

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Калоші Юлії Ігорівни  
«Керування багаточастотними коливаннями гібридних механічних систем» представленої  
на здобуття наукового ступеня  
кандидата фізико-математичних наук  
за спеціальністю 01.02.01 — теоретична механіка

**Актуальність теми дисертаційної роботи.** У дисертаційній роботі Калоші Ю.І. «Керування багаточастотними коливаннями гібридних механічних систем» розв'язано задачі стабілізації та спостереження руху гібридної механічної системи, яка складається з пружних та абсолютно твердих елементів. Математична модель такої системи має вигляд рівняння типу Ейлера-Бернуллі, що містить частинні похідні, із складними крайовими умовами. Для неї запропоновано функціонали керування зі зворотнім зв'язком та встановлено достатні умови асимптотичної стійкості стану рівноваги за допомогою прямого методу Ляпунова та принципу інваріантності ЛаСалля. Також досліджено задачу спостереження для гібридної системи з виходом. Запропоновано конструктивний синтез спостерігача типу Луенбергера. Крім того, розглянуто умови збіжності методу Гальоркіна знаходження наближених розв'язків задачі про коливання консольно закріпленої пружної балки.

Задачі стабілізації, керування, спостереження руху систем з нескінченною кількістю ступенів вільності, які виникають в процесі математичного моделювання, наприклад, гнучких струн, балок, мембран, фізичних полів, тощо, є актуальними в теорії керування, адже виникають у багатьох прикладних галузях. Зокрема, до класу гібридних механічних систем, які складаються з абсолютно твердих і деформівних тіл, відносяться роботи-маніпулятори з пружними ланками, супутники з гнучкими антенами і панелями сонячних батарей, підйомні крани з пружними стрілами та протяжними тросовими зв'язками, тощо. Проблемам стабілізації пружних систем присвячено, зокрема, праці таких авторів як J.-M. Coron, R.F. Curtain, I. Lasiecka, E. Zuazua, А.А. Мартинюк, О.Л. Зуєв, багатьох інших. Задачі спостереження мають велике прикладне значення, адже пов'язані з визначенням даних про стан системи в умовах дефіциту вихідної інформації. Таким чином, розглянуті в дисертації Ю.І. Калоші задачі є актуальними в сучасній теоретичній і прикладній механіці.

Результати дисертаційного дослідження були отримані здобувачкою під час виконання науково-дослідних робіт в Інституті прикладної математики і механіки НАН України у 2011–2023 роках.

**Огляд змісту та основних результатів роботи.** Дисертаційна робота містить анотацію, вступну частину та п'ять основних розділів, висновки, перелік використаних джерел і два додатки. Рукопис складається зі 165 сторінок друкованого тексту, включно зі схемами та ілюстраціями.

У вступі наведено обґрунтування актуальності роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, відзначено наукову новизну, теоретичне значення та потенційні сфери практичного застосування отриманих результатів, надано інформацію про апробацію результатів дисертації.

У першому розділі наведено огляд літератури та методів дослідження, що стосуються предмета дисертаційної роботи. Викладено основні результати попередніх

досліджень у галузях стійкості руху систем з розподіленими параметрами, спостереження динамічних систем та наближених методів для рівнянь руху пружних балок. Методика досліджень ґрунтується на класичних методах аналітичної механіки: застосуванні варіаційного принципу для виведення рівнянь руху, методі функцій Ляпунова, принципі інваріантності, методі побудови спостерігача Луенбергера, методі апроксимації Гальоркіна.

У другому розділі виведено рівняння руху гібридної системи, прототипом якої є закріплена на кінцях пружна балка, до якої приєднано розподілені приводи та точкова тверда маса. Запропоновано функціонали керування у вигляді зворотного зв'язку. На основі методу Ляпунова доведено, що таке керування гарантує стійкість положення рівноваги балки. Рівняння руху записано в абстрактному вигляді з диференціальним оператором четвертого порядку. Проаналізовано його властивості і доведено коректність початкової задачі.

Третій розділ присвячено аналізу асимптотичних властивостей власних частот коливань балки та доведенню асимптотичної стійкості системи зі зворотним зв'язком. Для цього вивчено деякі спектральні властивості оператора системи і показано компактність його резольвенти. Достатні умови асимптотичної стійкості сформульовано у вигляді умов на розташування приєднаних до балки елементів керування.

У четвертому розділі розглядаються задачі синтезу спостерігача для динамічних систем у скінченновимірному та нескінченновимірному просторах. Запропоновано спосіб побудови системи-спостерігача і доведено його збіжність на основі дослідження стійкості похибки спостережень. Спостерігач отримано на основі методу Луенбергера, асимптотичну стійкість системи в похибках доведено на основі принципу інваріантності ЛаСалля. Також показано застосування результату до представленої у другому розділі моделі гібридної системи з пружною балкою і твердим тілом.

П'ятий розділ присвячено обґрунтуванню збіжності методу Гальоркіна для наближеного розв'язання задачі про коливання консольної пружної балки з керуванням.

Робота містить отримані за допомогою чисельного моделювання ілюстрації, які підтверджують точність представлених результатів про асимптотичний розподіл власних частот коливань шарнірно опертої балки з твердим тілом, результати про збіжність спостерігача Луенбергера та про збіжність методу Гальоркіна для консольної балки.

**Обґрунтованість і достовірність основних положень та висновків дисертації** обумовлена строгістю та коректністю математичних моделей і постановок задач, коректним застосуванням методів аналітичної механіки і математичної теорії керування до їх розв'язання, а також перевіркою отриманих результатів, висновків та рекомендацій на конкретних прикладах.

**Наукова новизна та практичне значення результатів дисертації.** Усі результати роботи отримані вперше, мають насамперед теоретичне значення і являють собою внесок у розвиток теорії стійкості руху динамічних систем. Запропоновані методи стабілізації та синтезу спостерігача можуть бути впроваджені у розробку та дослідження автоматизованих механізмів, які містять гнучкі елементи.

Результати дисертаційної роботи апробовані в достатній мірі. Вони представлялися на семінарах і конференціях у наукових установах України та за кордоном. За результатами роботи опубліковано 6 статей у рецензованих фахових виданнях та 14 тез у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Автореферат коректно і повно відображає зміст дисертації.

**Зауваження:**

1. В дисертації розглянуто математичну модель шарнірно опертої балки з твердим тілом. Також розглянуто пружну балку з умовами консольного закріплення, проте така балка розглядається не у зв'язці з твердим тілом. Для повноти дослідження доцільно було б також розглянути гібридну систему з пружним та твердим тілами з іншими типами крайових умов, та консольно закріплену балку з приєднаним твердим тілом.
2. Також доцільно розглянути гібридну систему з балкою, яка має змінний поперечний перетин і, відповідно, змінну густину.
3. У всіх моделях, розглянутих у дисертації, не беруться до уваги фізичні ефекти демпфування та сили тяжіння, які спостерігаються в реальних механічних системах.

Наведені зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи і не зменшують її теоретичну та практичну цінність.

Дисертаційне дослідження викладено послідовно і коректно. Дисертація написана українською мовою у відповідності до вимог МОН України про мову та стиль написання дисертацій. Форма викладення матеріалу відповідає стандартам наукової літератури. Тематика дисертаційної роботи повністю відповідає паспорту спеціальності 01.02.01 – теоретична механіка.

Враховуючи вищесказане, вважаю, що дисертація «Керування багаточастотними коливаннями гібридних механічних систем» є цілісною науковою працею, яка задовольняє всі вимоги чинного «Порядку присудження наукових ступенів» (Постанова Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. зі змінами, внесеними Постановою КМУ №607 від 15.07.2020 р.) щодо кандидатських дисертацій, а її авторка Юлія Ігорівна Калоша заслуговує на присудження їй вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка.

Офіційний опонент

д. ф.-м. н., провідний науковий співробітник  
відділу стійкості процесів Інституту механіки  
ім. С.П. Тимошенка НАН України

Анатолій ХОРОШУН

Підпис д.ф.-м.н. Хорошуна А.С. засвідчую

Вчений секретар Інституту механіки  
ім. С.П. Тимошенка НАН України,  
д.т.н.



Юрій СКОСАРЕНКО

*Надійшло з докторської  
ради ДІБ. 206.04 10.05.2024 р.  
секретар ради М-1 Артемівська М.І*