач розробив методику визначення температурних деформацій у цапфах валів, синтезував новий пристрій для подачі криогенних рідин в обертальні елементи машин.

15. Рябчиков М.Л., Кондратенко Н.О. Виробництво пакувальних матеріалів і проблеми енергозбереження // Коммунальное хозяйство городов (Харківська державна академія міського господарства) –К.: Техніка. – 2000. - Выпуск 25. -С. 218-221.

Здобувач розробив математичне забезпечення статистико – ймовірного методу енергозбереження при роботі рідинонаповнених валів, розробив плани проведення експериментальних досліджень.

16. Рябчиков М.Л. Визначення жорсткості опор рідинонаповнених пристроїв методом муарових смуг // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. - 2000. - Выпуск 117. - С. 29-31.

17. Рябчиков М.Л., Хасанова К.С. Експериментальні дослідження витрат при роботі рідиноохолоджуючих барабанів // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. - 2000. - Выпуск 118. - С. 23-24.

Здобувачем розроблена система кваліметричних ознак продукції, що виробляється при використанні рідинонаповнених валів, побудований план експерименту проведений комплекс досліджень, що визначає співвідношення якості і енерговитрат.

18. Рябчиков М.Л. Вплив жорсткості опор валів з гідравлічним керуванням на профіль прогинів // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. - 2000. - Выпуск 119. - С. 28-30.

19. Рябчиков М.Л. Про можливість створення барабанів із змінною по довжині температурою // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. - 2000. - Выпуск 124. - С. 76-80.

20. Рябчиков М.Л., Резниченко М.К. Вібрації у прямокутних пружних каналах для проходження рідини // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. -Харьков: ХГПУ. - 2000. - Выпуск 128. - С. 115-121.

Здобувачем обґрунтовані методи розрахунку перехідних процесів, що відбуваються у каналах рідинонаповнених валів.

21. Рябчиков М.Л., Смирнов І.П. Проблеми виготовлення і обробки тонкостінних технологічних барабанів // Вісник технологічного університету Поділля. – 2000. - № 6. - Частина 3 (27). – С. 109-112.

Здобувач використав розроблений напівемпіричний метод визначення деформацій для визначення технологічних процесів обробки тонкостінних рідинонаповнених валів і барабанів.

22. Рябчиков Н.Л., Евсюкова Л.О. Некоторые особенности деформирования оболочечных конструкций при асимметричном нагружении // Науковий вісник будівництва (Харківський державний технічний університет будівництва і архітектури). - Харків: ХДТУБА. – 2001. - Вип.12. - С.150-153.

Здобувачем описані відомі методи навантаження рідинонаповнених валів, обґрунтована методика визначення деформацій в системах таких валів на основі розроблених у дисертації методів.

23. Рябчиков М.Л., Резниченко М.К. Побудова машин для новітніх технологічних процесів обробки пакувальних матеріалів // Коммунальное хозяйство городов (Харківська державна академія міського господарства). – К.: Техніка. – 2001. - Выпуск 30. - С.259-261.

Здобувачем обґрунтована система уніфікації рідинонаповнених валів для використання у новітніх фізико-хімічних процесах.

24. Рябчиков Н.Л., Резниченко Н.К., Фалеева Е.Н. Методы трехмерного моделирования в автоматизированном проектировании валов и барабанов // Вісник національного технічного університету «ХПІ». -Харків: НТУ «ХПІ». - 2001. - №6. - С.214-218.

Здобувач описав систему ознак рідинонаповнених валів, обґрунтував теорію їх оптимального розрахунку, побудував комплекс алгоритмів для побудови тримірних зображень валів.

25. Рябчиков М.Л., Резниченко М.К., Богданова Г.В. Експериментальні дослідження барабанів з охолодженням рідиною // Вісник національного технічного університету «ХПІ». -Харків: НТУ «ХПІ». - 2001. - №15. - С. 96-100.

Автором дисертації розроблена методика і план повного двофакторного експерименту для дослідження деформацій рідинонаповнених валів.

26. Рябчиков М.Л., Оболенська Т.О., Мельниченко О.А. Ефект зворотних деформацій при асиметричному навантаженні циліндричних оболонок // Коммунальное хозяйство городов (Харківська державна академія міського господарства). –К.: Техніка. – 2001. - Выпуск 33. - С.75-79.

Здобувачем винайдений парадокс зворотних деформацій при навантаженні рідинонаповнених валів на основі розробленої їм теорії.

27. Рябчиков Н.Л., Седов И.Б., Кислов А.Г. Динамика переходных процессов в валах с гидравлическим управлением подвижными элементами // Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета. -Харьков: ХНАДУ. – 2001. - Выпуск 15-16. - С. 27-30.

Здобувачем повністю розроблена методика визначення динамічних навантажень у вказаних пристроях.

28. Рябчиков Н.Л., Чельшева С.В. Проблемы построения САПР систем подачи жидкости во вращающиеся элементы машин // Вісник національного технічного університету «ХПІ». -Харків: НТУ «ХПІ». – 2002. - №20. – С.97-102.

Здобувачем розроблені алгоритми і програми автоматизованого проектування систем подачі рідини в обертальні елементи машин на базі розроблених їм методик.

29. Рябчиков М.Л., Оболенська Т.О., Мельниченко О.А. Особливості розрахунків на міцність валів з гідравлічним керуванням // Вісник національного технічного університету «ХПІ». -Харків: НТУ «ХПІ». – 2003. - №8. – т.3. - С.67-72.

Здобувачем розроблені основні математичні моделі розрахунків кільцевих елементів рідинонаповнених валів з переважним регулюванням прогину в умовах асиметричних навантажень.

30. Рябчиков М.Л. Побудова загальної теорії рідинонаповнених валів на основі системи морфологічних ознак // Вісник національного технічного університету «ХПІ». -Харків: НТУ «ХПІ». – 2003. - №9. – т.1. - С.57-62.

31. Спосіб обробки тонких оболонок: Патент України на винахід 44448А, МКІ В29В1/00 / Рябчиков М.Л., Смирнов І.П. № 2001021396; заявлено 28.02.2001; Опубл. 15.02.2002; Бюл.№ 1. – 2с.

Здобувач сформулював вимоги, які пред'являються до поверхні рідинонаповнених валів, запропонував спосіб їх обробки у наповненому становищі.

32. Бизюков А.А., Бобков В.В., Рябчиков Д.Л., Рябчиков Н.Л., Целуйко А.Ф., Юнаков Н.Н. Вакуум-плазменное нанесение покрытий на рулонные материалы // Вопросы атомной науки и тех-

ники (Харьковский физико - технический институт). - Харьков: ННЦ ХФТИ. – 1998. - Выпуск 4(5), 5(6). - С.93-95.

Здобувачем повністю виконана частина, присвячена проектуванню рідинонаповнених валів.

33. Рябчиков Н.Л., Рябчиков Д.Л., Бобков В.В., Безбородов С.Д. Охлаждение рулонных материалов в установках вакуумной металлизации // Вісник харківського університету. Серія фізична.” Ядра, частинки, поля”. -Харків: ХДУ. – 1998. - № 421. - С. 205-208.

Здобувачем розроблена методика проектування валів з охолодженням рідиною, обґрунтовані вимоги до поверхні валів, сформульовані вихідні дані для розрахунку.

34. Безбородов С.Н., Рябчиков Н.Л., Рябчиков Д.Л. Оптимизация обечаек лентопротяжных барабанов на этапе изготовления // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. Сборник научных трудов ХГПУ. – Харьков: ХГПУ. – 1998. - Выпуск 6. - Часть четвертая. - С. 4-7.

Здобувачем запропоновані кроки до розрахунку оптимальних режимів обробки валів з тонкими оболонками, побудована математична модель.

35. Рябчиков М.Л., Безбородов С.М. Деякі питання проектування пристроїв для відведення теплових потоків в процесах обробки полімерних плівок та штучних шкір // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини. Збірник наукових праць. – К.: Фада ЛТД. – 1999. - Выпуск № 5. - С. 328-331.

Здобувачем розроблена методика раціонального проектування рідинонаповнених пристроїв, обґрунтовані вимоги до них і вихідні параметри при проектуванні.

36. Макушенко Т.В., Рябчиков Н.Л., Чепурко И.П. Энергосбережение при сборке соединений деталей машин посредством учета вероятностного характера рассеяния технологических параметров // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини. Збірник наукових праць. – К.: Фада ЛТД. – 1999. - Выпуск № 6. - С. 121-124.

Здобувачем розроблена математична модель формування оптимального співвідношення якості продукції – енерговитрати.

37. Рябчиков Н.Л. Привод челнока: Препр. / Украинская информационная корпорация УКРИТИ. ХЦНТИЭИ; ИЛ 28-94. –Харьков: 1994. – 3 с.

38. Лазаренко В.І., Рябчиков М.Л., Савіна В.А. Основи технічної механіки. Програма для навчальних закладів III рівня акредитації.: Препр. / Міністерство енергетики та електрифікації України. Управління кадрів і соціальних питань. Навчально-методичний кабінет. - К: 1996. –27 с.

Здобувачем наряду з іншими питаннями конструювання деталей машин запропоновано розглядати питання конструювання рідинонаповнених валів у загальній програмі курсу.

АНОТАЦІЇ**Рябчиков М.Л. Основы теории расчета та конструирования рідинаповнених валів. -****Рукопис.**

Дисертація на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.02 Машинознавство. - Харківський національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2003.

Дисертація присвячена розробці методів і засобів синтезу, розрахунку та проектування систем валів з внутрішнім керуванням рідиною, переважно для використання в новітніх фізико-хімічних технологіях. Обґрунтований принцип мінімізації прогинів оболонки вала. Створені напівемпірична модель визначення деформацій, а також методи проектування валів з підвищеною жорсткістю оболонки. Розроблені методи визначення раціональних параметрів руху рідини в рідинаповнених валах з умови мінімізації динамічних навантажень. Запропонована система методів по енергозбереженню при проектуванні та експлуатації вказаних валів. Розроблені принципи створення і методи проектування систем подачі рідини в обертальні елементи машин. Створена система структурно - функціональних ознак, що характеризують усі рідинаповнені вали, як єдиний об'єкт. Запропоновані методи об'єднання ознак з метою створення валів з новими властивостями.

Ключові слова: методи розрахунку та конструювання, рідинаповнені вали, аналіз конструкцій валів, структурний аналіз, принцип мінімізації прогинів, енергозбереження.

Рябчиков М.Л. Основы теории расчета и конструирования жидконаполненных валов. -**Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 Машиноведение. - Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2003.

Диссертация посвящена разработке методов и средств синтеза, расчета и проектирования систем валов с внутренним управлением жидкостью, преимущественно для использования в новейших физико-химических технологиях. Актуальность исследования определяется тем, что с одной стороны в Украине созданы новые физико-химические технологии, требующие воплощения в реальные машины, рациональностью применения в таких машинах жидконаполненных устройств, с другой стороны отсутствием общей теории конструирования таких валов.

Был проведен первичный морфологический анализ жидконаполненного вала, введен комплекс аксиом и гипотез. Среди них обоснован принцип минимизации прогибов оболочки вала. Со-

зданы полуэмпирическая модель определения деформаций оболочки вала, модель деформирования вала в переходных режимах, решены некоторые актуальные проблемы их производства.

В процессе поиска структурно - функциональных признаков жидконаполненных валов была применена полуэмпирическая модель деформирования, в результате чего созданы проектирования жидконаполненных валов с повышенной жесткостью оболочки. Эмпирическим путем найдены параметры краевых зон различных валов. Изучено влияние краевых зон на эффективность работы жидконаполненных валов.

Выявлен парадокс появления обратных деформаций в валах с гидравлической компенсацией прогиба, знание которого позволяет предотвратить отрицательные эффекты при проектировании валов для новейших физико-химических технологий, а также доказано существование методов преодоления этого парадокса с целью создания работоспособных конструкций валов всего размерного диапазона.

Проведен комплекс исследований по определению динамических прогибов в переходных режимах работы валов. Разработаны методы определения оптимальных параметров движения жидкости в вращающихся устройствах из условия минимизации динамических нагрузок. Разработаны планы проведения двухфакторных экспериментов на реальных машинах с применением жидконаполненных валов. Проведенные эксперименты подтвердили правильность теоретических выводов.

Разработаны принципы создания и методы проектирования систем подачи жидкости во вращающиеся элементы машин. Выделены различия систем подачи по конструкции, по месту подачи жидкости внутрь вала, по типу рабочей жидкости. Глубоко исследованы системы подачи криогенной жидкости во вращающиеся элементы машин, находящихся в условиях вакуума.

Разработан комплекс алгоритмов и программ для автоматизированного проектирования элементов жидконаполненных валов и систем подачи жидкости в них с возможностью вывода рабочих чертежей деталей на различные носители.

Предложены формализованные методы анализа, синтеза и создания рациональных конструкций жидконаполненных валов, направленные на улучшение технологических параметров их изготовления, которые позволяют предотвратить повышенные вибрации и погрешности обработки при изготовлении указанных валов. Разработана методика определения технологических режимов их изготовления из условия обеспечения минимального допуска, базируясь на принципе минимального среднего прогиба.

Предложена система методов по энергосбережению при проектировании и эксплуатации указанных валов. Разработана система квалиметрии продукции, производимой с использованием жидконаполненных валов. Определены оптимальные соотношения качества продукции и энерго-

затрат. Разработаны методы проектирования оптимального расположения каналов для прохождения жидкости для обеспечения минимального гидравлического сопротивления.

Создана система структурно - функциональных признаков, которые характеризуют все жидконаполненные валы, как единый объект. На основе полученного списка построены частичные решения, которые реализуются в конкретных типах жидконаполненных валов. Построены морфологические карты, на основе которых определены функциональные ценности возможных сочетаний основных признаков, на основе чего предсказано появление новых систем жидконаполненных валов. Разработана научная теория жидконаполненных валов в виде системы признаков и правил их объединения, которая позволяет путем логического синтеза формировать валы с новыми свойствами. Исследована надструктура жидконаполненных валов при их работе в составе реальных машин.

Результаты диссертации внедрены при разработке, изготовлении и эксплуатации ряде экспериментально-промышленных установок вакуумной металлизации полимерных пленок.

Ключевые слова: методы расчета и конструирования, жидконаполненные валы, анализ конструкций валов, структурный анализ, принцип минимизации прогибов, энергосбережение.

Ryabchikov N.L. The basis of liquid-filled rollers calculus and design. – Manuscript.

The dissertation for the science degree of the doctor of engineering science on a specialty 05.02.02 – Machine knowledge – National technical university “Kharkiv Politechnical Institute”, Kharkiv, 2003.

The dissertation is devoted to the development of methods and means of synthesis, calculus and design of shaft's and roller's systems with inner liquid control that are applied as a rule in the modern physical and chemical technologies. The principle of minimization of roller's cover deflections is formulated. The half-empirical model of deflections definition and methods of design of rollers with increased hardness of cover are carried out. The methods of definition of optimal parameters of liquid movement in rollers from condition of dynamic loads minimization are developed. The system of methods of energy saving in the process of design and exploitation of such devices is proposed. The principles of creation and methods of design of liquid feeding in the rotating machine details are carried out. The system of morphological signs that determine all liquid-filled rollers as united isomorphic object is created. The methods morphological signs unification are suggested with the aim of creation of rollers with new qualities.

Keywords: methods of calculation and design, liquid-filled rollers, analysis of designs, structural analysis, the principle of minimization of deflections, energy saving.