

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора
Надутого Володимира Петровича на дисертаційну роботу

Сліденка Віктора Михайловича

“Розвиток наукових основ стабілізації ударно-хвильових процесів
гідроімпульсних систем гірничих машин”, представлену на здобуття наукового
ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.06 – "Гірничі машини"

1. Актуальність проблеми і її зв'язок з державними і галузевими програмами

Розвиток гірничого машинобудування пов'язаний з впровадженням нових технологій заснованих на останніх наукових досягненнях, впровадження яких впливає на збільшення продуктивності та зменшення енергозатрат на процес руйнування гірських порід, а також підвищення надійності гірничих машин та обладнання. Впровадження гідроімпульсних систем (ГІС) направлено на вирішення задач в цьому напрямку, проте призводить до нестабільної роботи елементів конструкцій при дії ударних імпульсів і вимагає впровадження ефективних засобів захисту від коливань та засобів стабілізації функціонування базової техніки.

На сьогодні відомо, що ефективність застосування демпферів та гасників коливань на основі традиційних термодинамічних тіл обмежена термодинамічною компактністю не вищою, ніж $600 \text{ Дж/м}^3\text{К}$, декремент затухання коливань в гідромеханічних системах в середньому не перевищує 1,4, а коефіцієнт динамічності від реакції віддачі для ГІС складає більше 1,8.

Використання, наряду з відомими засобами - демпферами та гасниками коливань, в якості потужного дисипатора енергії гетерогенної ліюфобної системи (ГЛС), як нового робочого тіла дозволяє розв'язати в комплексі проблему взаємодії в системі “людина - гірничі машина - вибій” з захистом оператора та обладнання від імпульсної та вібраційної дії.

Тому установлення закономірностей, що характеризують ударно-хвильові процеси ГІС і вплив на них нелінійних гістерезисних характеристик пружно-дисипативних зв'язків, ГЛС і розвиток на базі цього наукових методів стабілізації ударно-хвильових процесів ГІС, методів розрахунку параметрів є **актуальною науковою проблемою** в області створення нових і вдосконалення існуючих елементів конструкцій гірничих машин та їх пружно-дисипативних зв'язків з потужним захистом від динамічних навантажень.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота є складовою наукових досліджень, проведених в Національному технічному університеті України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", а також у рамках науково-дослідних держбюджетних тем: 2459 "Статистична теорія імпульсно-хвильового руйнування гірських порід на основі критеріїв раціональної енергоємності та створення

енергоощадного виконавчого органа прохідницького маніпулятора", № держреєстрації 0100U003602; 2630 "Статистична теорія енергокерування імпульсно-хвильовим руйнуванням гірських порід та створення енергозберігаючого виконавчого органа маніпулятора", № держреєстрації 0103U0002482; 2962-ф "Теорія імпульсно-хвильового руйнування гірських порід та створення енергозберігаючого інтелектуального комплексу з маніпулятором імпульсно-хвильової дії", № держреєстрації 0106U004320; 2962-п "Екологічно безпечний енергоощадний комплекс імпульсно-хвильової дії для розробки родовищ та видобутку корисних копалин", № держреєстрації 0109U001615; 2441-П "Енергозберігаючий адаптивний комплекс імпульсно-резонансної дії для розробки нафтових родовищ та видобутку корисних копалин" 0103U001438; 2441-П "Геотехнічний комплекс з інтелектуально-адаптивним виконавчим органом імпульсного руйнування гірських порід та видобутку корисних копалин" 0113U001628; 2847-П "Адаптивний маніпулятор віброхвильового руйнування гірських порід та видобутку корисних копалин" 0115U000373; 2831 "Енерготехнологічний комплекс з інтелектуальним керуванням робочим режимом та віброзахистом з використанням репульсивних клатратів" 0115U002332; в яких автор брав безпосередню участь як відповідальний виконавець.

3. Наукова новизна, ступінь обґрунтованості і вірогідності отриманих результатів

Наукова новизна отриманих результатів

У результаті виконання комплексу теоретичних та практичних досліджень щодо стабілізації ударно-хвильових процесів гідроімпульсних систем автором вперше:

- експериментально встановлені статистичні характеристики впливу ударно-хвильових процесів на розподіл навантажень окремих кінематично зв'язаних елементів гірничої машини за експоненціальною залежністю математичного сподівання коефіцієнта динамічності, індекс стабілізації, а також діапазони зміни декрементів затухань коливань для гідроприводу та металоконструкцій, в залежності від умов позиціонування і подачі виконавчого органа ГС на вибір впливових на стабілізацію ударно-хвильових процесів та на величину і характер навантаження силових рамних конструкцій;

- встановлені параметри енергорозподілу в процесі функціонування ГС в залежності від рекуперації енергії за рахунок комбінованої дії пневмоакумулятора та гідроприводу, що дозволяє збільшити енергію удару на 10-15% та встановити раціональні діапазони адаптивного регулювання енергії зарядки пневмоакумулятора, на прикладі гідромолота ГПМ-300А, в залежності від робочого ходу бойка та від зміни об'єму камери пневмоакумулятора;

- встановлені залежності амплітуди коливань торця інструмента гідромолота для випадку асиметричного опору гірської породи з ефектом пружної післядії та встановлені межі декременту 1,3...1,4 для жорсткості породи $6 \cdot 10^7$ Н/м при навантаженні і $7 \cdot 10^7$ Н/м при розвантаженні, встановлений вплив

на декремент затухань різниці жорсткостей, а також встановлений характер впливу на амплітуду і частоту хвильових процесів в інструменті гідромолота, конструктивні та енергетичні параметри;

- встановлено, що на амплітуду і частоту коливань реакції віддачі на базову машину впливають нелінійні характеристики жорсткості перехідних елементів, які моделюється поліномами другого і третього порядків, а зі збільшенням жорсткості силових елементів конструкції доцільно підвищувати порядок полінома, який апроксимує жорсткість зв'язків, що дозволяє забезпечити ефективний захист елементів конструкції гірничої машини від резонансів.

- для реального гідроприводу експериментально встановлена характеристика ГЛС з термодинамічною компактністю на порядок більшою відносно традиційних робочих тіл через інтрузією незмочуваної рідини в нанопори твердого ліофобного тіла під тиском, що супроводжується примусовим розвитком міжфазної поверхні і накопиченням великої поверхневої енергії Гіббса, а при зменшенні тиску – рідина в процесі екструзії під дією поверхневих сил натягу витісняється з порового простору матриці і повертає систему в початковий стан з формуванням петлі гістерезису та з дисипацією енергії в 80...90% за один цикл “навантаження-розвантаження”, за умови статичної, періодичної та ударної дії.

- розроблено модель нелінійної жорсткості ГЛС з високою термодинамічною компактністю та з силовою характеристикою асиметричного гістерезису для визначення раціонального режиму коливань зі збільшенням декременту затухання коливань до 1,8...1,95 і формуванням нового напрямку наукових досліджень по застосуванню ГЛС для захисту обладнання гірничих машин від дії ударного навантаження.

Розроблена математична диференціально-різницева модель процесів енергетичних перетворень в циклі функціонування ГЛС, яка відрізняється від відомих застосуванням імітаційних обчислювальних процедур у відповідності до циклограми роботи ГЛС та врахуванням комплексної дії пневмоакумулятора і гідроприводу з рекуперацією енергії в процесі реверсу бойка та з можливістю визначення раціональних параметрів адаптивного регулювання енергії зарядки пневмоакумулятора, в залежності від робочого ходу бойка та зміни об'єму камери пневмоакумулятора.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових результатів, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується коректністю поставлених завдань, які базуються на сучасних уявленнях щодо стану стабілізації динамічних процесів гірничих машин, а також використанням фундаментальних положень класичної і хвильової механіки суцільного середовища, механіки гірських порід, коректністю аналітичних й експериментальних досліджень пристроїв подачі та пристроїв захисту базової машини від коливань з застосуванням спеціального стенду для дослідження термомолекулярної системи керованого функціонування ГЛС у лабораторних і промислових умовах з використанням сучасної контрольно-реєструючої апаратури, плануванням основних експериментів з використанням теорії імовірності й математичної статистики; зіставленням

розрахункових значень з експериментальними даними, розбіжність між якими не перевищує 10%.

Отримані автором акти апробації та впровадження результатів досліджень підтверджують обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації.

4. Значення роботи для науки і практики

Наукове значення роботи полягає: в розвитку наукових основ стабілізації ударно-хвильових процесів ГПС гірничих машин з встановленням залежностей ударно-хвильових процесів від енергетичних та силових параметрів гідроімпульсного виконавчого органу, механізму подачі, перехідних елементів зв'язку з жорсткими нелінійними характеристиками і термомолекулярними дисипативними елементами на основі ГЛС; у встановленні закономірностей розподілу енергії в ГПС, дії ударно-хвильових процесів ГПС на гірський масив та реакції віддачі на базову машину з обґрунтуванням технічних рішень стабілізації ударно-хвильових процесів і стабільного функціонування гірничої машини.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено інженерну методику та математичне забезпечення програмного комплексу реалізації інженерних задач по розрахунку на комп'ютері динамічних процесів, визначення оптимальних параметрів елементів конструкцій робочого обладнання та силових рамних конструкцій гідравлічного екскаватора з гідромолотом в умовах ВО "Червоний екскаватор".

2. Розроблено інженерну методику визначення раціональних параметрів комплексу гідроімпульсного обладнання з застосуванням ГЛС-дисипаторів, програма експериментальних досліджень комплексу (Імпульс-Ренфорс) за виробничих умов ЗАТ "Ренфорс" та НВО "Азгарт" для адаптивного руйнування гірських масивів з різноманітними механічними характеристиками.

3. Розроблено елементи конструкції комплексу гідроімпульсного обладнання з застосуванням ГЛС-дисипаторів, для адаптивного руйнування гірських масивів з різноманітними механічними характеристиками в умовах ЗАТ "Ренфорс".

4. Розроблено методику експериментальних досліджень тунелепрохідницького комплексу Wirth за умов ПАТ "Київметробуд" з визначенням напрямків модернізації гідроприводу.

Результати науково-дослідних робіт впроваджені в якості методичних рекомендацій і технологічно проектної документації впроваджені в ВО "Червоний екскаватор", ЗАТ "Ренфорс", НВО "Азгарт", ПАТ "Київметробуд" та використані в науковій діяльності і в навчальному процесі Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", що підтверджується Актами впровадження і використання результатів науково-дослідних робіт.

5. Аналіз змісту дисертації

Оцінюючи наукові результати, слід відзначити наступне.

В розділі 1 систематизована інформація за проблемою дослідження динамічних процесів з застосуванням ГІС, методів розрахунку параметрів та способів стабілізації ударно-хвильових процесів. Виконано критичний аналіз структури ГІС, з порівнянням зразків вітчизняної та закордонної техніки. Виявлено перевагу низькочастотного імпульсного режиму навантаження, характерного для вітчизняних ГІС над високочастотним енергетичним режимом функціонування закордонних ГІС для випадку руйнування гірських порід. Відмічено, що обґрунтування параметрів ГІС виконано без врахування режиму стабілізації ударно-хвильових процесів і вимагає вдосконалення та подальшого розвитку. Виходячи з цього сформульовані мета роботи, завдання і методи досліджень.

У розділі 2 за результатами проведених натурних експериментальних досліджень встановлено експоненціальний характер математичного сподівання коефіцієнта динамічності та співвідношення індексів стабілізації ударно-хвильових процесів в гідроприводі і металоконструкції гірничої машини, що дозволило встановити розрахункові схеми для математичного моделювання і розробити інженерні методики з урахуванням реальних експлуатаційних параметрів. Моделюванням, з розробкою імітаційної моделі, встановлений раціональний діапазон адаптивного регулювання енергії зарядки пневмоакумулятора, який характеризується степеневими залежностями: в межах $1,7...3,05$ кДж – від робочого ходу бойка; в межах $2,6...3,05$ кДж – від зміни об'єму камери пневмоакумулятора, а збільшення енергії удара на 10-15% досягається за рахунок рекуперації енергії в гідроприводі і комбінованої дії пневмоакумулятора гідромолота і гідроприводу. Обґрунтовано діапазон контактної жорсткості гірських порід $2.386 \cdot 10^6...0.13 \cdot 10^{11}$ Н/м для проведення моделювання ударно-хвильових процесів.

У розділі 3 наведені методики та результати моделювання ударно-хвильових процесів взаємодії елементів ГІС числовим скінченно-різницеvim методом з верифікацією результатів розрахунків на модельних задачах аналітичним методом Фур'є. Досліджені ударно-хвильові процеси за умови зовнішньої дії імпульсу, який моделюється розподілами швидкостей поперечних перерізів стержня (близькі до вільного торця стержня) у вигляді: прямокутника, кривої Гауса, трапеції, параболи. Розроблені математичні моделі враховують пружно-дисипативні властивості гірських порід, а також характерні такі явища, як пружний гістерезис і пружна післядія. За допомогою різницеvim рівнянь досліджено вплив на ударно-хвильові процеси явища пружної післядії, яке полягає в уповільненому зникненні деякої частини пружних деформацій і яка впливає на прискорення затухань коливань.

У розділі 4 наведені результати досліджень за допомогою дискретно-континуальних моделей, що характерно для врахування взаємодії елементів гідроприводу та металоконструкції гірничої машини. Встановлено, що

зменшення амплітуди коливань торця інструмента гідромолота, для випадку асиметричного опору гірської породи з ефектом пружної післядії, характеризується експоненціальною залежністю з декрементом затухань в межах до 1,3...1,4 для жорсткості породи $6 \cdot 10^7$ Н/м при навантаженні і $7 \cdot 10^7$ Н/м при розвантаженні, причому, при збільшенні різниці між жорсткостями декремент затухань зростає, а на амплітуду і частоту хвильових процесів в інструменті гідромолота мають кореляційний вплив його розміри та форма, а також величина та форма ударного імпульсу. Це дозволило сформулювати вимоги до параметрів захисту від коливань.

У розділі 5 обґрунтовано використання перехідних пружних елементів з симетричною нелінійною характеристикою жорсткості, значення якої прогресивно збільшуються при відхиленнях від точки статичної рівноваги. В розділі розглянуто також вплив на процес коливань жорсткості, залежної від напрямку переміщення, що характерно для систем з класичним пружним та інженерним керованим гістерезисом, який обумовлений не залишковими явищами в системі при зміні напрямку процесу, а різкою зміною властивостей системи. За результатами досліджень встановлено вплив особливих нелінійних характеристик жорсткості перехідних елементів, які дозволяють забезпечити ефективний стабілізуючий вплив на процес коливань та виведення системи з резонансу.

У розділі 6 розглянута модель гетерогенної ліофобної систем (ГЛС), яка заснована на результатах експериментальних досліджень з установами гістерезисної характеристики процесу “навантаження-розвантаження” на спеціальному стенді. Досліджено поведінка ГЛС за умов статичного, коливального та ударного (копрового) навантаження та доведено, що властивості потужної дисипації ГЛС зберігаються за різноманітних умов навантаження, що важливо для функціонування ГЛС в умовах статичної та динамічної дії. За результатами досліджень розроблено модель нелінійної жорсткості ГЛС з силовою характеристикою асиметричного гістерезису для визначення раціонального режиму коливань з збільшення декременту затухання коливань в 1,8 – 1,95 рази.

У розділі 7 наведено результати синтезу конструкцій захисту від коливань та раціонального розподілу енергії ударно-хвильових процесів за допомогою класичних демпферів, динамічних гасників, адаптивних податчиків, гідромолотів та ручних гідромолотків. Наведено результати та рекомендації по впровадженню методу скінченних різниць в інженерних розрахунках та ГЛС для потужної дисипації коливань елементів конструкцій гірничих машин.

Додатки містять копії документів, які підтверджують актуальність проблеми, апробацію результатів досліджень, використання технічних рішень і рекомендацій та їх впровадження в умовах ПАТ “Київметробуд”, ЗАТ “Ренфорс”, ВО “Атек” та НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”. В додатках наведена інформація з обґрунтуванням коректності аналітичних та експериментальних досліджень.

6. Зауваження по роботі

За змістом дисертаційної роботи маються наступні зауваження.

1. Після формулювання положень наукової новизни наведені дуже детальні пояснення, які дублюють висновки. Повинно бути вказано, чим положення наукової новизни відрізняються від таких, що отримані в дослідженнях попередників, або «раніше такі дані не були відомі».

2. В першому розділі роботи розглядаються результати досліджень ударно-хвильових процесів при взаємодії ударних частин гідромолота, а реакція віддачі виражена однією формулою (1.12), яка відображає тільки максимальне значення.

3. В роботі не для всіх випадків наводиться оцінка верифікації скінченно-різницевих моделей. Так на рис. 3.12 дисертації виконано графічне порівняння результатів розрахунку скінченно-різницевим методом з розрахунками за методом Фур'є та за контактано-хвильовою теорією без наведення числових характеристик збіжності.

4. В розділі 6 наводяться характеристики інтрузії та екструзії гетерогенної ліофобної системи, які утворюють петлю гістерезису, проте не достатньо повно відображений вплив на гістерезис якісного та кількісного складу ГЛС.

5. В розділі 7 наведено результати аналізу ефективних механізмів та пристроїв захисту від коливань: динамічних гасників, пристроїв подачі, адаптивних ГС, проте не наведена порівняльна оцінка їх ефективності, що важливо для вибору способу гасіння коливань для різних умов експлуатації.

Зазначені зауваження та недоліки на знижують позитивну оцінку роботи, не впливають на ступінь наукової новизни та практичної значимості отриманих в дисертаційній роботі результатів.

7. Висновки до розділів та за результатами роботи

Дисертаційна робота написана ясною та зрозумілою для фахівців мовою. В роботі конкретно обґрунтовані наукові положення, а наприкінці кожного розділу роботи зроблено обґрунтовані висновки. Стиль, мова, оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам ДСТУ-3008-95 “Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення”. Назва роботи відповідає встановленим нормам до докторських дисертацій.

Зміст та структура автореферату ідентично відображають викладені в дисертації дослідження, основні наукові висновки демонструють вміння автора стисло, ясно і чітко викладати досягнення теоретичних та практичних результатів роботи.

За метою, об'єктом, предметом та завданнями досліджень дисертаційна робота відповідає формулі та паспорту спеціальності 05.05.06 – гірничі машини.

Результати наукових досліджень та наукові положення, що приведені в кандидатській дисертації Сліденка В.М. “Створення рами базової машини, взаємодіючої з гідромолотом і гірським масивом”, представлену за спеціальністю 05.05.06 – “Гірничі машини”, не виносяться на захист у його докторській дисертації.

8. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Основні наукові положення та результати дисертації опубліковані в 57 наукових працях, з яких: 5 монографій; 27 – у спеціалізованих фахових виданнях (11 з яких входять до наукометричних баз або надруковані в іноземних журналах) 17 – у збірниках наукових праць та матеріалах міжнародних конференцій, 3 авторських свідоцтва на винаходи, 6 патентів України, 11 робіт без співавторів.

9. Загальний висновок

Дисертаційна робота Сліденка В.М. за темою “Розвиток наукових основ стабілізації ударно-хвильових процесів гідроімпульсних систем гірничих машин”, що представлена на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук, є закінченою науковою працею, що в сукупності вирішує актуальну наукову проблему в галузі гірничого машинобудування – встановлення закономірностей, що характеризують ударно-хвильові процеси ГІС і вплив на них нелінійних гістерезисних характеристик пружно-дисипативних зв'язків, гетерогенних ліофобних систем і розвитку на базі цього наукових методів стабілізації ударно-хвильових процесів ГІС, методів розрахунку параметрів, які мають значення для створення нових і вдосконалення існуючих елементів конструкцій гірничих машин та їх пружно-дисипативних зв'язків з потужним захистом від динамічних навантажень.

Дисертація повністю відповідає формулі та паспорту спеціальності 05.05.06 – “Гірничі машини” та вимогам пп. 9, 11-14 положення про “Порядок присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, а її автор, **Сліденко Віктор Михайлович**, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.06 – “Гірничі машини”.

Завідувач відділу механіки машин і процесів
переробки мінеральної сировини Інституту
геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
НАН України доктор техн. наук, професор

В.П. Надутий

