

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Васильєвої Ірини Геннадіївни**

### **“Стабілізація руху керованих механічних систем з випадковим впливом у критичних випадках”**

представленої на здобуття наукового ступеня

кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.02.01 — теоретична механіка

Дисертаційну роботу Васильєвої І.Г. “Стабілізація руху керованих механічних систем з випадковим впливом у критичних випадках” присвячено нагальним проблемам сучасної теоретичної механіки, що виникають при дослідженні стійкості руху механічних систем, які описуються нелінійними диференціальними рівняннями (звичайними та стохастичними).

Значна частина цієї роботи присвячена якісному аналізу поведінки механічних систем з випадковими впливами. Слід відмітити, що вельми важливими є питання, пов’язані зі стійкістю систем, на які діють зовнішні збурення, в тому числі і випадкові. У дисертаційній роботі досліджено задачі притягування траєкторій, стійкості інваріантних множин, стійкості руху відносно частини фазових змінних механічних систем, які описуються стохастичними диференціальними рівняннями, що підкреслює актуальність даного дослідження.

Інша суттєва частина роботи присвячена задачі стабілізації руху загального класу афінних за керуванням нелінійних систем в околі заданої кривої. Отриманий дисертантом результат може знайти важливе практичне застосування в задачах планування руху робототехнічних систем.

Враховуючи вищесказане, тематика дисертаційного дослідження є безперечно важливою і актуальною. Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків та списку використаних джерел зі 100 посилань. Роботу викладено на 126 сторінках друкованого тексту.

У вступі викладена інформація, яка потрібна згідно з вимогами до оформлення дисертацій, тобто, обґрунтування актуальності теми дисертації, формулювання мети і задач дослідження, визначення наукової новизни, теоретичне та практичне значення отриманих результатів, інформація щодо апробацій отриманих результатів.

У першому розділі дисертації детально висвітлено історію дослідження задач, пов’язаних з темою дисертаційної роботи. Другий розділ присвячено методиці досліджень. Тут дисертантом наведено відомості з теорії стохастичних диференціальних рівнянь, аналітичної механіки та методу функцій Ляпунова (другого методу Ляпунова) для аналізу стійкості нелінійних систем, які є необхідними при вирішенні поставлених в роботі завдань.

Основні результати дисертації, що виносяться на захист, викладено у розділах 3-6. Третій розділ роботи присвячено дослідженню якісної поведінки розв’язків системи стохастичних диференціальних рівнянь Іто в околі довільної інваріантної множини. Задача, що досліджується дисертантом, є вельми важливою для систем із випадковими впливами, коли стан досліджуваної системи неможливо передбачити з ймовірністю 1. В цьому розділі отримано достатні умови збіжності розв’язків системи стохастичних диференціальних рівнянь до довільної інваріантної множини за майже всіх початкових умов з фазового простору.

У четвертому розділі можна виділити два основних теоретичних результати. Першим є теорема, що встановлює достатні умови асимптотичної стійкості за ймовірністю інваріантної множини для системи стохастичних диференціальних рівнянь Іто. Другим - конструктивний алгоритм, що дозволяє побудувати стабілізуюче керування для відповідного класу керованих механічних систем з випадковими впливами.

У п’ятому розділі досліджено вплив “шуму” на стабілізацію руху нелінійних механічних систем.

Підходи до розв'язання задач стійкості систем з шумом розвивались в роботах Р.З. Хасьмінського, Л. Арнольда, Х. Мао, Ю. Нішімури та ін. Зокрема, у монографії Х. Мао (1994 р.) наведено приклади детермінованих систем з асимптотично стійкими та нестійкими станами рівноваги для яких додавання випадкового впливу може відігравати стабілізуючий або дестабілізуючий ефект. Тож слід бути дуже обережними при використанні стратегій керування з випадковими впливами для стабілізації руху механічних систем. Дисертантом розвинуто підхід додавання випадкового впливу в керування і запропоновано конструктивну побудову керування для досягнення асимптотичної стійкості за ймовірністю стану рівноваги отриманої стохастичної системи відносно частини змінних.

В останньому розділі роботи розв'язано задачу стабілізації руху нелінійних систем вздовж заданої кривої із застосуванням концепції стійкості сім'ї множин. Основним результатом цього розділу є теорема, що встановлює достатні умови асимптотичної стійкості однопараметричної сім'ї множин для загального класу афінних за керуванням систем.

Усі отримані дисертантом теоретичні положення продемонстровано на нетривіальних механічних прикладах за допомогою чисельного моделювання в програмі Maple із застосуванням (за необхідності) відповідних пакетів стохастичного аналізу.

Дисертація І.Г. Васильєвої є завершеною працею, в якій одержано нові науково обґрунтовані результати щодо визначення умов часткової асимптотичної стійкості руху та синтезу законів керування зі зворотним зв'язком для класів нелінійних механічних систем з випадковими впливами. Ці результати мають насамперед теоретичний характер. Однак алгоритми побудови керування, які запропоновано в дисертаційній роботі, можуть мати практичне застосування при моделюванні руху робототехнічних систем.

Достовірність основних отриманих результатів ґрунтується на повних математичних доведеннях із застосуванням методу функцій Ляпунова, методів аналітичної механіки та методів теорії стохастичних диференціальних рівнянь.

Опонент має наступні зауваження щодо дисертації:

1. У теоремі 2.5 на сторінці 35: не зрозуміло, що таке  $\sigma$ ; крім того позначення  $[a_{ij}] = \sigma \sigma^T$  не зовсім вдале.

2. На сторінці 38, після 3.1 припускається, що функції  $f_k \in C^2$ , що задовольняють умову Ліпшица на кожному компакт  $K$ . Хіба не будь яка функція  $f \in C^2$  задовольняє умову Ліпшица на будь якому компакті?

3. У доведенні леми 3.1 бажано представити процедуру визначення функції  $\alpha$ , існування якої гарантує твердження цієї леми.

4. На сторінці 41, після 3.3 бажано додати: "...застосовуючи нерівність Чебишова,...".

5. На сторінці 42, в другому абзаці замість: "з останньої рівності" має бути: "з останньої нерівності".

6. Сторінка 52: необхідно уточнити, що означає: "що множина  $K$  не містить цілих траєкторій майже напевно...".

7. На сторінці 85, необхідно пояснити неочевидне твердження, чому функція Ляпунова  $V(z)$  додатнєвизначена.

Вищезгадані зауваження і побажання не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи І.Г. Васильєвої і не знижують її наукового значення.

Основні результати досліджень опубліковано в 4 наукових роботах, серед яких 3 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у міжнародному фаховому виданні, що входить до наукометричної бази Scopus. Дисертаційна робота пройшла апробацію на міжнародних конференціях достатньо високого рівня, крім того отримані результати активно доповідались на семінарах в наукових установах України і за кордоном. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту роботи.

6. Сторінка 52: необхідно уточнити, що означає: "що множина  $K$  не містить цілих траєкторій майже напевно...".

7. На сторінці 85, необхідно пояснити неочевидне твердження, чому функція Ляпунова  $V(z)$  додатнєовизначена.

Вищезгадані зауваження і побажання не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи І.Г. Васильєвої і не знижують її наукового значення.

Основні результати досліджень опубліковано в 4 наукових роботах, серед яких 3 статті у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у міжнародному фаховому виданні, що входить до наукометричної бази Scopus. Дисертаційна робота пройшла апробацію на міжнародних конференціях достатньо високого рівня, крім того отримані результати активно доповідались на семінарах в наукових установах України і за кордоном. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту роботи.

Враховуючи все викладене, вважаю, що дисертація Васильєвої І.Г. "Стабілізація руху керованих механічних систем з випадковим впливом у критичних випадках" задовольняє всім вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», постанова Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 р. (з подальшими змінами) щодо кандидатських дисертацій, а її автор Ірина Геннадіївна Васильєва, на мій погляд, цілком заслуговує на присудження їй вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 — теоретична механіка.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, доцент,

провідний науковий співробітник

Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України

В.І. Слинко

Підпис В.І.Слинька засвідчую

доктор фізико-математичних наук,

вчений секретар

Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України



О.П. Жук