

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Поліщука Леоніда Клавдійовича

«Динаміка привідних систем і стрілових конструкцій стрічкових конвеєрів мобільних машин»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин

Актуальність теми дисертаційної роботи. До основних умов проектування сучасних високотехнологічних об'єктів машинобудування відноситься забезпечення їх надійного та безперебійного функціонування в процесі експлуатації, яке визначається роботоздатністю найбільш високонавантажених вузлів та окремих елементів конструкцій. При цьому їх характерними особливостями є зростання збільшення потужності, зменшення матеріалоемності при одночасній необхідності підвищення продуктивності.

В окремих галузях промисловості, таких як гірничодобувна та переробна, широке використання знайшли мобільні машини, які оснащені стріловими конструкціями з стрічковими конвеєрами. З урахуванням зазначених вище сучасних вимог до проектування, характерними особливостями таких машин є збільшення довжини транспортувального органу, зростання розмірів і ускладнення стрілових конструкцій, застосування привідних систем, що складаються з декількох вмонтованих двигунів, розподілених по контуру стрічки. Зазначені обставини викликають дію широкого спектру динамічних навантажень в умовах експлуатації.

Пошук способів зменшення динамічних навантажень у таких машинах здійснюється шляхом раціонального добору параметрів механічної системи, конструктивних змін у приводі, обґрунтування коефіцієнтів запасу міцності тощо. Забезпечення роботоздатності у встановленому діапазоні режимів експлуатації мобільних машин необхідно здійснювати з урахуванням дії широкого спектру статичних та динамічних навантажень. Це викликає необхідність проведення комплексних експериментальних і розрахункових досліджень з визначення характеристик механічних коливань конструкцій та аналізу напружено-деформованого стану найбільш навантажених елементів та вузлів.

Забезпечення достовірності результатів розрахункових досліджень з вивчення динаміки привідних систем і стрілових конструкцій стрічкових конвеєрів можливе, по-перше, тільки за умови розгляду мобільної машини як складної дискретно-континуальної механічної системи. По-друге, слід враховувати змінні напруження, що виникають в елементах конструкцій в умовах тривалої експлуатації та під впливом агресивного середовища, оскільки вони можуть пришвидшити руйнування деталей і вузлів. По-третє, у зв'язку з постійним ускладненням конструкцій привідних систем і несівних елементів, а також режимів експлуатації механізмів і машин, важливим чинником раціонального проектування і ефективної експлуатації технічних об'єктів слід вважати наявність достатньо точних і, в той же час, зручних у застосуванні методів аналізу динамічних процесів.

Незважаючи на те, що у даний час існує потужний арсенал методів і програмного забезпечення для проведення досліджень динаміки механічних систем, постає потреба у розробці математичних моделей і алгоритмів розрахунку динамічних явищ у тих чи інших машинах з урахуванням специфіки їх конструкцій і режимів експлуатації. Так, у дослідженнях динаміки привідних систем конвеєрів мобільних машин необхідним є врахування їх нелінійних характеристик та особливостей роботи багатопривідної системи. Визначення динамічних зусиль у тяговому органі слід здійснювати з урахуванням рухомості меж віток стрічки. При вивченні динамічних явищ у стрілових конструкціях важливим є врахування конструктивних особливостей стріли, а також специфіки її навантаження.

Отже, актуальність теми представленої дисертаційної роботи, спрямованої на підвищенні ефективності проектування і експлуатації стрічкових конвеєрів мобільних машин на основі удосконалення методів дослідження динамічних явищ, реалізації комплексного підходу до розрахунку динамічних процесів у привідних системах та стрілових конструкціях, встановлення закономірностей взаємовпливу механічних коливань в елементах машин, обґрунтування параметрів механічної системи, які б забезпечували зниження динамічних зусиль в елементах конструкції і збільшували ресурс деталей та вузлів, не викликає сумніву.

Слід відзначити, що характерною ознакою роботи є те, що вона не обмежується вивченням динамічних процесів у досліджуваних механічних системах. Розглядаються також питання впливу динамічних навантажень на залишковий ресурс інженерних конструкцій, що є важливим чинником розвитку спеціальності 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Зв'язок роботи з пріоритетними науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи у цілому відповідає існуючим пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки, затверджених на законодавчому рівні. Дисертаційна робота підготовлена у Вінницькому національному технічному університеті і відповідає науковому напрямку «Аналіз динамічних процесів у приводних системах конвеєрів та утримувальних металоконструкцій підйомно-транспортних машин», який розвивається на кафедрі галузевого машинобудування. Робота виконувалася в рамках держбюджетної та госпдоговірних тем, які пройшли державну реєстрацію.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій роботи полягає в тому, що вони базуються на коректному використанні фундаментальних положень класичної механіки деформівного твердого тіла та теорії механічних коливань, зокрема, таких методів, як метод узагальнених координат, метод узагальнених переміщень, метод скінчених елементів, метод початкових параметрів. На основі їх застосування побудовані математичні моделі для дослідження динамічних процесів у привідних системах та металоконструкціях дискретної і континуально-дискретної структур. Механічні випробування на тріщиностійкість матеріалу проводилися на сертифікованому обладнанні в умовах, максимально наближених до експлуатаційних.

Наукова новизна результатів роботи полягає в розробці математичних моделей нестационарних режимів роботи гідропривідного агрегату стрічкового конвеєра з основним і додатковим гідромоторами та системою управління, чутливою до зміни навантаження та вимушених коливань стрілової конструкції, що встановлена на вантовій підвісці, з урахуванням механічної взаємодії стрічки конвеєра з нерівномірно розподіленим по довжині вантажем і опорних роликів та удосконаленні методу розрахунку перехідних процесів у стрічкових конвеєрах з урахуванням рухомості меж довгомірних віток транспортувального органу та хвильових явищ у цих вітках, з використанням яких поглиблено наукові основи розрахунку вільних і гармонічних вимушених коливань багатосекційних стрілових конструкцій, встановлених на вантових підвісках, та обґрунтовано істотний вплив параметрів режиму навантаження та умов тривалої експлуатації несівної конструкції стріли буртоукладника на механічні характеристики матеріалу, тріщиноутворення і залишковий ресурс.

Практичне значення одержаних результатів в першу чергу полягає в тому, що розроблені автором математичні моделі дають можливість на етапі проектування узгоджувати параметри системи управління з пружно-інерційними характеристиками транспортувального органу з урахуванням особливостей перехідних режимів роботи гідроприводу та встановлювати закономірності зміни динамічних навантажень опорних роликів і стріли в залежності від характеру розподілу вантажу і швидкості руху стрічки. По-друге, запропоновані методи суттєво розширюють і доповнюють відомі результати досліджень нестационарних процесів у привідних системах конвеєрів, чутливих до зміни навантаження, та коливань нелінійних систем. По-третє, результати роботи знайшли безпосереднє використання і впровадження на профільних підприємствах України при розробці заходів щодо підвищення ефективності та забезпечення функціональної роботоздатності буртоукладників та підйомно-транспортного обладнання кар'єрів по переробці гранітних мас. В подальшому вони можуть бути використані при проектуванні сучасних машин та обладнання різного технологічного призначення, а також в науково-дослідницьких та навчальних процесах.

Оцінка структури, обсягу та змісту роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 434 сторінки, містить 157 рисунків, 27 таблиць, список використаної літератури з 454 найменувань, 12 додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, вказано на зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовані мета і задачі дослідження, визначені наукова новизна і практичне значення одержаних результатів, наведені данні про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації і подано список публікацій.

Перший розділ присвячено всебічному огляду сучасного стану проблеми динаміки та міцності конвеєрів, улаштованих на стрілових конструкціях мобільних машин. Зазначено важливість спрямування досліджень динамічних процесів у стрічкових конвеєрах на пошук заходів щодо зниження динамічних навантажень елементів приводу, тягового органу, врахування у дослідженнях

перехідних процесів рухомості меж віток конвеєра та забезпечення безупинної роботи машини за значних змін технологічних навантажень за допомогою засобів автоматики. Особливу увагу приділено вдосконаленню методів математичного моделювання стрижневих систем із застосуванням засобів континуалізації. Оскільки мобільні машини є технічними об'єктами тривалої експлуатації, що працюють в умовах дії статичних і динамічних навантажень, для забезпечення їх надійності необхідно діагностувати технічний стан та оцінювати залишковий ресурс елементів конструкцій. Проведений аналіз дозволив сформулювати задачі досліджень.

У другому розділі обґрунтовано напрямки досліджень та методи розв'язання задач динаміки привідних систем та несівних стрілових конструкцій. Обґрунтовано переваги розміщення та використання вмонтованих приводів у розвантажувальній частині транспортера. Порівнянням динамічних характеристик гідравлічного і електричного приводів на основі дослідження перехідних процесів встановлено ефективність використання гідравлічної привідної системи, що забезпечує зменшення динамічних навантажень у конвеєрі. Враховуючи, що стрілові конструкції виготовляються суцільними чи шарнірно зчленованими з секціями різної довжини, запропоновано аналіз коливальних явищ проводити з використанням дискретних та континуально-дискретних моделей для плоскої стрілової конструкції із застосуванням технічної теорії згину, для просторової – з урахуванням деформації згину та зсуву згідно з теорією балок С.П. Тимошенка. Відзначено необхідність вивчення впливу динамічних навантажень та агресивного середовища на тріщиноутворення в матеріалі тривало експлуатованої стріли для визначення залишкового ресурсу. Наведено дослідні установки, контрольно-вимірювальні прилади та апаратуру, методики проведення досліджень, які дозволяють якісно виконати експериментальну частину роботи.

У третьому розділі розглядаються математичні моделі вмонтованих гідравлічних приводів стрічкових конвеєрів із засобами гідроавтоматики. За способом пуску, що забезпечує зменшення динамічних навантажень в стрічці конвеєра, синтезовано пусковий пристрій для вмонтованого гідравлічного приводу, побудовано математичну модель динамічних процесів, визначено конструктивні параметри, за якими розроблено конструкторську документацію на дослідний зразок. Для безупинної роботи приводу, що піддається короткочасним або тривалим перевантаженням, та для підвищення продуктивності конвеєра розроблено конструкцію приводу з пристроєм та системою керування, чутливими до зміни навантаження, які вмикають додатковий гідромотор для збільшення крутного моменту на робочому органі. Представлені результати дослідження перехідних процесів у згаданих приводах за допомогою розроблених математичних моделей, визначено параметри приводу, керуючих пристроїв і транспортувальної частини, добором яких знижується величина і тривалість дії динамічного навантаження, забезпечується стійкість роботи привідної системи, виконується оптимізація цих процесів за тривалістю та динамічною складовою навантаження. Експериментальними дослідженнями приводу, чутливого до зміни навантаження, доведена правомірність прийнятих під час теоретичних досліджень припущень про адекватність математичних моделей приводу реальній гідромеханічній системі та ефективність застосування сучасних комп'ютерних програм для проведення числових досліджень. Для аналізу динамічних процесів

під час пуску конвеєрів з урахуванням рухомості меж довгомірних пружних ланок використано хвильову теорію руху. Здійснено перехід від супутньої до нерухомої системи координат, в якій розглядаються поздовжні коливання стрічки. Нелінійну крайову задачу розв'язано методом скінчених елементів. Слід відзначити, що дискретизацію рівнянь з частинними похідними виконано методом зважених нев'язок у поєднанні з методом Бубнова-Гальоркіна. Це дало можливість вперше побудувати достатньо простий алгоритм розрахунку динамічних процесів у механічній системі конвеєра та значно підвищити точність визначення динамічних зусиль в його елементах.

У четвертому розділі роботи описні математичні моделі для дослідження вільних і гармонічних вимушених коливань багатосекційних стрілових конструкцій мобільних машин. Для суцільної багатопрогонової, а також шарнірно зчленованої (з жорсткими або податливими секціями) стрілових конструкцій обґрунтовано добір розрахункових моделей. Розглянуто випадки представлення стрілової конструкції як системи твердих тіл, а також способи урахування податливості секцій стрілових конструкцій. Приділена увага уникненню резонансних явищ у стрілових конструкціях під час роботи конвеєра. Досліджено вплив згинної жорсткості секцій, податливості утримувальних канатів, маси транспортованого вантажу на характеристики вільних і вимушених коливань стрілових конструкцій. Вперше, на основі побудованої математичної моделі вимушених коливань стрілової конструкції з вантовою підвіскою, з урахуванням геометричних параметрів системи роликів опор, провисання стрічки, нерівномірності розподілу і швидкості транспортування вантажу встановлено закономірності зміни динамічних навантажень опорних роликів і стріли.

Дослідження змін механічних властивостей матеріалу стріли тривало експлуатованої мобільної машини (буртоукладника) з урахуванням сумісної дії змінних напружень та агресивного середовища на тріщиноутворення та залишковий ресурс викладені у **п'ятому розділі**.

Обґрунтовано добір зразків з елементів конструкції стріли, які характеризують місця дії найбільших та найменших навантажень. Інформативною ознакою пришвидшення тріщиноутворення в матеріалі стріли стало зменшення ударної в'язкості, яка суттєво впливає на опір втомному руйнуванню. Побудовою кінетичних діаграм втомного руйнування у вихідному та експлуатованому станах для різної асиметрії циклів за випроб на повітрі та в модельному корозивному середовищі визначено порогові значення КІН та відмічено зсув діаграм в область підвищених швидкостей руйнування. Розглянуто шість випадків тріщиноподібних дефектів, для яких побудована аналітична база, що дає змогу оцінювати довговічність стрижнів за показником «опірності елемента конструкції росту тріщин». За допомогою отриманих в результаті випробувань значень КІН та аналітичного співвідношення Періса визначено характеристичні і критеріальні значення довжин тріщин, які дозволили оцінити довговічність елементів конструкції знаходженням граничних значень циклів навантаження на основі співвідношення, що передбачає досягнення умови спонтанного руйнування елемента конструкції.

Шостий розділ дисертації присвячено розробленню методів обґрунтованого добору компоновки та раціонального проектування компактних і ефективних в експлуатації конструкцій вмонтованих гідравлічних приводів

стрічкових конвеєрів. Наведено критеріальні оцінки для пошуку раціональних схем і визначено чинники, які на них впливають. На основі системного підходу виконано структурно-функціональний аналіз вмонтованих приводів, який дозволяє систематизувати складові елементи, що забезпечують задані технологічні і конструктивні параметри приводу, полегшити пошук технічного рішення із застосуванням структурних формул. Формалізація цих складових елементів дасть змогу створити підсистему автоматизованого проектування таких приводів. Також запропоновано конструкцію роликової опори, що зменшує дію динамічних навантажень на стрілову конструкцію. Конкурентоспроможність вмонтованого гідравлічного приводу встановлена порівнянням його економічних показників та існуючого електромеханічного комплектного приводу, що експлуатується на кар'єрі для виробництва щебеню.

У цілому слід констатувати, що на основі розробленого автором математичного апарату аналізу динамічних процесів в нелінійних системах різноманітної структури вирішена низка актуальних науково-технічних задач, результати яких свідчать про ефективність запропонованих методів. Доведено вплив змінних динамічних навантажень та агресивного середовища на ріст втомних тріщин і залишковий ресурс тривало експлуатованого матеріалу металоконструкції.

Публікації та оприлюднення результатів. За матеріалами дисертації здобувачем опубліковані монографія; 28 статей у наукових фахових виданнях України, шість з яких – у виданнях, що реферуються наукометричними базами; 3 статті у закордонних наукових виданнях; 14 патентів на винаходи і корисні моделі; 13 праць у збірниках тез доповідей міжнародних конференцій. В опублікованих працях в достатній мірі висвітлені наукові положення, основні висновки і рекомендації дисертаційної роботи. Результати дисертації були представлені на багатьох наукових форумах, що свідчить про ознайомлення з ними широкої наукової громадськості.

Основні зауваження по роботі.

1. Як метод чисельного розв'язку системи диференціальних рівнянь динамічних процесів у системі управління вмонтованого гідравлічного приводу автором використано метод Розенброка. Однак не наведено його переваг відносно таких широко відомих методів, як Рунге-Кутта або Адамса.

2. У реальних механічних системах стрілових конструкцій мобільних машин зустрічаються різноманітні способи закріплення стріли, що повинно враховуватися відповідними крайовими умовами. Проте автор при розробці математичних моделей коливачів (див. розділ 4) обмежився лише випадком нерухомого шарнірного закріплення стріли, що дещо звужує всебічність аналізу.

3. На жаль, взаємодію транспортованого вантажу з опорними роликами та стрілою, а також вимушені коливання несівної системи, обумовлені такою взаємодією, автором розглянуті лише на прикладі суцільної конструкції стріли. Бажано було б дослідити також вплив нерівномірності розподілу вантажу на динамічні явища у стріловій конструкції з шарнірно зчленованими секціями.

4. У роботі автор подає результати розрахунків числа циклів навантаження до руйнування елемента конструкції стріли буртоукладника для шести потенційно можливих випадків тріщиноподібних дефектів. Разом з тим, не зазначено, яким

чином отримані результати можна використати при проектуванні стрілових конструкцій.

5. Бажано було б у висновках до роботи більше уваги приділити формулюванню конкретних рекомендацій щодо застосування отриманих результатів при розв'язанні прикладних задач та систематизації кількісних показників щодо впливу тих чи інших факторів на динамічні характеристики досліджуваних об'єктів.

6. На жаль, автору не вдалося уникнути в тексті роботи окремих редакційних неузгодженостей та деяких граматичних помилок. Так, наприклад, в сучасній стандартизованій термінології теорії механічних коливань термін «власні коливання» відсутній. Бажано було б більш чітко і стисло сформулювати наукову новизну роботи.

Загальний висновок

Результати всебічного розгляду та аналізу дисертаційної роботи «Динаміка привідних систем і стрілових конструкцій стрічкових конвеєрів мобільних машин» дозволяють зробити висновок, що вона є завершеним науковим дослідженням, яке виконане на актуальну тему. Значимість роботи для науки полягає в тому, що розроблені у ній математичні моделі та методи дослідження динамічних процесів у привідних системах і стрілових конструкціях стрічкових конвеєрів мобільних машин, а також результати досліджень впливу динамічних явищ на залишковий ресурс тривало експлуатованих конструкцій можна розглядати як наукове підґрунтя для проведення подальших науково-дослідних робіт з динаміки та міцності машин неперервного транспорту широкого класу.

Зазначені вище зауваження слід розглядати як побажання для подальшої плідної наукової праці і не знижують загальної позитивної оцінки роботи. Дослідження за тематикою дисертаційної роботи доцільно продовжити у Вінницькому національному технічному університеті в співдружності з відповідними науковими установами НАН України та іншими зацікавленими організаціями, а результати роботи можна рекомендувати для використання на підприємствах машинобудування, транспорту, будівництва та інших галузей економіки України, а також при проведенні науково-дослідних робіт у відповідних проектно-конструкторських установах та організаціях.

У цілому, розглянута дисертаційна робота задовольняє вимоги п. 9, 10 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо докторських дисертацій, а її автор, Поліщук Леонід Клавдійович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Офіційний опонент – заступник директора
Інституту проблем міцності
ім. Г. С. Писаренка НАН України
з наукової роботи,
завідувач відділу коливань
та вібраційної надійності
доктор технічних наук, професор



А. П. Зінковський