

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Пославського Сергія Юрійовича «Критерії стійкості нелінійних механічних систем з запізненням», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук зі спеціальності 01.02.01 – теоретична механіка.

Дисертаційна робота Пославського С.Ю. присвячена дослідженню нелінійних механічних систем, руху яких характерна післядія. Рух таких систем здійснюється під впливом не лише інформації про нинішнє положення системи, але і інформації про деякі її положення у минулому. Математичними моделями систем з післядією є диференціальні рівняння з запізненням. Явище післядії є універсальним та характерне для ряду природних процесів. Про нього можна говорити в усіх випадках, як тільки стає відомо, що інформація про стан системи характеризується хоча б найменшою затримкою, перш ніж вплинути на рух системи, що є характерним для випадків, коли методам передачі цієї інформації в силу особливостей та громиздкості системи не властива миттєвість.

Систематичне вивчення динамічних властивостей систем диференціальних рівнянь з запізненням проводиться, починаючи з п'ятидесятих років двадцятого століття. Основоположниками даного напрямку дослідження є такі дослідники як Шиманов С.Н., Разуміхін Б.С., Красовський Н.Н., Пінні Е., Мишкіс А.Д., Белман Р., Крейн М.Г. та ряд інших дослідників. У роботах деяких дослідників в дослідження задачі стійкості цих систем використовується методи функцій чи функціоналів Ляпунова, які є своєрідним узагальненням прямого методу Ляпунова, що використовується при дослідженні стійкості звичайних диференціальних рівнянь. Інші підходи базуються на дослідженні властивостей операторів еволюції даної системи. Такі підходи часто зводять питання про стійкість системи до питання дослідження розв'язків певного квазіполіному – поліному, коефіцієнтами якого можуть виступати поліноми відносно експоненціальної функції невідомого. Такі підходи у ряді випадків

дозволяють отримати необхідні і достатні умови стійкості, що є однією із головних їх переваг, порівняно з методами порівняння. Крім того, вони характеризуються зручністю при дослідженні такого актуального аспекту теорії стійкості як згасання розв'язків, вираженої у вигляді їх експоненціальної оцінки. Таким чином, дані методи дослідження мають великий потенціал у дослідженні якісної поведінки диференціальних систем даного класу.

Непростою є проблема чисельного дослідження стійкості у системах великої розмірності, що зазвичай зводиться до пошуку власних значень та власних векторів у величезних матрицях. Ці проблеми завантажують суперкомп'ютери дослідницьких центрів світу тижнями та місяцями роботи.

Для ряду механічних систем характерною є можливість структурних збурень, з-поміж відомих дослідників якої можна навести Груїча Л.Т., Мартинюка А.А. та ін. Для таких систем характерна можливість зміни характеру їх поведінки, що описується у вигляді правих частин системи, що у будь-який момент часу вибираються із заданого набору. Системи з переключенням є частинним випадком цих систем.

Актуальною є задача про стійкість перевернутого маятника на візку, що моделює ряд реально існуючих механічних систем у галузі робототехніки, космічній галузі та ін.

В рамках досліджень явищ вібрації, що виникають під час фрезерної обробки металевих листів, актуальною є проблема теоретичного пояснення спостережуваних явищ з метою оптимізації виробничого процесу.

Перераховані вище питання досліджені у даній дисертаційній роботі, що зумовлює актуальність обраної теми дослідження.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури зі 117 найменувань. У вступі визначено актуальність проблеми, наведено зв'язок з науковими темами, зазначено мету та задачі дослідження, наукова новизна, практичне застосування та апробація роботи.

У першому розділі наведено огляд наукових робіт, присвячених системам диференціальних рівнянь з запізненням та стійкості їх розв'язків, розглянуто поняття абсолютної стійкості та переключень.

У другому розділі наведено означення деяких ключових понять. На основі оцінок оператора еволюції для класу диференціальних рівнянь з заданою нестационарною лінійною частиною та нелінійним збуренням зі змінним запізненням одержано оцінки максимального показнику Ляпунова зверху та знизу. Досліджено випадки з можливістю точного знаходження показнику Ляпунова. Побудовано підхід у методах числових розрахунків, що може бути ефективно застосований до систем великої розмірності.

У третьому розділі розглянуто спеціальний клас систем, що містять змінне та розподілене запізнення у лінійній частині, а також змінне запізнення у нелінійній частині. Для цього класу систем, а також для ряду інших спеціальних класів систем з чистим змінним запізненням знайдено верхні оцінки максимального показника Ляпунова, а для деяких з них і нижні. Розглянуто випадки точного знаходження цього показника. У тому числі розглянуто питання абсолютної стійкості для класу систем з запізненням, що містять переключення.

Побудовано чисельні розрахунки, що демонструють отримані результати.

Четвертий розділ присвячений застосуванню отриманих у попередніх розділах результатів у дослідженні стійкості механічних систем з післядією. На основі цих методів досліджено модель переверненого маятника на візку, а також моделі вертикальної фрезерної обробки з різною кількістю ступенів вільності. Проведено порівняння отриманих результатів з проведеним раніше експериментом.

Огляд основних результатів дисертаційної роботи:

1. На основі ідеї монографії Далецького та Крейна розроблено підходи до дослідження абсолютної стійкості та асимптотичних властивостей ряду класів систем, що містять запізнення. Ці підходи зводять задачу дослідження

системи до задачі дослідження дійсних нулів квазіполіномів, істотною особливістю яких є наявність у них єдиного розв'язку, що допускає просту локалізацію, а отже і швидкий чисельний пошук. Відомо, що квазіполіноми, взагалі кажучи, мають нескінченну кількість нулів на комплексній площині, а отже їх чисельний аналіз нашоується на ряд принципових обмежень у застосуванні і потребує тонших підходів у дослідженні.

2. Розглянуто такі актуальні задачі механіки як коливання перевернутого маятника на рухомій основі та стійкість у процесах фрезерною обробки. Встановлено відповідність між отриманими теоретичними результатами стійкості цих систем та відомими результатами експериментальних досліджень цих систем.

3. Запропоновано підхід до чисельного розрахунку показників Ляпунова, що може мати потенціал до застосування у системах величезної розмірності.

Зауваження та побажання до роботи:

1. Недостатнє порівняння ефективності чисельного підходу до знаходження оцінок показника Ляпунова з уже відомими методами, не зважаючи на те, що цей результат згаданий у висновках дисертації. Формулювання щодо методу, «вычислительная сложность которого практически не зависит от порядка системы», яке наведене у висновках дисертації, і фігурує у такому ж вигляді у тексті дисертації (див., наприклад, с. 33, 36, 45, 78), – недостатньо чітко та детальніше не коментується.

2. Є деякі недоліки у оформленні, стильові недоліки та друкарські помилки. Наприклад, на с. 44 відсутній відступ пункту 3.1.5 дисертації від тексту, що йому передує. Дивно виглядає речення «Уравнения содержат заданные линейные члены с запаздыванием и распределенным запаздыванием, нелинейные функции ограниченные по норме и содержащие запаздывание», що починається на с. 49.

Вищезгадані недоліки та побажання не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Дисертація Пославського С.Ю. містить нові та актуальні результати з якісної теорії систем диференціальних рівнянь з

запізненням, ефективність яких продемонстрована на розглянутих прикладах задач механіки. Дисертація добре проілюстрована та містить чимало порівнянь отриманих результатів з результатами, відомими раніше. Все це покращує легкість сприйняття змісту проведеної роботи. Основні результати дисертації опубліковано у 12 наукових роботах, 6 з яких – це статті у спеціалізованих фахових виданнях за спеціальністю 01.02.01 – теоретична механіка.

Автореферат дисертації у достатній мірі відображає зміст роботи.

Вважаю, що робота Пославського С.Ю. «Критерії стійкості нелінійних механічних систем з запізненням», представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук, відповідає всім вимогам чинного «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року, а її автор, Пославський С.Ю., заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Молодший науковий співробітник  
відділу стійкості процесів  
Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України  
кандидат фізико-математичних наук

Іванов І.Л.

*Підпис Іванова І.Л. за свідченням  
вченого секретаря Інституту механіки  
ім. С.П. Тимошенка НАН України  
д.ф.-м.н. О.П. Жура*

