

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Забуги Артема Геннадійовича «Аналітичне та чисельне моделювання динаміки матеріальних систем з ударно-фрикційною взаємодією»**, подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка

Актуальність теми. Дисертаційна робота Забуги Артема Геннадійовича «Аналітичне та чисельне моделювання динаміки матеріальних систем з ударно-фрикційною взаємодією» присвячена важливим проблемам математики і механіки, а саме, побудові та розв'язанню диференціальних рівнянь динаміки матеріальних систем з кулоновим тертям та механічними ударами, а також їх застосуванню до аналізу механіко-математичних моделей різних машин, що застосовуються у металургії. Аналіз динаміки таких систем являє собою складний тип задач, оскільки призводить до необхідності розв'язку диференціальних рівнянь, що мають розривну праву частину і змінну структуру. Такі особливості рівнянь динаміки зумовлені тим, що за наявності кулонового тертя і механічних ударів на матеріальну систему накладені неутримуючі неідеальні в'язі. В той же час, побудова коректних механіко-математичних моделей багатьох машин неможлива без врахування ударно-фрикційної взаємодії. Цим пояснюється той факт, що даний клас задач не є дослідженим у достатній мірі і привертає увагу багатьох сучасних вчених. Таким чином, в **актуальності** вибраного для вивчення кола проблем не виникає сумнівів.

Робота над дисертацією проводилась згідно з планами науково-дослідних робіт Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, а також договором про науково-технічну співпрацю між Інститутом механіки ім. С.П. Тимошенка Національної академії наук України (м. Київ) та Донбаською державною машинобудівною академією (м. Краматорськ) (№ Тс-10-2011) та увійшли до відповідних звітів.

Метою роботи є подальший розвиток методів побудови моделей динаміки матеріальних систем з ударно-фрикційною взаємодією та їх застосування до аналізу деяких штампувальних пресів, прокатних станів та рольгангів.

Для цього в дисертації було проведено

- розгляд і порівняння основних моделей ударної взаємодії недеформованих тіл з кулоновим тертям;

- розробку розрахункової схеми, яка є ефективною для чисельного аналізу рівнянь динаміки механіко-математичних моделей систем з ударно-фрикційною взаємодією;
- побудову і дослідження за допомогою розроблених методів механіко-математичних моделей штампувального пресу, стану холодної прокатки труб ХПТ-75 та рольгангу прокатного стану.

Наукова новизна, теоретичне і практичне значення отриманих результатів полягають у тому, що:

- Розглянуто моделі Кейна-Левінсона-Уїттекера, Рауса і Стронге та доведено, що у випадку абсолютно непружного удару шорстких недеформівних твердих тіл при плоскопаралельному русі, ці моделі дають однакові результати.
- Спираючись на проведені в дисертації дослідження та отримані результати, було побудовано та розв'язано рівняння динаміки двомасової віброударної системи з кулоновим тертям, яка являє собою механіко-математичну модель штампувального преса. Отриманий розв'язок дає можливість встановити інтервал часу між двома послідовними механічними ударами в такій системі, необхідний для завершення перехідного процесу, а також знайдено умови, при яких мінімізується шлях, пройдений центром мас вздовж горизонтальної осі за час між двома послідовними ударами.
- Запропоновано розрахункову схему на основі методу Рунге-Кутта, яка є ефективною при чисельному інтегруванні рівнянь динаміки матеріальних систем з кулоновим тертям. Ефективність розрахункової схеми показана на конкретному прикладі рівняння динаміки системи з в'язким і кулоновим тертям, що має точний аналітичний розв'язок.
- Побудовано та розв'язано рівняння динаміки механіко-математичної моделі стану холодної прокатки труб ХПТ-75. Шляхом порівняння результатів чисельного інтегрування рівнянь динаміки звичайного стану ХПТ-75, стану, модифікованого механізмом, який зрівноважує сили, що діють з боку шатунів, стану, в якому кривошип можуть вільно повертатися один відносно одного, а також стану ХПТ-75, що має обидві зазначені модифікації, показано, що динамічні навантаження є найменшими у останньому стані ХПТ-75.
- Результати, отримані при дослідженні моделей механічного удару, і запропонована розрахункова схема були застосовані для побудови і чисельного аналізу рівняння динаміки трьохмасової системи абсолютно твердих шорстких тіл, яка є механіко-математичною моделлю рольганга прокатного стану, та

розв'язано задачу оптимізації вхідних параметрів машини даного типу.

Достовірність одержаних результатів впливає з того, що:

- задачі динаміки матеріальних систем з ударно-фрикційною взаємодією були поставлені коректно з точки зору теоретичної механіки;
- результати чисельного аналізу рівнянь динаміки систем узгоджуються з результатами аналітичного розв'язку в тих випадках, коли цей розв'язок існує;
- в моменти часу, коли відбуваються механічні удари, одержані розв'язки неперервні по координаті і мають розрив по швидкості і прискоренню, а в моменти часу, коли швидкість ковзання змінює знак – неперервні по координаті і швидкості, а розрив мають лише по прискоренню.

За результатами дисертації опубліковано 11 наукових праць, 7 з яких – у фахових виданнях, затверджених МОН України (2 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus), 3 матеріалів міжнародних конференцій, і 1 – тези доповідей на міжнародній конференції. Наведені роботи в достатній мірі висвітлюють зміст дисертації.

Дисертація має класичну структуру та складається із анотації, змісту, вступу (загальної характеристики роботи), шести розділів, висновків, переліку використаних джерел.

Результати дисертаційної роботи пройшли відповідну апробацію на міжнародних конференціях та семінарах.

Дисертація та автореферат написані на високому науковому рівні. Зміст автореферату **відповідає** змісту дисертації. Робота відповідає вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Зауваження та побажання щодо роботи:

1. Не зрозуміло, яким саме чином було здійснено вибір машин, динаміка яких досліджувалася у роботі;
2. Бажано було б дати визначення терміну «механіко-математична модель»;
3. Можливо, буде доцільним у майбутньому доповнити методи аналізу механічного удару розглядом моделей, що враховують локальні деформації в точці контакту твердих тіл, які співударяються.

Зроблені зауваження не впливають на загальний висновок по дисертації.

Загальний висновок. Тематика і одержані результати роботи відповідають спеціальності 01.02.01 – теоретична механіка і профілю спеціалізованої вченої ради Д 26.166.01 в Інституті механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.11 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою КМУ № 567 від 24 липня 2013 року, а її автор **Забуга Артем Геннадійович** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук,
професор, провідний науковий співробітник
відділу математичних проблем
механіки та теорії керування
Інституту математики НАН України

