

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Чжана Іхена

на тему:

«Обґрунтування параметрів прямих пасивних редуційних клапанів з механічною системою управління»

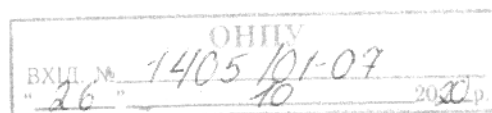
поданої до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 - Механічна інженерія,
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка.

Актуальність теми.

Регулятори тиску, або редуційні клапани є одним з основних елементів сумчастих промислових гідравлічних або пневматичних систем, що дозволяють регулювати тиск за умов, коли тиск після такого пристрою менше половини робочого тиску на вході. Зростаючі вимоги до точності регулювання тиску в промислових гідравлічних або пневматичних системах у більшості випадків потребують відтворювання, за їх допомогою, потрібної (цільової) характеристики редукування. На поточний час функціональні можливості існуючих редуційних клапанів є недостатніми для вирішення таких завдань, особливо у автономному режимі. У зв'язку з цим, тема поданої до захисту дисертаційною роботи, що пов'язана з науково обґрунтованим синтезом і аналізом редуційних клапанів з механічною системою управління, що мають широкі функціональні можливості завдяки їх конструктивним особливостям на відміну від існуючих, є **актуальною** і представляє значний інтерес, оскільки обумовлює вирішення важливої науково-прикладної задачі.

Зв'язок дисертаційної роботи з державними науковими програмами, планами, пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки.

Робота виконувалася на кафедрі «Теоретична механіка» Одеського національного політехнічного університету "Наукові обґрунтування визначення динамічних міцнісних, якісних параметрів і технічного рівня механічних систем" (№ державної реєстрації 011U006767) "Розробка та удосконалення пружних та демпфіруючих елементів почіпок" (№ державної реєстрації 0115U000832),



відповідно до координаційного плану держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення дисертаційної роботи є новими та забезпечують істотний внесок у розвиток методологічних основ застосування теорії графів до синтезу та аналізу елементів гідро-пнеumo апаратури, а саме прямих пасивних редукційних клапанів з механічною системою управління. Наукові положення, що мають за базу кінематичні та модифіковані кінематичні граfi обґрунтовано забезпечують опис структурних параметрів таких пристроїв. Вірогідність наукових досліджень та їх обґрунтованість, підтверджується правильним використанням у дисертаційній роботі деяких припущень, математичних перетворень, достатньою збіжністю результатів проведеного математичного моделювання і теоретичних досліджень з результатами експериментальних досліджень.

Достовірність результатів дисертаційної роботи.

Достовірність наукових результатів поданої дисертаційної роботи визначається використаними автором математичним апаратом та методами досліджень. Методи дослідження базуються на: аксіоматичній теорії функціонально – структурного аналізу з використанням модифікованих кінематичних графів; математичному моделюванні пасивних прямих редукційних клапанів з механічною системою управління і подальшому теоретичному дослідженні їх динамічної стійкості, коливань тиску та коливань в механічній частині клапану при його роботі у різних штатних режимах, з використанням методів аналітичної механіки, наближеного аналітичного і чисельного рішення диференціальних рівнянь другого порядку методами гармонійного балансу та Рунге – Кутта та побудовами діаграм Кенінгса – Ламерея; для експериментальних випробувань дослідних зразків використовувалися методи чисельного і фізичного експерименту; обробку результатів експериментальних досліджень виконано методами теорії ймовірності та кореляційного аналізу. Аналіз висновків по розділах і загальних висновків показує відповідність отриманих наукових і практичних результатів.

Наукова новизна дисертаційної роботи.

Наукова новизна теоретичних положень дисертації обумовлена використанням теорії графів, як базової теорії функціонально – структурного аналізу і синтезу технічних систем. Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- вперше, методика, яка базується на аксіоматичній теорії синтезу пружних пристроїв з використанням теорії графів, доповнена і використана для синтезу елементів гідро–пневмо апаратури

- вперше запропоновано використовувати в якості моделі, при аналізі і синтезі прямих пасивних редукційних клапанів з механічною системою управління, модифіковані кінематичні графи, у яких орграфом замість мультиграфу, визначено основну функціональну взаємодію елементів клапана;

- вперше при синтезі прямих пасивних редукційних клапанів з механічною системою управління розроблена модель у вигляді модифікованого кінематичного графу, науково обґрунтована заміна віртуальної кінематичної пари 4-го класу на її реальний аналог, показано, що дана заміна призводить до багатоваріантності рішень;

- вперше запропоновано для вибору оптимального рішення, в разі їх багатоваріантності, використовувати в матрицях складання, при визначенні енергії графів, вагових коефіцієнтів в наступному пріоритеті: «основний параметр» - «допоміжний параметр» - «технологічна складність виготовлення»;

- дістав подальший розвиток метод оцінки надійності синтезованих технічних систем за допомогою графу станів.

- дістав подальший розвиток метод застосування модифікованих кінематичних графів до аналізу і синтезу механічних систем.

Практична цінність дисертаційної роботи.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень апробовано на декількох міжнародних конференціях, використано при виконанні держбюджетних НДР Міністерства освіти України, а у поточний час використовуються у навчальному процесі Інституту промислових технологій, дизайну і менеджменту Одеського національного політехнічного університету. Результати дисертаційної

роботи впроваджено у промисловість, що підтверджено актами впровадження від *Huzhou Machine Tool Works Co.,Ltd* (КНР) і ТОВ "ЕЛЕМЕНТ" м. Одеса.

Структура та зміст дисертаційної роботи.

Подана дисертаційна робота є кваліфікаційною роботою, що виконана індивідуально і подана у вигляді рукопису. Вона складається з анотації, вступу, 4 розділів, загальних висновків і додатків. Роботу викладено на 147 сторінках, вона містить 49 рисунків, 18 таблиць, а також додатки на 2 сторінках. Об'єм першого оглядового розділу складає менше 25 % від загального об'єму дисертації. Список використаних джерел включає 123 найменування. Загальний обсяг дисертації становить 162 сторінки.

У **анотації** двома мовами у стислому вигляді наведено зміст, актуальність та основні положення дисертаційної роботи.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано наукову проблему досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, поставлені мета і задачі дослідження, відзначено наукову новизну та практичну цінність отриманих у роботі результатів, а також наведено дані про публікації і особистий внесок здобувача до них, дані про апробацію результатів дисертації, обсяг і структуру дисертації.

У **першому розділі** з використанням системи наукових принципів і методик проведено аналіз існуючих конструкцій прямих пасивних редукційних клапанів, визначені критерії, що обумовлюють їх ефективність. Розглянуто області застосування прямих пасивних редукційних клапанів, проведено порівняння їх функціональних можливостей, що пов'язані з їх кінематичними структурами, визначені основні напрямки їх розробки, а також встановлено вплив їх характеристики редукування на динамічні процеси в трубопроводах різного призначення. По результатах проведеного критичного аналізу існуючих конструкцій прямих пасивних редукційних клапанів визначено, що з метою розширення їх функціональних можливостей найбільш перспективними є вирішення задач синтезу пов'язаних з розширенням існуючих структур редукційних клапанів додатковими механічними структурами.

У **другому розділі** приведено застосування аксіоматичній теорії синтезу пружних пристроїв з використанням теорії графів для синтезу елементів гідро-пневмо апаратури у вигляді принципово нових пасивних прямих редукційних

клапанів. В результаті застосування цієї методики запропоновано при аналізі і синтезі прямих пасивних редуційних клапанів з додатковою механічною системою управління використовувати в якості моделі модифіковані кінематичні графи. Виконано науково обгрунтоване уточнення існуючої моделі пружного пристрою у вигляді мультиграфу, явно вираженим оргграфом, який визначає основну функціональну взаємодію елементів редуційного клапана; у отриманій моделі науково обгрунтована заміна віртуальної кінематичної пари 4-го класу на її реальний аналог, що дозволило синтезувати принципово новий прямий пасивний редуційний клапан з додатковою механічною системою управління. Зважаючи на те, що при вирішенні задачі синтезу, можливе багатоваріантність рішень - запропоновано для вибору оптимального рішення критерій у вигляді енергії графів, при цьому в перше використані вагових коефіцієнтів в наступному пріоритеті: «основний параметр» - «допоміжний параметр» - «технологічна складність виготовлення». Розроблено математичні моделі та розрахункові схеми для отриманого, при проведені синтезу, оптимального рішення, яке у подальшому отримало конструктивну реалізацію. Шляхом варіації конструктивними параметрами отримано характеристики редукування, які неможливо реалізувати за допомогою відомих конструкцій прямих пасивних редуційних клапанів. Науково обгрунтований тісний взаємозв'язок між геометричними параметрами додаткової механічної системи управління і характеристикою редукування, що обумовило напрямки досліджень по відтворенню цільових характеристик редукування. Встановлено що показники ефективності запропонованого редуційного клапана значно вищі ніж у існуючих (коефіцієнт відповідності $k_b = 0,86 \dots 0,95$ на відміну від існуючих $k_b = 0,56 \dots 0,75$, та коефіцієнт кратності $k_k = 2 \dots 5$ на відміну від існуючих $k_k = 1,5 \dots 2,4$).

У третьому розділі автором запропоновано математичну модель для визначення динамічної стійкості розроблених пристроїв, при цьому науково обгрунтовано використання різних моделей тертя в залежності від виду робочого тіла. При застосуванні чисельного методу Рунге-Кутта та діаграм Кенінгса-Ламерея встановлено, що запропонований пристрій є динамічно стійким, а можливість виникнення автоколивань пов'язане лише з величиною коефіцієнта в'язкості робочого тіла β та з величиною витрати на вході клапану Q . Проведені порівняльні дослідження динаміки гідравлічної системи, до складу якої окрім редуційного клапану входять інші елементи гідроапаратури. Встановлено, що при зміні подачі насоса в досліджуваному діапазоні сталі значення тиску в системі залишається практично на одному рівні (6 ... 8%), що відповідає очікуваній витратно-перепадній

характеристиці. Зміна запобіжного обсягу робочого тіла і сили тертя істотно не впливає на якість перехідного процесу, а сталі значення тиску в системі p_1 залишається незмінним. При малих витратах для запропонованого клапана пульсації тиску практично відсутні ($<2\%$) від сталого значення. У розділі також запропонована процедура формалізації складання математичного опису прямого пасивного редукційного клапана з механічною системою управління для оцінки його працездатності за критеріями помилки при спрацьовуванні та герметичності. Результати математичного моделювання по визначенню впливу різних чинників на помилку спрацьовування розглянутого клапана свідчать, що існуючий критерій працездатності у вигляді герметичності до запропонованого клапана застосовувати не можливо, в наслідок його конструктивних відмінностей від існуючих.

У четвертому розділі проведено опис експериментальні зразків, що отримані з використанням адитивних технологій, спроектованого і виготовленого стенду для випробувань та комплексу вимірювальної апаратури. Наведена розроблена автором програма низки експериментів та методики перевірки їх достовірності. Результатами експериментальних досліджень підтверджено: адекватність розроблених розрахункових схем та математичних моделей пропонованого пристрою; теоретичні положення про тісний взаємозв'язок кривизни паза направляючої пластини пропонованого клапана і його характеристики редукування (похибка між теоретичними і експериментальними даними становить $6...14\%$); теоретичні положення про автономну стабілізацію тиску на «виході» клапана при зміні тиску на «вході» (похибка між теоретичними і експериментальними даними склала $8...16\%$); теоретичні положення про автономну стабілізацію тиску «за клапаном» при зміні сумарної витрати в системі за «входом» з клапану (імітація «включення споживачів»). Похибка між теоретичними і експериментальними даними склала $8...15\%$. Проведено аналіз похибок, та встановлені їх імовірні причини.

У висновках наведено найбільш важливі наукові та практичні результати, які були отримані під час проведених досліджень.

Додатки містять акти впровадження у промисловість отриманих у дисертаційній роботі результатів.

Повнота висвітлення основних результатів.

Основні положення дисертаційної роботи відображені у 10 наукових працях: 3 статті у періодичних виданнях, що входять до міжнародної науково – метричної бази

SCOPUS, 2 статті у спеціалізованих наукових журналах і збірниках наукових праць, затверджених ВАК України, які входять до міжнародних науково – метричних баз (Index Copernicus, Google Scholar та ін.), 3 патенти на винахід України; 2 патенти на винахід КНР. Апробація основних наукових положень дисертації проведена на 3 міжнародних науково-технічній конференціях, що відповідають тематиці роботи, 2 з яких проводились в Україні і 1 за кордоном.

Зауваження до змісту дисертації

1. На наш погляд ствердження «...зростаючі вимоги до ефективності гідравлічного і пневматичного обладнання, особливо трансмісій, вимагає відсутності відхилень редукованого тиску від необхідного в процесі роботи, особливо коливань тиску в системі при одночасному включенні декількох пристроїв...» (стор. 24) необхідно більш детально описати, які саме відхилення (у процентному відношенні від номінального) обумовлюють зменшення ефективності.

2. Виникає питання, чому саме область застосування запропонованих пристроїв має «...обмеження за діаметром трубопроводу 20...50 мм і максимальним тиском 4 МПа». (стор. 44)?

3. Виникає питання, що обумовлюють складові $\beta \frac{dx}{dt}$, $\beta \frac{dy}{dt}$ застосовані у виразі (3.6) (стор. 78) ?

4. Потребує пояснення, чи можливе застосування підходу застосованого для визначення динамічних процесів у підрозділі 3.3 (стор. 87) до моделювання більше ніж два каскади гідро-пневмопроводу?

5. Потребує додаткового пояснення чому саме «... при збільшенні жорсткості пружини клапана, незалежно від його конструктивного виконання, збільшується помилка його спрацьовування $\delta_{сп.}$ » (стор.112).

6. На наш погляд слід більш детально проаналізувати причини похибок «...між значеннями на характеристиках редукування, отриманих аналітично і експериментально в разі стабілізації тиску за клапаном в разі моделювання включення споживачів...», оскільки вони мають велике значення (стор. 142).

ВИСНОВОК

Вказані зауваження не зменшують позитивного враження від поданої роботи і не відносяться до основних наукових положень дисертації і її наукової цінності, теоретичного й практичного значення.

Дисертаційна робота Чжана Іхена та тему «Обґрунтування параметрів прямих пасивних редуційних клапанів з механічною системою управління», поданою на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка» є завершеною, самостійною працею, яке містить наукову новизну, має теоретичне й практичне значення. Дисертація відповідає вимогам п.п. 9, 10, 11 Постанови Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167 «Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», а її автор – **Чжан Іхен** - заслуговує на присудження наукового ступеню доктора філософії у галузі знань 13 – «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка».

Офіційний опонент:

Директор інституту інженерної механіки та транспорту
Національного університету
«Львівська політехніка»,
д.т.н., професор


ашець О.С. Ланець

