

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет

Бережний Олександр Сергійович



УДК 621.438+621.541

**УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК
СТРУМИННО-РЕАКТИВНОГО ПНЕВМОАГРЕГАТА НА ОСНОВІ
УТОЧНЕННЯ МОДЕЛІ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ**

05.05.17 - гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Сумському державному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
ВАНЄЄВ Сергій Михайлович,
Сумський державний університет,
завідуючий кафедрою технічної теплофізики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ГНЕСІН Віталій Ісайович,
Інститут проблем машинобудування
НАН України,
завідуючий відділом нестационарної
газодинаміки та аеропружності;

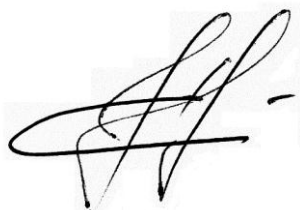
кандидат технічних наук, доцент
ДРАНКОВСЬКИЙ Віктор Едуардович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
доцент кафедри гідравлічних машин.

Захист відбудеться "03" жовтня 2014 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.03 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розісланий: "03" вересня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
К 55.051.03, к.т.н., доц.



Є. М. Савченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Питання енергозбереження та раціонального використання енергетичного потенціалу нашої планети завжди вважалося актуальним та першочерговим. Однак зараз, у зв'язку з тим, що багато країн знаходяться на межі енергетичної кризи, ця проблема відчувається особливо гостро. І Україна не є виключенням. Одним з визначальних шляхів вирішення цієї проблеми є використання (утилізація) вторинних енергоресурсів. Сьогодні велика кількість ексергії стиснутих газів та парів безповоротно втрачається на редукторах та регуляторах тиску в газовій, хімічній та інших галузях промисловості. Наприклад, за оціночними даними кількість газорозподільчих станцій України складає більше 1400, а потенціал енергії надлишкового тиску природного газу становить близько $2,3 \cdot 10^9$ кВт·год/рік. Світовий досвід показує, що цю енергію можливо й необхідно утилізувати, і для вирішення цієї задачі в найбільш розвинутих країнах приймаються відповідні закони та фінансуються розробки зі створення утилізуючих систем.

Іншою не менш актуальною задачею сучасної газотранспортної галузі є задача створення пневматичного (газового), ефективного, надійного та зручного в експлуатації привода шарових кранів для безпечного функціонування магістральних газопроводів.

У відповідності з останніми вимогами НАК "Нафтогаз України" та ВАТ "Газпром" приводи шарових кранів, які встановлюються на компресорних станціях та на лінійній частині магістральних газопроводів, повинні використовувати в якості робочого тіла непідготовлений (безпосередньо з труби) природний газ та забезпечувати керування краном мінімальним тиском $p_{\min}=1,5$ МПа для крана з номінальним тиском 63 кгс/см^2 (PN63); $p_{\min}=2,5$ МПа для кранів PN80 та PN100; $p_{\min}=3,5$ МПа для PN160; $p_{\min}=4,5$ МПа для крана PN250 та $p_{\min}=8$ МПа для PN420. При цьому температура газу на вході в привод може змінюватися в межах від -30 °C до $+80$ °C. Такі складні вимоги практично повністю виключили можливість застосування для кранів з $DN>300$ мм виключно пневматичних (газових) приводів об'ємного принципу дії (поршневих, шестеренних, ротаційно-пластинчастих та ін.).

Для вирішення цих задач можуть бути використані струминно-реактивні пневмоагрегати. Виконавчим пристроєм цих агрегатів є пневмодвигун струминно-реактивного типу, який для вищезазначених областей використання має ряд беззаперечних переваг по відношенню до класичних турбінних пневмодвигунів на базі осьових і відцентрових турбін.

На даний час постало питання недостатньої вивченості робочого процесу та проектування струминно-реактивних пневмоагрегатів на базі принципово нового пневмодвигуна і, як наслідок, відсутність досвіду створення таких пневмоагрегатів. У зв'язку з прогнозованим великим потенціалом даних машин у майбутньому, дана робота присвячена поглибленню знань теорії робочого процесу струминно-реактивного пневмодвигуна (СРПД) та проектуванню пневмоагрегатів на його основі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконувалася згідно з планом науково-дослідних робіт кафедр технічної

теплофізики та прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету відповідно до державної науково-технічної програми "Новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі". Здобувач був виконавцем держбюджетної науково-дослідної роботи "Дослідження робочих процесів енергетичних машинах" (№0110U004210).

Мета і задачі дослідження. *Мета дослідження* – уточнення робочого процесу та методики розрахунку основних параметрів та характеристик струминно-реактивних пневмоагрегатів.

Задачі дослідження:

- виконати аналіз можливостей раціонального використання струминно-реактивних пневмоагрегатів невеликої потужності (до 500 кВт), а також порівняння таких пневмоагрегатів із пневмогідроприводами (ПГП) шарових кранів великих прохідних перерізів, які використовуються в даний час;
- визначити особливості процесу розширення робочого тіла та виконати поелементний аналіз втрат у проточній частині розширювальної машини струминно-реактивного типу, за результатами якого уточнити математичну модель;
- провести експериментальні дослідження роботи розширювальної машини струминно-реактивного типу; з урахуванням отриманих експериментальних даних уточнити методику розрахунку характеристик цієї машини;
- виконати моделювання, дослідження течії газу в проточній частині струминно-реактивної розширювальної машини за допомогою програмного комплексу FlowVision та провести верифікацію отриманих результатів;
- дати практичні рекомендації щодо створення струминно-реактивних пневмоагрегатів.

Об'єкт дослідження – робочий процес струминно-реактивної розширювальної машини та пневмоагрегатів на її основі.

Предмет дослідження – взаємозв'язок газодинамічних параметрів робочого процесу та геометричних параметрів струминно-реактивних пневмоагрегатів з їх характеристиками.

Методи дослідження. Основні використані методи досліджень: аналіз та наукове узагальнення даних літературних джерел, що дозволило обґрунтувати актуальність наукової задачі й сформулювати завдання досліджень; аналітичне дослідження втрат повного тиску в проточній частині розширювальної машини струминно-реактивного типу дозволило уточнити існуючу модель робочого процесу; чисельний експеримент, виконаний на основі законів збереження енергії та матерії в диференціальній формі, які являються фундаментальними в технічній гідро- та аеромеханіці, наглядно підтвердив картину течії в проточній частині досліджуваної машини, дозволив отримати робочі характеристики та показав високу точність розрахунків; фізичний експеримент був виконаний з метою підтвердження адекватності математичної моделі робочого процесу та отримання основних взаємозалежностей газодинамічних параметрів з геометричними, як в розмірному, так і безрозмірному виглядах; результати теоретичних та експериментальних досліджень оброблені з використанням методів теорії ймовірності та математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів:

- теоретично обґрунтована та експериментально підтверджена доцільність застосування струминно-реактивних пневмоагрегатів різного призначення, в тому числі в якості пневмоприводів;
- вперше виконаний поелементний аналіз втрат у проточній частині струминно-реактивної розширювальної машини, що дало змогу уточнити фізичну картину протікаючих в ній процесів, визначити елементи, які в найбільшій мірі впливають на її ефективність та створити адекватну математичну модель течії;
- вперше досліджений вплив на ефективність струминно-реактивної розширювальної машини зазору між робочим колесом та корпусом машини, отримано експериментальні коефіцієнти та залежності, які враховують втрати на аеродинамічний опір під час обертання робочого колеса в середовищі в'язкого газу, що дозволило уточнити методику розрахунку її геометричних параметрів та робочих характеристик;
- за допомогою програмного комплексу FlowVision виконано моделювання та дослідження течії газу в проточній частині струминно-реактивної розширювальної машини, проведено порівняння отриманих результатів із результатами експериментальних досліджень, що дозволило оцінити можливість використання цього комплексу для дослідження та проектування струминно-реактивних пневмоагрегатів.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблена методика поелементного розрахунку втрат енергії в проточній частині струминно-реактивної розширювальної машини, що дозволяє створити агрегат із високими показниками ефективності;
- вперше експериментально отримана залежність коефіцієнта аеродинамічного (профільного) опору робочого колеса розширювальної машини струминно-реактивного типу від числа Рейнольдса та дані практичні рекомендації щодо вибору зазору між робочим колесом та корпусом машини;
- розроблені алгоритм та методика проектування струминно-реактивних пневмоприводів шарових кранів магістральних газопроводів, що дозволило прискорити процес їх розрахунку та проектування;
- виконані розрахунки пускових моментів струминно-реактивного пневмодвигуна в програмному комплексі FlowVision та їх порівняння з експериментальними даними для різних геометричних розмірів тягового та підвідного сопел, а також тисків на вході струминно-реактивного пневмоприводу, результати якого з похибкою не більше 5% співпадають з результатами експерименту;
- основні результати теоретичних та експериментальних досліджень використовуються при виконанні курсових та дипломних проектів, бакалаврських, дипломних та магістерських робіт, при викладанні спецкурсів "Пневмодинамічні машини та установки", "Розширювальні турбомашини радіального типу" для спеціальностей "Гідравлічні машини, гідроприводи та гідропневмоавтоматика" та "Компресори, пневмоагрегата та вакуумна техніка" в Сумському державному університеті, а також впроваджені на підприємствах ТОВ "Варіант-Гермотехніка" та ПП "Променергомаш" при проектуванні номенклатурного ряду пневмоагрегатів невеликої потужності.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові та практичні результати отримані здобувачем самостійно. Постановка задач досліджень, аналіз та обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем спільно з науковим керівником.

У роботах [1, 14] здобувачем були виконані розрахунки й аналіз впливу плеча ротора та коефіцієнта витoku на значення оптимальної обертової швидкості робочого колеса струминно-реактивної розширювальної машини, яке відповідає максимуму ККД. В роботах [2, 3] роль здобувача полягала в узагальненні теоретичних та раніше отриманих практичних безрозмірних залежностей, які впливають на показники ефективності турбіни та агрегату в цілому. У роботах [4–6, 15] здобувачеві належить проведення фізичного експерименту, обробка результатів та формулювання висновків. У роботах [7, 16] здобувач у співавторстві проводив розрахунки в програмному комплексі FlowVision з метою відпрацювання методики чисельного дослідження на прикладі нереверсивної струминно-реактивної турбіни для турбодетандерного агрегату. Роботи [8, 9, 12, 17] присвячені проведенню чисельних досліджень газодинамічних процесів у газовому тракті струминно-реактивної розширювальної машини та порівнянню їх із фізичним експериментом, у чому здобувач приймав безпосередню участь. В роботах [10, 11, 18] здобувачеві належить узагальнення існуючого матеріалу та порівняльний аналіз отриманих характеристик у співавторстві.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися та обговорювалися на: XIII Міжнародній науково-технічній конференції АС ПГП "Промислова гідравліка і пневматика", м. Чернігів, 2012 р.; VIII та IX Міжнародних науково-технічних конференціях "Сучасні проблеми холодильної техніки та технології", м. Одеса, 2012, 2013 рр.; науково-технічних конференціях викладачів, співробітників, аспірантів та студентів Сумського державного університету, м. Суми, 2008, 2011 рр.; I та II Всеукраїнських міжвузівських науково-технічних конференціях "Сучасні технології в промисловому виробництві", м. Суми, 2010, 2012 рр.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 12 статей, 8 з яких у наукових фахових виданнях України, 3 статті опубліковані в зарубіжних виданнях, одна з яких входить до наукометричної бази даних Scopus, одна в збірнику праць Міжнародної НТК, а також 6 тез доповідей у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури й додатків. Загальний обсяг роботи становить 157 сторінок, 50 рисунків та одну таблицю за текстом, 4 додатки на 5 сторінках, список використаної літератури зі 139 найменувань на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, відображений зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету та задачі роботи, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значимість роботи, подано відомості про апробацію, публікації та структуру дисертації.

У першому розділі виконано аналіз стану ринку приводів запірної арматури газотранспортної системи, умов використання приводів шарових кранів великих прохідних перерізів, ускладнень, пов'язаних з їх роботою та експлуатацією.

Інтенсивний розвиток газотранспортних систем з одночасним переміщенням місць видобутку природного газу у важкодоступні райони зі складними кліматичними умовами диктує значно вищі вимоги до експлуатаційних показників обладнання компресорних станцій та магістральних газопроводів, зокрема до шарових кранів та їх приводів.

У наш час для привода запірної арматури великих прохідних перерізів використовуються, як правило, поршневі приводи. Аналіз конструкцій приводів для запірних шарових кранів DN 300-1400 PN 80 показав, що найбільш розповсюдженим є пневмогідропривод із роздільними пневматичним та гідравлічним циліндрами. Основними недоліками таких пневмогідроприводів є наявність гідравлічного середовища (масла) в системі, що викликає ускладнення конструкції та експлуатації привода, збільшує ймовірність аварійних ситуацій, пов'язаних із витіканням або замерзанням конденсату, необхідність утилізації гідравлічного середовища. Ці проблеми особливо гостро проявляються в умовах віддаленості місця знаходження шарового крана та низьких температур.

Альтернативою існуючим пневмогідроприводам шарових кранів великих прохідних перерізів може бути турбінний пневмопривод на базі розширювальної машини струминно-реактивного типу (рис. 1). Маючи такі переваги як: простота конструкції, відсутність деталей, що труться, можливість спрацьовувати відносно великі відношення тисків, кращі масогабаритні показники, він може і повинен скласти конкуренцію існуючим приводам.

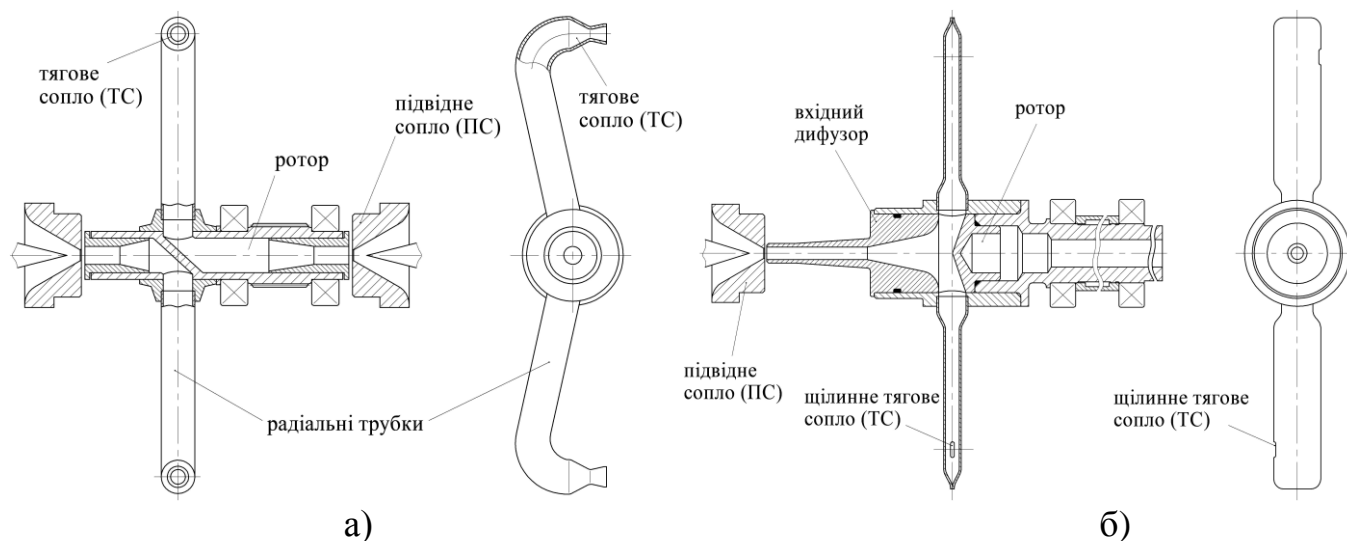


Рисунок 1 – Конструктивна схема реверсивної (а) та нереверсивної (б) струминно-реактивної розширювальної машини

Струминно-реактивна розширювальна машина представляє собою розвиток класичного «колеса Сегнера», принцип дії якого відомий ще з I століття до нашої ери. У середині XVIII століття німецький механік Йоган Сегнер (Johan Zegner) створив двигун, заснований на реактивній дії струменя води, що витікає, давши тим самим назву принципово новому класу турбін. У порівнянні з класичним «колесом

Сегнера», струминно-реактивна розширювальна машина відрізняється по термодинамічному процесу, а її ефективність зросла в кілька разів та, по мірі вдосконалення, її характеристики постійно покращуються й наближаються до характеристик лопатевих турбін. За конструкцією вона відноситься до безлопатевих турбін з одиночним соплом, а за кінематикою потоку – до відцентрових реактивних.

Перші кроки зі створення струминно-реактивного двигуна та застосування його для керування шаровими кранами належать Корольову С.К. (ВАТ "Сумське НВО ім. М. В. Фрунзе"), к.т.н., доц. Ванєєву С.М. (Сумський державний університет) та д.т.н., проф. Саяпіну В.В. (Московський авіаційний інститут), які наприкінці 80-х рр. минулого століття сумісно розробляли перші математичні моделі та методики розрахунку і проектування струминно-реактивних пневмодвигунів. У ВАТ "Сумське НВО ім. М. В. Фрунзе" був створений та в 1988 р. успішно пройшов державні приймальні випробування кран шаровий DN 500 PN 80 зі струминно-реактивним пневмоприводом. У 1991 р. були розроблені два струминно-реактивних привода для шарових кранів DN 700 та DN 1000 зі значно покращеним пневмодвигуном, які за масогабаритними показниками, надійністю та економічністю перевершували відповідні пневмогідроприводи. Однак розпад СРСР не дозволив закінчити розпочате й створити конкурентоздатний, ефективний струминно-реактивний пневмопривод, принаймні на території України, який порівняно з поршнеvim пневмогідроприводом має такі переваги:

- силова частина (струминно-реактивний пневмодвигун) має більш ніж у 2 рази меншу масу та в 3...4 рази менші габаритні розміри силової частини ПГП;
- має більш високий ККД: при використанні гвинтокулісної передачі на 15 – 20% економічніше ПГП за витратою газу, а при використанні передачі з ККД > 60% (черв'ячної, прецесійної) – до 50%;
- досить гарно уніфікується з електроприводами та забезпечує простоту конвертації ручних приводів у турбопривод;
- простота експлуатації, практично не потребує обслуговування, так як не має гідросистеми та використовує консистентну змазку заводської закладки;
- має високу уніфікацію по відношенню до типорозмірів кранів: модуль СРПД придатний практично для всього ряду кранів (DN 300 – 1400 мм), необхідно тільки підібрати редуктор у відповідності з типорозміром крану та переналаштувати регулятор витрати;
- може використовуватися в інших сферах: невеликі турбогенератори, турбостартери, системи управління, турбокомпресорні та насосні установки тощо.

У наш час існують достатньо апробовані методи розрахунку та проектування поршневих, класичних турбінних (з використанням осьової та доцентрової турбін), ротаційно-пластинчастих, гвинтових пневмодвигунів. Однак струминно-реактивний пневмоагрегат, основним елементом якого є СРПД, не достатньо вивчений, як теоретично, так і експериментально.

Для створення ефективного пневмопривода на базі СРПД у першу чергу необхідно уточнити існуючу методику розрахунку газодинамічних і геометричних параметрів за допомогою введення корегуючих розмірних та безрозмірних залежностей. Таким чином, виконаний літературний огляд дозволив сформулювати мету роботи, задачі, які необхідно вирішити для її досягнення, обрати об'єкт, предмет та методи дослідження.

У другому розділі приведені теоретичні дослідження течії газу в проточній частині струминно-реактивного пневмодвигуна, а також результати чисельного моделювання робочого процесу.

Основними рівняннями, які описують течію газу в проточній частині СРПД є рівняння нерозривності, рівняння збереження енергії, рівняння кількості руху та моменту кількості руху, рівняння стану газу.

У відповідності до прийнятої схеми, рухомий момент на валу СРПД визначався з рівняння моменту кількості руху (рівняння моменту імпульсу)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \vec{r} \times \rho \vec{v} dV = \int_V \vec{r} \times \rho \vec{f} dV + \int_S \vec{r} \times \vec{P}_s dS + \vec{r} \times \vec{P},$$

де \vec{r} – радіус-вектор сил, діючих на масу газу, що протікає крізь об'єм dV ; ρ – густина; \vec{P} – результуюча сила, діюча на тверде тіло всередині контрольного об'єму V ; \vec{P}_s – поверхневі сили, що діють на поверхню S ; \vec{f} – вектор напруження масової сил; \vec{v} – швидкість газу, що протікає крізь об'єм V .

У стаціонарному режимі ($\omega = const$) рівняння моменту кількості руху з урахуванням моменту опору обертання ротора в навколишньому середовищі в'язкого газу має наступний інтегральний вигляд:

$$M = \left[G_m v_{зр.м} + F_{зр.м} (p_{зр.м} - p_{н.с}) \right] \cdot L - G_m L^2 \omega - K_{o.o} \omega^2, \quad (1)$$

де G_m – витрата робочого тіла через тягове сопло (ТС); $F_{зр.м}, v_{зр.м}$ – площа та швидкість на зрізі ТС; $p_{зр.м}, p_{н.с}$ – тиск на зрізі ТС та навколишнього середовища; L – плече сили тяги на ТС відносно осі ротора; ω – кутова швидкість; $K_{o.o}$ – коефіцієнт опору обертання ротора в середовищі в'язкого газу.

Перший член виразу (1) є моментом від тяги надзвукового сопла, яка визначається за формулою для тяги звичайного ракетного двигуна:

$$P_m = G_m \cdot v_{зр.м} + F_{зр.м} (p_{зр.м} - p_{н.с}). \quad (2)$$

При $\omega = 0$ перший член виразу визначає пусковий момент.

Два інших члена виразу (1) залежать від кутової швидкості обертання ротора ω та є «шкідливими» складовими, які знижують величину пускового моменту, що визначає падаючий характер механічної характеристики СРПД.

Другий член виразу (1) $G_m L^2 \omega$ є суть дії масових сил в окружному (тангенціальному) напрямі на плече ротора.

Третій член виразу (1) $K_{o.o} \omega^2$ обумовлює аеродинамічний опір навколишнього середовища обертання ротора та визначається інтегруванням сил аеродинамічного опору по плечу.

Комплексний коефіцієнт опору обертання ротора в навколишньому середовищі в'язкого газу для одноплечового ротора визначається як:

$$K_{o.o} = c_x \cdot \rho_{н.с} \cdot \frac{DH^4}{8},$$

де c_x – коефіцієнт аеродинамічного опору плечей ротора; D – діаметр плечей ротора; H – довжина плечей ротора; $\rho_{н.с}$ – густина навколишнього середовища.

Раніше цей коефіцієнт приймався таким, який не залежить від швидкості обертання ротора, що не підтвердилося фізичним експериментом. Тож в

розрахунках необхідно використовувати коефіцієнт опору обертання у вигляді залежності $K_{o.o} = f(\omega)$, яку можна отримати за результатами досліджень режиму холостого ходу турбіни. У цьому випадку отримаємо, що момент, знайдений за теоремою про зміну моменту кількості руху газу буде дорівнювати моменту опору ротора в середовищі в'язкого газу:

$$M_U = M_{o.o} = K_{o.o} \omega_{x.x}^2; \quad M_U = P_m \frac{D}{2} - G_m \omega_{x.x} \frac{D^2}{4},$$

де $\omega_{x.x}$ – кутова швидкість робочого колеса на холостому ході.

Тоді коефіцієнт опору обертання буде визначатися залежністю:

$$K_{o.o} = \frac{M_U}{\omega_{x.x}^2} = \frac{P_m \frac{D}{2} - G_m \omega_{x.x} \frac{D^2}{4}}{\omega_{x.x}^2}.$$

Сила тяги P_m в свою чергу може бути отримана за результатами вимірювання пускового моменту ротора СРПД або розрахунковим шляхом.

Ефективність струминно-реактивної розширювальної машини та агрегатів на її основі визначається ефективною сумісною роботою тягового та підвідного сопла (ПС). Для досягнення такої роботи треба правильно підібрати співвідношення критичних діаметрів цих сопел на етапі загального проектування. Проаналізуємо масові витрати газу крізь ПС та ТС:

$$G_n = \frac{p_n^* B f_{кр.n}}{\sqrt{RT_n^*}} = G_m + \Delta G = \frac{p_m^* B f_{кр.m}}{\sqrt{RT_m^*}} + \Delta G, \quad (3)$$

де G_n – витрата робочого тіла крізь ПС; $p_n^*, p_m^*, T_n^*, T_m^*$ – повні тиски та температури критичних перерізів ПС та ТС; ΔG – втрата масової витрати через витік у зазорі між ПС та ротором СРПД, яка характеризується коефіцієнтом витіку газу $\alpha_{вмт}$; B – параметр, значення якого залежить від показника ізоентропи.

Досконалість газового тракту визначається коефіцієнтом відновлення повного тиску σ , з урахуванням якого вираз (3) дасть співвідношення площ критичних перерізів ПС та ТС:

$$\frac{f_{кр.m}}{f_{кр.n}} = \frac{1 - \alpha_{вмт}}{\sigma}.$$

Для правильного визначення співвідношення площ критичних перерізів ПС та ТС необхідно, в першу чергу, визначити коефіцієнт відновлення повного тиску по довжині газового тракту СРПД. Для цього була розроблена методика поелементного розрахунку втрат у газовому тракті, в якій вищезазначений коефіцієнт σ є добутком коефіцієнтів σ_i відповідних ділянок СРПД. Були виділені наступні ділянки проточної частини (див. рис. 2): підвідне сопло (0-1), циліндричні ділянки осьової частини (1-2, 3-4) та плечей (5-6) ротора, дифузори (2-3), поворотні коліна (4-5 та 6-7), тягове сопло (7-зр.т).

Втрати в підвідному та тяговому соплах, а також у дифузори визначалися за відомими методиками. Для ділянок проточної частини з постійною площею поперечного перерізу теоретичний аналіз проводився з використанням теорії адиабатної одновимірної течії з тертям в трубі постійного перерізу. Втрати на поворотах розраховувалися за допомогою коефіцієнта втрат ζ .

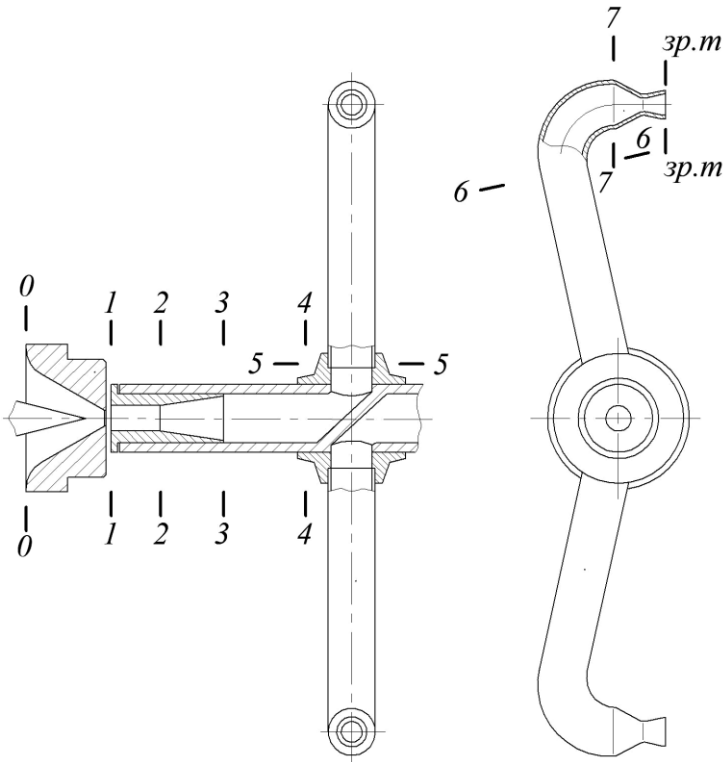


Рисунок 2 – Розрахункова схема проточної частини СРПД

Для визначення ділянок газового тракту, що найбільш впливають на ефективність СРПД, була досліджена структура течії газу в проточній частині СРПД за допомогою програмного комплексу FlowVision. Був виконаний розрахунок чотирьох варіантів СРПД в залежності від критичних діаметрів та діаметрів зрізу ПС та ТС (СРПД1: $d_{кр.н} \times d_{зр.н} = 3 \times 3,8$ мм; $d_{кр.т} \times d_{зр.т} = 4,5 \times 7$ мм; СРПД2: $d_{кр.н} \times d_{зр.н} = 3 \times 3,8$ мм; $d_{кр.т} \times d_{зр.т} = 5 \times 7,5$ мм; СРПД3: $d_{кр.н} \times d_{зр.н} = 4 \times 4,8$ мм; $d_{кр.т} \times d_{зр.т} = 4,5 \times 7$ мм; СРПД4: $d_{кр.н} \times d_{зр.н} = 4 \times 4,8$ мм; $d_{кр.т} \times d_{зр.т} = 5 \times 7,5$ мм). У результаті для пускового режиму були

отримані картини течії та основні термогазодинамічні параметри робочого тіла, відпрацьована методика чисельного розрахунку газового тракту СРПД. Результати розрахунку з достатньою точністю співпали з експериментальними дослідженнями (відносна похибка визначення пускового моменту чисельним способом склала менше 5%).

У третьому розділі викладено методику проведення фізичного експерименту на випробувальному стенді та аналіз його результатів. Експериментальні дослідження в рамках даної роботи проводилися на модельному стенді кафедри технічної теплофізики Сумського державного університету. Принципова схема стенду представлена на рисунку 3.

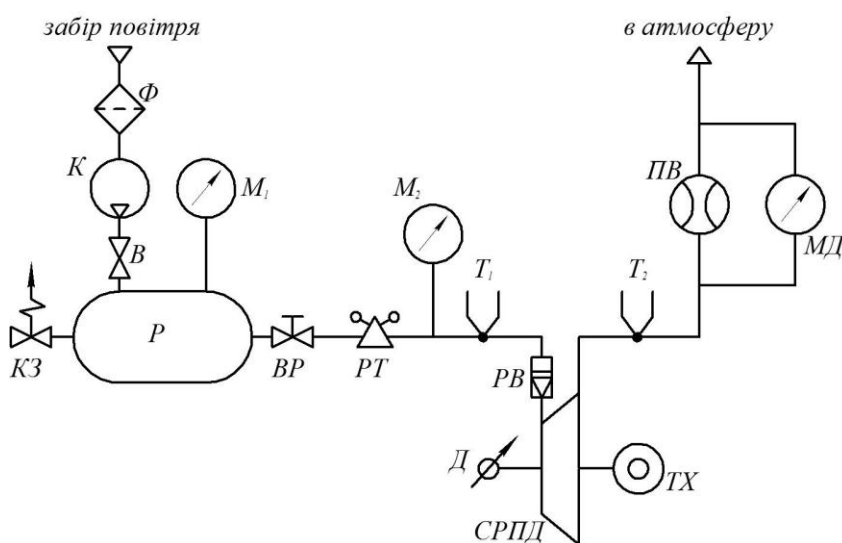


Рисунок 3 – Схема стенду принципова: Ф – фільтр; К – компресор; В – вентиль запірний; КЗ – клапан запобіжний; Р – ресивер; ВР – вентиль регулюючий; М₁, М₂ – манометри; РТ – регулятор тиску; Т₁, Т₂ – датчики температури; РВ – регулятор витрати газу (підвідне сопло СРПД); Д – динамометр; СРПД – струминно-реактивний пневмодвигун; ТХ –

тахометр; ПВ – пристрій витратомірний; МД – манометр диференціальний

У процесі проведення експериментального дослідження були отримані основні залежності, які уточнюють методу розрахунку характеристик струминно-реактивного пневмодвигуна та проведена верифікація чисельного експерименту.

Для визначення основних характеристик струминно-реактивного пневмоагрегату необхідно знати значення масової витрати робочого тіла, розрахункова величина якої не завжди співпадає з дійсним значенням, і тому необхідно знати значення коефіцієнта масової витрати підвідного сопла.

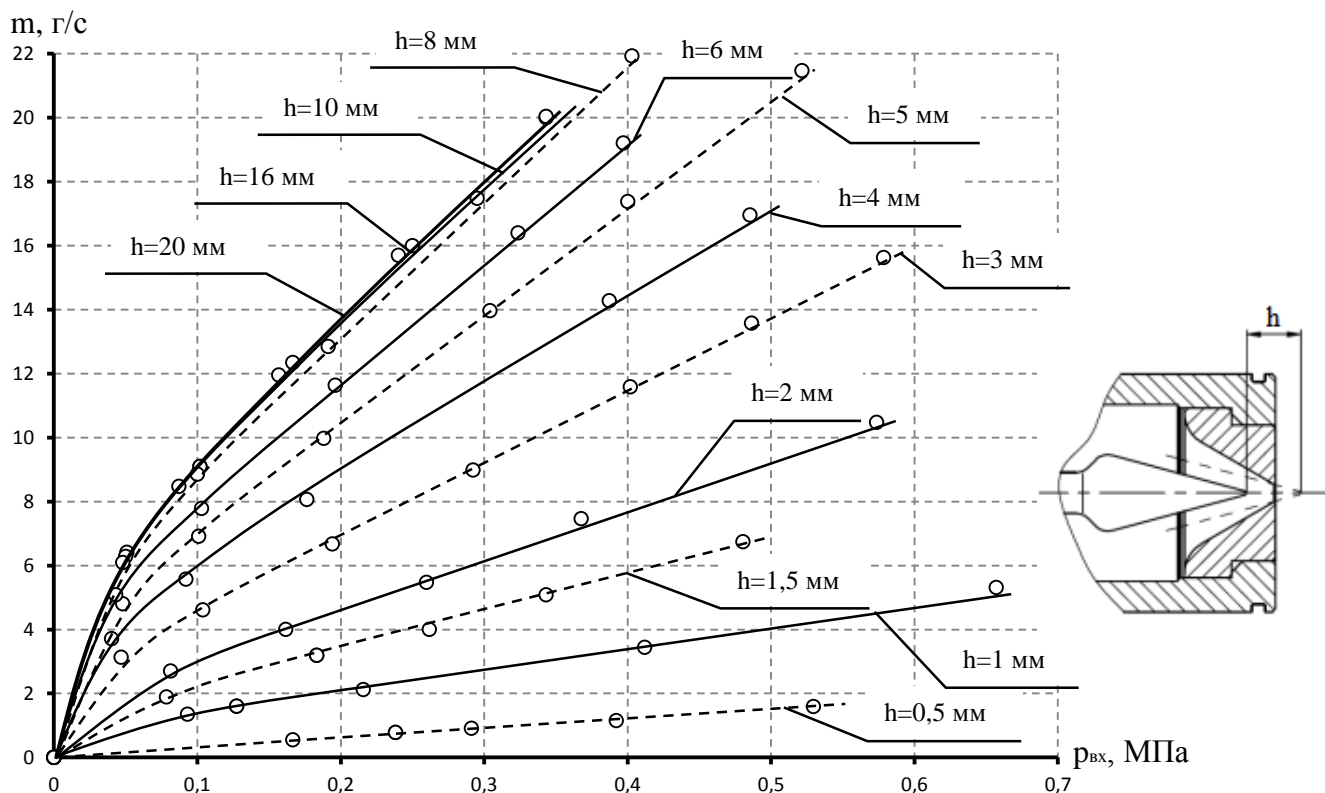


Рисунок 4 – Залежність масової витрати від тиску на вході в сопло та положення голки підвідного сопла

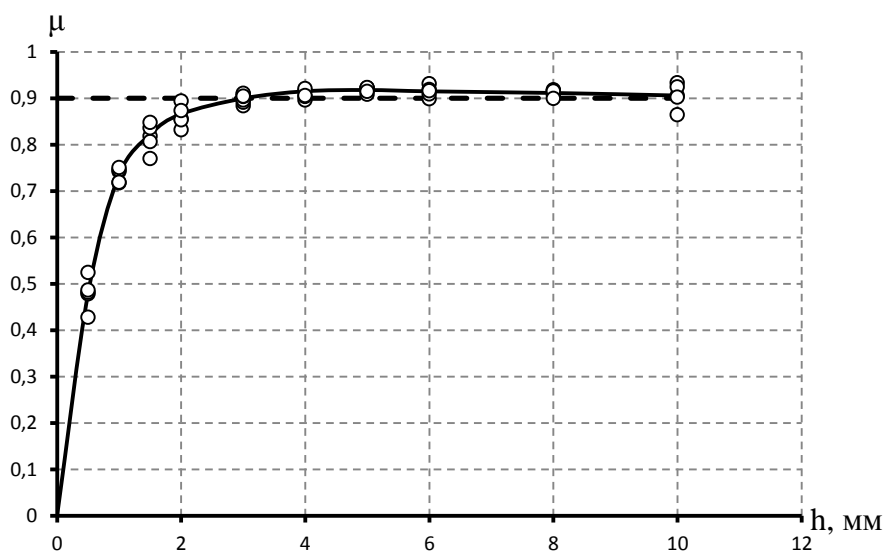


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта витрати від хода голки

За результатами вимірювання масової витрати робочого тіла (рис. 4) видно, що при збільшенні хода голки $h > 10$ мм, лінії $m = f(p_{вх})$ співпадають одна з одною, що свідчить про повне відкриття перерізу сопла при $h = 10$ мм. Після визначення дійсної витрати газу було розраховано значення коефіцієнта витрати даного сопла μ .

У результаті отримали графічну залежність $\mu = f(h, p_{ex})$ (рис. 5). Як видно з графіка при невеликих значеннях ходу голки ($h=0\div 2$ мм) коефіцієнт витрати має відносно низьке значення, що викликано конструктивними особливостями сопла. Для інших положень голки коефіцієнт μ приймає постійне значення близьке 0,9. Це значення далі вводиться в програму розрахунку характеристик струминно-реактивної турбіни та привода в цілому.

Експериментальні точки пускового моменту на валу СРПД були отримані ваговим методом (рис. 6) з наступною апроксимацією лінійною залежністю або поліномом 2-го ступеня.

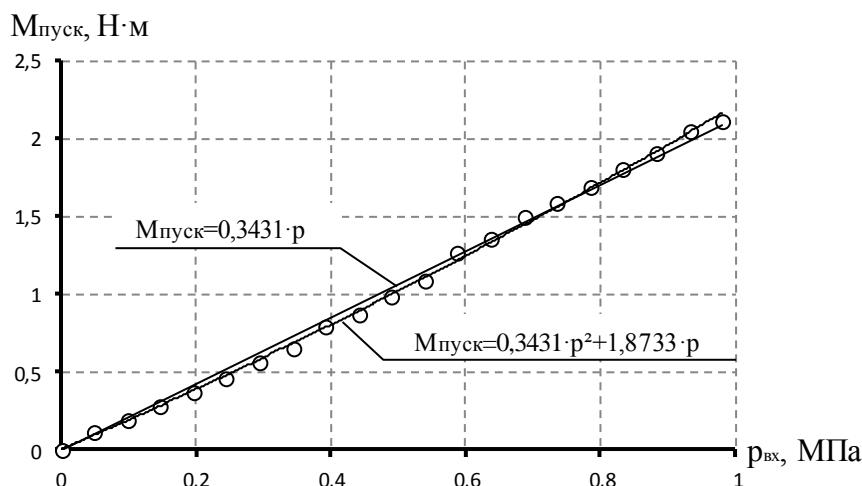


Рисунок 6 – Залежність пускового моменту від надлишкового тиску на вході в СРПД

Для визначення коефіцієнта опору обертанню ротора в середовищі в'язкого газу,

як одного з основних факторів, що знижують ефективність роботи пневмодвигуна, була експериментально отримана характеристика частоти обертання ротора СРПД на холостому ході в залежності від тиску на вході (рис. 7). Експеримент проводився при різних зазорах між робочим колесом та стінками корпусу машини, що дало можливість також надати рекомендації щодо вибору цього параметра при проектуванні.

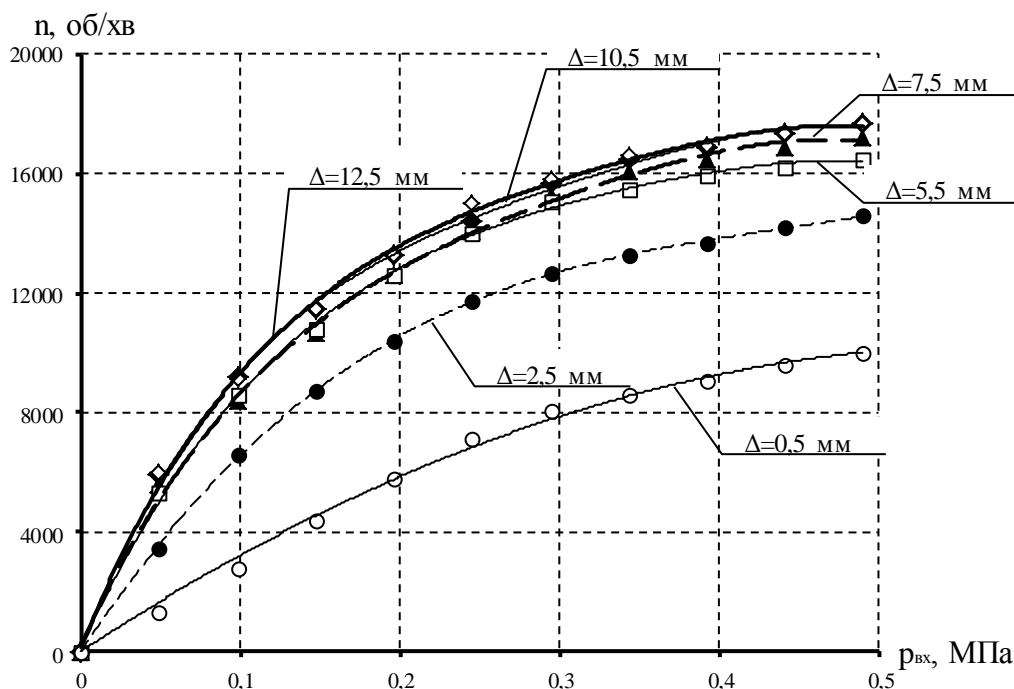


Рисунок 7 – Залежність числа обертів на холостому ході від надлишкового тиску на вході в СРПД при різних зазорах між робочим колесом та стінками корпусу

Отримані точки були апроксимовані сплай-

нами 4-го та 3-го порядків та занесені до програми розрахунку характеристик:

$$\begin{aligned}
 n &= -689574 \cdot p^4 + 913330 \cdot p^3 - 480291 \cdot p^2 + 133067 \cdot p & (\Delta=12,5 \text{ мм}); \\
 n &= -632308 \cdot p^4 + 10^6 \cdot p^3 - 525133 \cdot p^2 + 136408 \cdot p & (\Delta=10,5 \text{ мм}); \\
 n &= -676475 \cdot p^4 + 852512 \cdot p^3 - 433412 \cdot p^2 + 122122 \cdot p & (\Delta=7,5 \text{ мм}); \\
 n &= -497847 \cdot p^4 + 699825 \cdot p^3 - 400635 \cdot p^2 + 120376 \cdot p & (\Delta=5,5 \text{ мм}); \\
 n &= 128925 \cdot p^3 - 168445 \cdot p^2 + 81347 \cdot p & (\Delta=2,5 \text{ мм}); \\
 n &= -37648 \cdot p^3 - 4740,2 \cdot p^2 + 31431 \cdot p & (\Delta=0,5 \text{ мм});
 \end{aligned}$$

За результатами вимірювань частоти обертання ротора на холостому ході та пускового моменту на валу СРПД був прорахований коефіцієнт $K_{o.o}$, а також отримано безрозмірну залежність коефіцієнта аеродинамічного (профільного, лобового) опору від окружного числа Рейнольдса $c_x = f(\text{Re}_U)$, що дає можливість визначати аеродинамічний момент опору обертання ротора в середовищі в'язкого газу для пневмодвигуна подібної конструкції при різних геометричних розмірах. Апроксимовані залежності цих коефіцієнтів представлені на рисунку 8. Криві $K_{o.o} = f(n)$ та $c_x = f(\text{Re}_U)$ при $\Delta > 10$ мм відповідають найбільш бажаному режиму роботи СРПД з точки зору аеродинамічної ефективності. Відповідні значення коефіцієнта опору обертання ротора СРПД в середовищі в'язкого газу були апроксимовані та введені в програму розрахунку характеристик струминно-реактивної розширювальної машини. З рисунка 8 (б) видно, що коефіцієнт аеродинамічного опору для даного типу розширювальної машини має мінімальне значення $c_x = 0,105$ при $\text{Re}_U = 2,2 \cdot 10^5$. Далі за методикою, що враховує залежності $K_{o.o} = f(n)$ та $c_x = f(\text{Re}_U)$, були побудовані робочі характеристики для досліджуваних зазорів у вигляді залежностей $M = f(n)$, $N = f(n)$, $\eta = f(n)$ (рис. 9, 10).

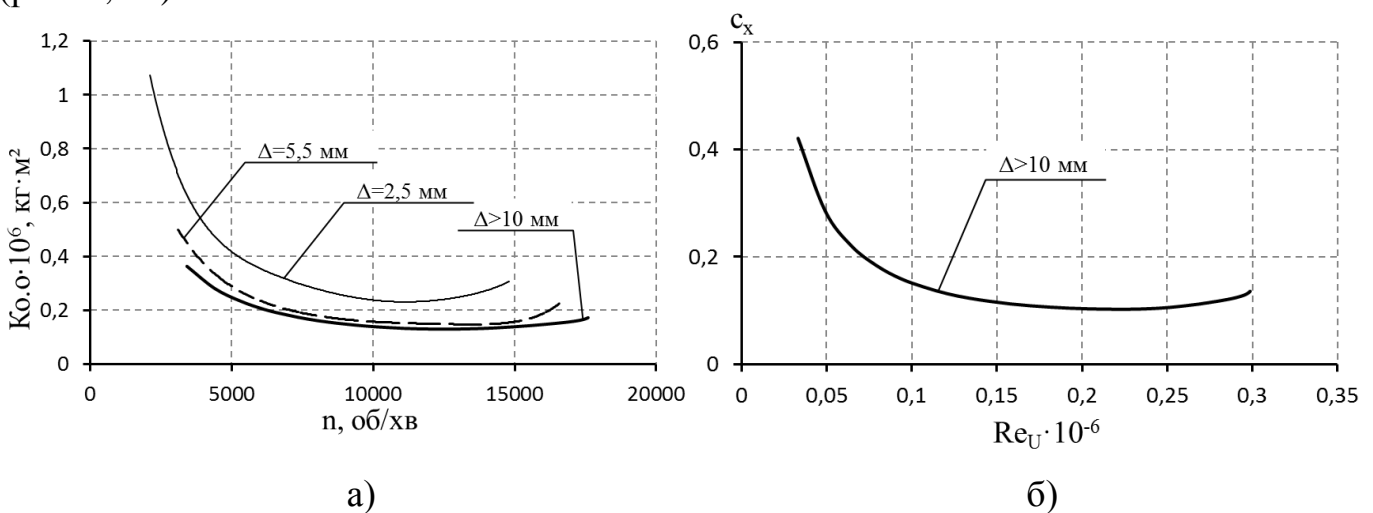


Рисунок 8 – Залежність коефіцієнта опору обертання ротора від надлишкового тиску на вході (а) та коефіцієнта аеродинамічного (профільного) опору від окружного числа Рейнольдса (б)

Ефект від заміни постійного значення $K_{o.o}$ на його апроксимовану залежність показаний на прикладі характеристики ККД струминно-реактивного пневмодвигуна (рис. 10). Видно, що в лівій частині характеристики та в номінальній точці при постійному середньому $K_{o.o} = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ та змінному $K_{o.o} = f(n)$ характеристики майже співпадають, а в правій частині істотно різняться.

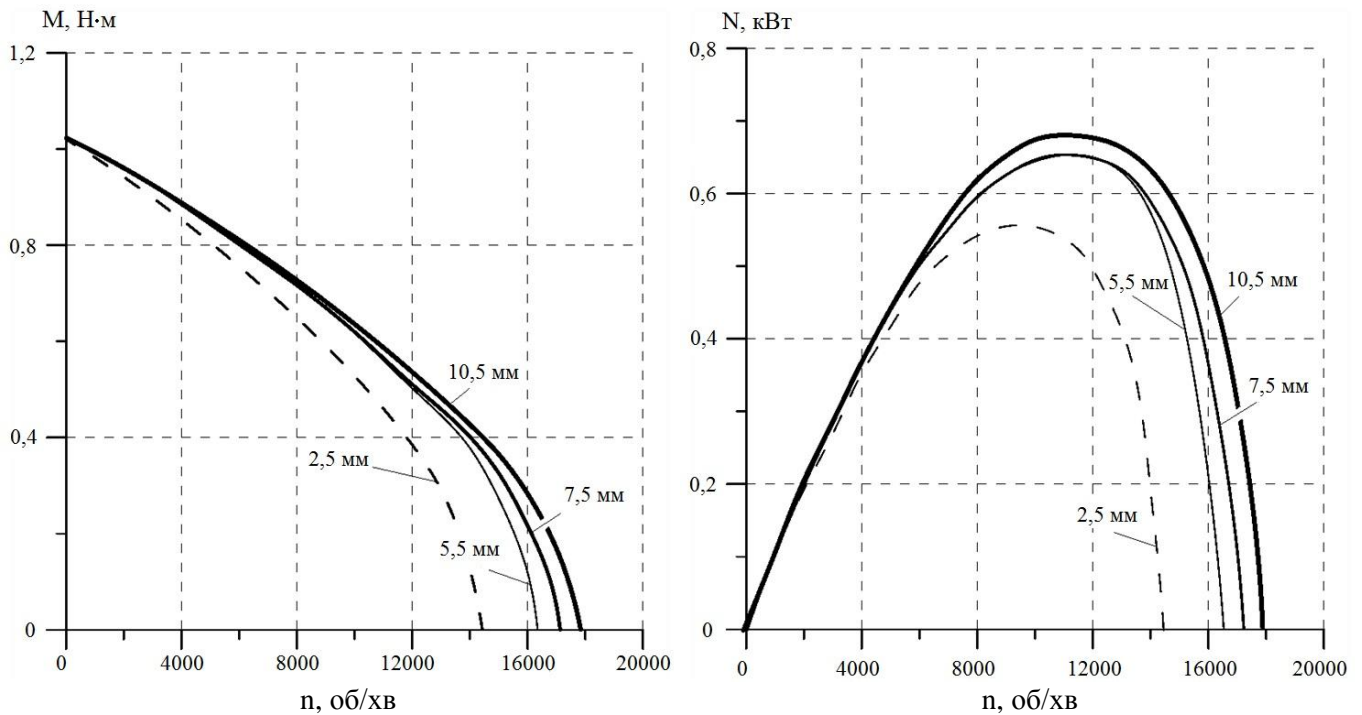


Рисунок 9 – Характеристика оберального моменту (зліва) та потужності (справа) від частоти обертання ротора СРПД

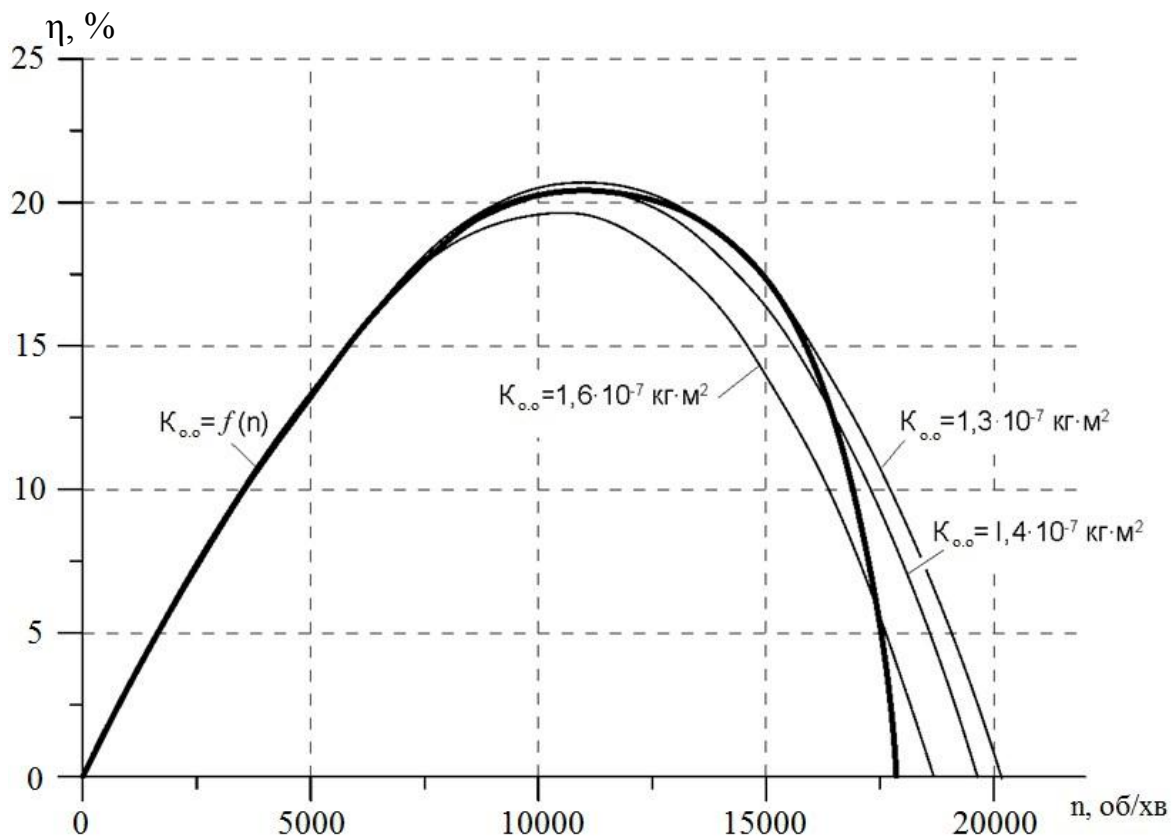


Рисунок 10 – Залежність коефіцієнта корисної дії від частоти обертання ротора СРПД

Для кожної з характеристик, приведених на рисунках 4 – 7, було виконано по 6 вимірювань параметрів на одному їх рівні з метою отримання відносної похибки результатів 5 – 10% при довірчій імовірності 0,9 – 0,95. Експериментальні дані оброблені методом найменших квадратів, отримані рівняння регресії описують експериментальні точки зі середньоквадратичною похибкою, що не перевищує 1%.

У четвертому розділі представлена методика проектування струминно-реактивного пневмопривода для шарових кранів великих прохідних перерізів.

Струминно-реактивний пневмопривод (СРПП) складається зі струминно-реактивного пневмодвигуна, механізму редукації, блока керування електропневматичного, фільтру та комунікацій. В якості основних характерних особливостей проектування турбопривода для шарових кранів можна виділити наступне:

- навантаження на привод не постійне по куту повороту пробки крана, що викликано конструктивними особливостями шарового крана та умовами роботи;
- привод повинен забезпечувати в першу чергу момент страгування пробки крана. У цьому випадку момент навантаження максимальний. Для розширювальної машини – це пусковий момент, тому і двигун, і передаточний механізм повинні розраховуватися на пусковий момент $M_{\text{пуск}}$.

Методика проектування СРПП базується на функціональних взаємозв'язках між робочими параметрами та характеристиками з конструктивними параметрами, які визначають конструктивний вигляд виробу. До них відносяться: діаметр ротора СРПД, форма та розміри поперечного перерізу пліч робочого колеса, геометричні параметри критичного перерізу підвідного та тягового сопла СРПД, ступінь розширення сопел, геометричні розміри втулки-дифузора в осьовій частині ротора, вид та передаточне відношення редуктора. До основних робочих параметрів та характеристик відносяться: тиск та температура на вході в СРПД, тиск навколишнього середовища, сила тяги на тяговому соплі, пусковий та обертальний момент СРПД та СРПП, питомий пусковий момент СРПД, частота обертання ротора СРПД на заданих режимах, залежності моменту, потужності та ККД від частоти обертання вихідного валу СРПД або СРПП.

Алгоритм загального проектування СРПП наведений на рисунку 11. Вихідними даними є обертальний момент на шпинделі крана $M_{\text{об.макс}}$, час спрацьовування $(\tau_u)_{\text{min}}$, тобто поворот пробки крану з одного граничного положення в інше, та фізичні параметри робочого тіла.

Розрахунок геометрії СРПД проводиться по пакету прикладних програм, що реалізують термогазодинамічну модель течії робочого тіла в СРПД на пусковому режимі. Розрахунок проводиться з метою визначення мінімальних втрат повного тиску в газовому тракті СРПД, що дасть максимум сили тяги та питомої тяги (відношення сили тяги ТС до витрати газу крізь підвідне сопло $P_{m.\text{num}} = P_m / G_n$).

Наступним кроком проектування струминно-реактивного пневмопривода для шарових кранів є вибір механізму редукації. Існуючі пневмогідроприводи шарових кранів оснащені, як правило, кулісним механізмом, який перетворює поступальний рух поршнів привода в обертальний рух пробки крана. Адаптувати кулісні механізми, що працюють у складі пневмогідроприводів під струминно-реактивні пневмоприводи можливо шляхом установки додаткової передачі «гвинт-гайка» та циліндричного редуктора.

В умовах створення струминно-реактивного пневмопривода «з нуля» передаточний механізм можна виконати у вигляді циліндричної передачі та прецесійного механізму редукації. Запропонована схема виключає таку металоемну та малоефективну частину привода, як гвинтокулісний механізм, що робить пневмопривод компактнішим та більш економічним. До можливих недоліків такої схеми слід віднести ускладнення привода.

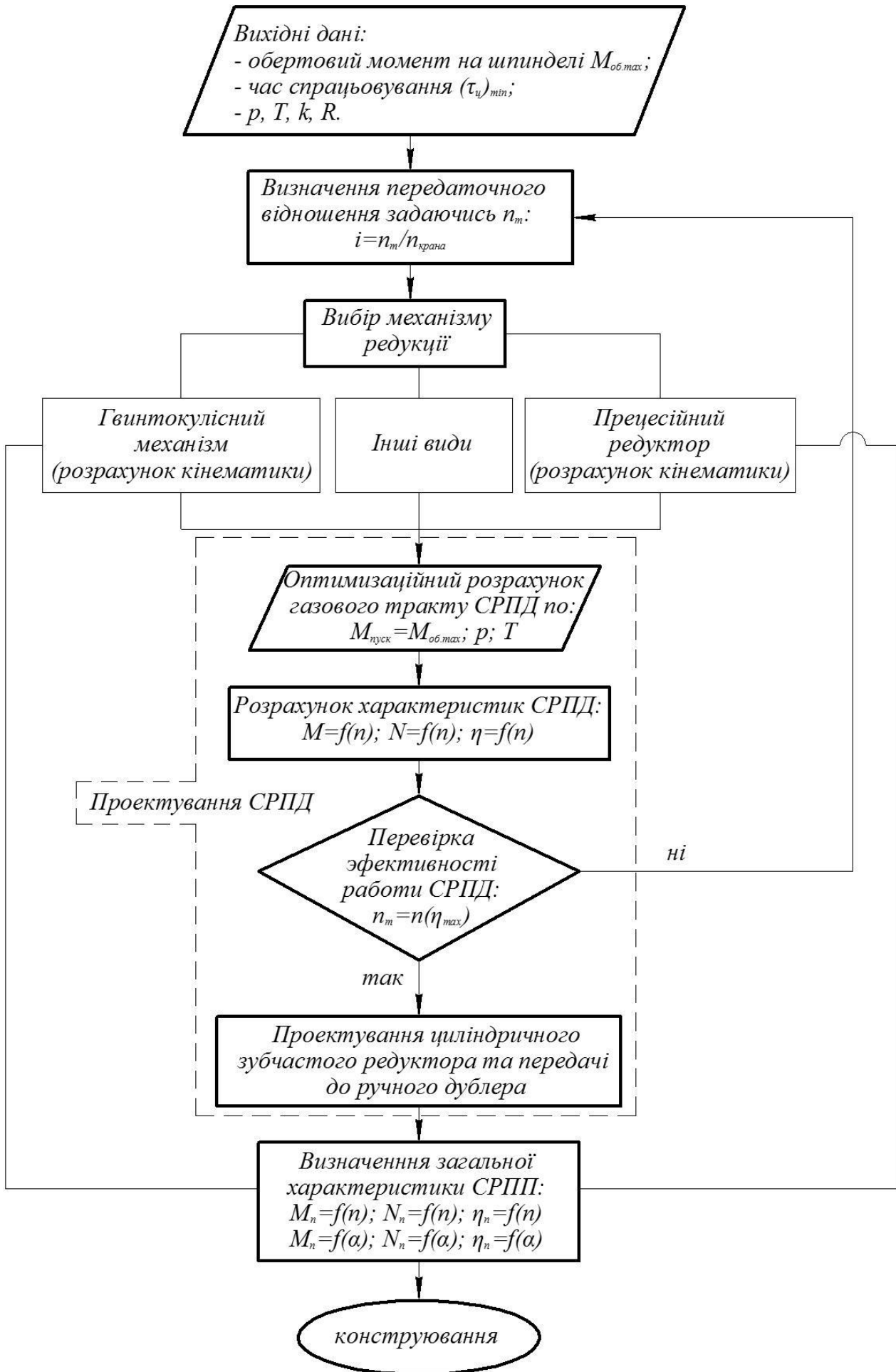


Рисунок 11 – Алгоритм загального проектування СРПД

На прикладі шарового крану DN 500 PN 80 проведений розрахунок пневмопривода на базі струминно-реактивного пневмодвигуна як модифікації існуючого пневмогідроприводу з гвинтокулісним механізмом редукції та розрахунок СРПП з прецесійним передаточним механізмом.

Порівняно з пневмогідроприводом економічність збільшилася до 2 разів по витраті робочого середовища при зменшенні маси на 3,5% (СРПП з гвинтокулісним механізмом) та на 30% (СРПП з прецесійним редуктором).

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язана науково-практична задача розвитку теорії робочого процесу, удосконалення характеристик та рішення питань застосування струминно-реактивних пневмоагрегатів на прикладі струминно-реактивного пневматичного приводу для шарових кранів магістральних газопроводів великих прохідних перерізів ($DN > 300$ мм).

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Обґрунтована можливість застосування струминно-реактивних пневмоагрегатів відносно невеликої потужності (до 500 кВт) в різних галузях промисловості, зокрема, утилізуючих турбогенераторів та пневмоприводів шарових кранів як альтернативи існуючим сьогодні пневмогідроприводам. Доцільність заміни пневмогідроприводів полягає в зменшенні масогабаритних параметрів, збільшенні надійності та строку служби приводу в цілому, особливо в районах зі складними кліматичними умовами.

2. Уточнена математична модель робочого процесу та вперше розроблена методика поелементного розрахунку втрат у проточній частині розширювальної струминно-реактивної машини, яка дозволяє визначити геометричні параметри проточної частини та створити машину з високими показниками ефективності. Виявлено, що ділянками, які в найбільшій мірі впливають на ефективність машини є підвідне сопло, втулка-дифузор та тягове сопло.

Аналіз балансу енергії в СРПД показав, що одними з основних втрат є втрати на аеродинамічний опір при обертанні ротора в середовищі в'язкого газу; встановлено, що коефіцієнт опору обертанню, що характеризує ці втрати, залежить від геометричних параметрів ротора та частоти обертання.

3. Проведені експериментальні дослідження роботи струминно-реактивної розширювальної машини, результати яких підтверджують адекватність математичної моделі та доповнюють алгоритм розрахунку робочих характеристик СРПД.

Вперше встановлений вплив зазору між робочим колесом та стінками СРПД на характеристики: визначено, що при збільшенні цього зазору, при інших рівних умовах, збільшується частота обертання ротора, причому градієнт збільшення різко падає при зазорі більше 5 мм; рекомендується приймати $\Delta > 10$ мм. Отримані залежності коефіцієнта аеродинамічного опору обертанню ротора в середовищі в'язкого газу від частоти обертання $K_{o.o} = f(n)$, які дозволили уточнити методику

розрахунку характеристик СРПД та пневмоагрегатів на його основі та використані у відповідних програмах.

Вперше експериментально отримана залежність коефіцієнта аеродинамічного (профільного) опору робочого колеса струминно-реактивної розширювальної машини від числа Рейнольдса, визначеного по окружній швидкості робочого колеса $c_x = f(Re_U)$. Мінімальне значення $c_x = 0,105$ складає при $Re_U = 2,2 \cdot 10^5$.

4. Вперше за допомогою програмного комплексу FlowVision виконано моделювання та відпрацьована методика розрахунку течії газу в проточній частині СРПД. Проведена верифікація чисельного експерименту на пусковому режимі. Похибка визначення основних параметрів численним методом не перевищує 5%.

Використання програмних комплексів у подальшому дасть можливість досліджувати вплив різних геометричних та газодинамічних параметрів на ефективність струминно-реактивного пневмоагрегату та отримати агрегат із високими показниками ефективності.

5. Розроблений алгоритм та методика проектування струминно-реактивного пневмопривода для шарових кранів магістральних газопроводів великих прохідних перерізів ($DN > 300$ мм). На основі цієї методики проведені розрахунки струминно-реактивних пневмоприводів для шарового крана DN 500 PN 80 з гвинтокулісним механізмом та прецесійним механізмом редукції. Ці пневмоприводи можуть використовуватися взамін існуючих пневмогідроприводів.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі Сумського державного університету, а також впроваджені на підприємствах ТОВ "Варіант-Гермотехніка" та ПП "Променергомаш" при проектуванні номенклатурного ряду пневмоагрегатів невеликої потужності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бережной А.С. Расчет оптимальной окружной скорости рабочего колеса струйно-реактивной турбины / С.М. Ванеев, С.К. Королев, А.С. Бережной // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2009. – №4. – С. 22-29.
2. Бережной А.С. Основные коэффициенты, характеризующие режим работы струйно-реактивных турбин / С.М. Ванеев, С.К. Королев, А.С. Бережной // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Випуск 10. Том 9. – 2010. – С. 151-158.
3. Бережной А.С. Влияние некоторых режимных параметров на оптимальную окружную скорость рабочего колеса струйно-реактивной турбины / С.М. Ванеев, С.К. Королев, А.С. Бережной // Всеукраїнський науково-технічний журнал: Промислова гідравліка і пневматика – 2011. – № 3(33). – С. 68-71.
4. Бережной А.С. Влияние зазора между рабочим колесом и корпусом на характеристики струйно-реактивной турбины / С.М. Ванеев, А.С. Бережной // Теория и практика насосостроения: монография / под ред. В.А. Марцинковского, И.Б. Твердохлеба, Е.Н. Савченка. – Сумы: СумГУ, 2011. – С. 224-231.

5. Aleksandr Berezhnoi Influence of gap between driving wheel and corps on characteristics of jet-reactive turbine/ S. Vanyeyev, A. Berezhnoi // Procedia Engineering. – 2012. – Vol.39. – P. 1-8.

6. Бережной А.С. Результаты исследований режима холостого хода и пускового режима струйно-реактивной турбины / С.М. Ванеев, А.С. Бережной // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна. – 2011. – №22(195). – С. 32-41.

7. Бережной А.С. Исследование струйно-реактивного турбодетандера / С.М. Ванеев, С.К. Королев, А.С. Бережной, В.В. Гетало // Компрессорное и энергетическое машиностроение: научно технический и производственный журнал, Сумы, 2011. – №4(26). – С. 33-40.

8. Бережной А.С. Исследование нереверсивной струйно-реактивной турбины для турбогенератора с помощью программного комплекса FlowVision / С.М. Ванеев, С.К. Королев, А.С. Бережной [и др.] // Компрессорное и энергетическое машиностроение: научно технический и производственный журнал, Сумы, 2012. – №3(29). – С. 22-28.

9. Бережной А.С. Исследование реверсивной струйно-реактивной турбины с помощью программного комплекса FlowVision / С.М. Ванеев, С.К. Королев, А.С. Бережной [и др.] // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2012. – №4. – С. 14-20.

10. Бережной А.С. Создание турбодетандерного агрегата ТДА-СРТ-100 со струйно-реактивной тягой для ГРС / С.М. Ванеев, В.В. Гетало, А.С. Бережной, С.К. Королев // Газотурбинные технологии: специализированный информационно-аналитический журнал, Москва, 2014. – №1(120). – С. 40-43.

11. Бережной А.С. Создание турбодетандерного агрегата ТДА-СРТ-100 со струйно-реактивной тягой для ГРС / С.М. Ванеев, В.В. Гетало, А.С. Бережной, С.К. Королев // Газотурбинные технологии: специализированный информационно-аналитический журнал, Москва, 2014. - №2(121). – С. 34-37.

12. Бережной А.С. Исследование струйно-реактивной турбины для турбогенераторов в системах редуцирования газа / С.М. Ванеев, С.К. Королев, А.С. Бережной [и др.] // Збірник наукових праць VIII Міжнародної НТК, присвяченої 90-річчю Одеської державної академії холоду. – Херсон: Гринь Д.С., 2012. – С. 386-390.

13. Бережной А.С. Анализ возможности утилизации потенциальной энергии давления сжатых газов и паров / С.М. Ванеев, А.С. Бережной // Матеріали НТК викладачів, співробітників, аспірантів і студентів інженерного факультету: конференція присвячена Дню науки України та 60-річчю СумДУ. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – Ч.І. Вип. 10. – С. 49.

14. Бережной А.С. Определение оптимальной окружной скорости рабочего колеса струйно-реактивной турбины / С.М. Ванеев, А.С. Бережной // матеріали Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції: у чотирьох частинах, м. Суми, 19 – 23 квітня 2010 р. / редкол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – Ч.ІІІ. – С. 29.

15. Бережной А.С. Результаты обработки экспериментальных исследований режима холостого хода и пускового режима струйно-реактивной турбины / С.М. Ванеев, А.С. Бережной // матеріали НТК викладачів, співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій: у чотирьох частинах, м. Суми, 18-22 квітня 2011 року / редкол.: О.Г. Гусак, В.Г. Євтухов. – Суми: СумДУ, 2011. – Ч.3. – С. 103.

16. Бережной А.С. Исследование струйно-реактивной турбины для пневмоагрегатов / С.М. Ванеев, А.С. Бережной // матеріали II Всеукраїнської міжвузівської НТК: у трьох частинах (м. Суми, 17-20 квітня 2012 р.): / редкол. О.Г. Гусак, В.І. Євтухов. – Суми: СумДУ, 2012. – Ч.3. – С. 20.

17. Бережной А.С. Совершенствование пневмоагрегатов на базе струйно-реактивной турбины / С.М. Ванеев, А.С. Бережной // XIII Міжнародна НТК АС ПП "Промислова гідравліка і пневматика". Чернігів, 19 – 20 вересня 2012 р.: матеріали конференції. – Вінниця: ГЛОБУС-ПРЕС, 2012. – С. 52.

18. Бережной А.С. Пневмоприводы на базе струйно-реактивной турбины / Ванеев С.М., Бережной А.С. // Сучасні проблеми холодильної техніки і технології / Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції, м. Одеса, 10-12 вересня 2013 р. – Херсон: Грінь Д.С., 2013. – С. 202-204.

АНОТАЦІЯ

Бережний О.С. «Удосконалення робочих характеристик струминно-реактивного пневмоагрегата на основі уточнення моделі робочого процесу». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. – Сумський державний університет, Суми, 2014 р.

У дисертаційній роботі наведено нове рішення науково-практичної задачі, що полягає у використанні струминно-реактивного пневмодвигуна в якості виконавчого пристрою пневмоагрегатів у різних сферах народного господарства, а також в уточненні математичної моделі робочого процесу та розробленні методики поелементного розрахунку втрат у проточній частині струминно-реактивної розширювальної машини, що дозволяє визначити геометричні параметри проточної частини та створити агрегат із високими показниками ефективності. Проведені експериментальні дослідження роботи струминно-реактивного пневмодвигуна, результати яких підтверджують адекватність математичної моделі та доповнюють алгоритм розрахунку робочих (вихідних) характеристик СРПД та пневмопривода в цілому.

Розроблені алгоритм та методика проектування пневмопривода на базі СРПД для шарових кранів магістральних газопроводів великих прохідних перерізів ($DN > 300$ мм).

Ключові слова: струминно-реактивний пневмодвигун, пневмопривод, шаровий кран, робоче колесо, робочий процес, робочі характеристики, математична модель, методика проектування.

АННОТАЦИЯ

Бережной А.С. «Совершенствование рабочих характеристик струйно-реактивного пневмоагрегата на основе уточнения модели рабочего процесса». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. – Сумской государственной университет, Сумы, 2014 г.

В диссертационной работе предложено новое решение научно-практической задачи, которая состоит в использовании струйно-реактивного пневмодвигателя в качестве исполнительного устройства пневмоагрегатов в разных сферах народного хозяйства, а также в уточнении математической модели рабочего процесса и разработке методики поэлементного расчета потерь в проточной части струйно-реактивной расширительной машины, что позволяет определить геометрические параметры проточной части и создать агрегат с высокими показателями эффективности. Проведены экспериментальные исследования работы струйно-реактивного пневмодвигателя, результаты которых подтверждают адекватность математической модели и дополняют алгоритм расчета рабочих (выходных) характеристик СРПД и пневмопривода в целом.

Разработаны алгоритм и методика проектирования пневмопривода на базе СРПД для шаровых кранов магистральных газопроводов больших проходных сечений ($DN > 300$ мм).

Ключевые слова: струйно-реактивный пневмодвигатель, пневмопривод, шаровой кран, рабочее колесо, рабочий процесс, рабочие характеристики, математическая модель, методика проектирования.

ABSTRACT

O.S. Berezhnyi “Improvement of the Jet-Reactive Pneumatic Unit Performance on the Basis of Work Process Model Refinement”. – Manuscript.

Ph.D. thesis in Engineering Science in specialty 05.05.17 - Hydraulic Machines and Hydropneumatic Units. – Sumy State University, Sumy, 2014.

The thesis offers a new solution of the applied research task, which consists in the usage of the jet-reactive pneumatic unit as an executive device of pneumatic units in different spheres of the national economy, as well as in the refinement of the work process mathematical model and in the development of method of the item calculation of losses in the flow part of the jet-reactive expansion machine that allows one to determine geometrical parameters of the flow part and create a unit with high efficiency. The experimental research of the jet-reactive pneumatic unit was performed; the results confirm the adequacy of the mathematical model and complement the algorithm for calculating operating (output) characteristics of the JRPU and pneumatic actuator as a whole.

The pneumatic actuator algorithm and design technique were developed on the JRPU basis for ball valves of the cross-country pipelines with large clear openings ($DN > 300$ mm).

Key words: jet-reactive pneumatic unit, pneumatic actuator, ball valve, action wheel, work process, operating characteristics, mathematical model, design technique.

Підписано до друку 25.07.2014 р.

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

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК№3062 від 17.12.2007р.