

Відгук офіційного опонента на дисертацію Святовець Ірини Федорівни «Дослідження керованих гіроскопічних майже консервативних систем», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 — «теоретична механіка»

У дисертаційній роботі І.Ф. Святовець досліджено задачі синтезу функцій керування зі зворотним зв'язком та аналізу умов стійкості руху для класу гіроскопічних механічних систем, що описуються лінійними диференціальними рівняннями. Актуальність обраної тематики зумовлена широким застосуванням гіроскопічних приладів у сучасній техніці та низкою відкритих проблем математичної теорії керування. Цей напрям є природним продовженням досліджень з теорії гіроскопічних систем наукової школи В.М. Кошлякова, а також наукових шкіл Д.Р. Меркіна, В.В. Румянцева, П.В. Харламова, Ф.Л. Черноуська та ін. Методика дисертаційного дослідження щодо розв'язання проблем стабілізації руху та оптимального керування гіроскопічними системами ґрунтується на застосуванні матричних рівнянь Ляпунова та Ріккаті. Цьому актуальному напрямку математичної теорії керування присвячено ряд сучасних монографій: Abou-Kandil H., Freiling G., Ionescu V., Jank, G. *Matrix Riccati equations in control and systems theory*. - Birkhäuser, 2012; Benner P., Cohen A., Ohlberger M., Willcox, K. (Eds.) *Model Reduction and Approximation: Theory and Algorithms*. - SIAM, 2017.

Дисертація (загальним обсягом 140 сторінок) містить вступ, чотири розділи, висновки та список використаних джерел. У першому розділі подано літературний огляд відомих результатів, а також перелічено задачі для розв'язання у подальших розділах роботи. Основними об'єктами дослідження у дисертації є лінійні автономні системи, матриці яких є збуреннями невивіржених кососиметричних матриць. Варто підкреслити зв'язок цих систем з теорією стискаючих напівгруп лінійних операторів, що породжуються дисипативними операторами в абстрактних просторах, та теорією збурень. У першому розділі також наведено класифікацію окремих прикладів досліджуваних систем.

Основні результати дисертації, що виносяться на захист, викладено у розділах 2-4. Розділ 2 складає центральну частину роботи та містить загальні теоретичні результати щодо побудови лінійних функцій зворотного зв'язку для забезпечення асимптотичної стійкості стану рівноваги досліджуваних систем, а також обчислення оптимальних керувань у задачі про лінійний регулятор. Основні теореми розділу одержано шляхом вдалого застосування аналітичних

методів, що ґрунтуються на асимптотичних розкладах розв'язку матричного рівняння Ріккати за малим параметром. Для зручного зображення результатів у цьому розділі також застосовано асимптотичні розклади відповідних обернених матриць.

Розділ 3 суттєво ґрунтується на припущенні про повну керованість досліджуваної системи. При виконанні цього припущення запропоновано алгоритм обчислення функцій керування відповідно до бажаного розташування власних значень матриці замкненої системи. Зазначений алгоритм застосовано до лінеаризованої моделі керованого руху гіростабілізатора.

Розділ 4 присвячено мінімакській задачі оптимального керування для автономних систем, що знаходяться під дією керуючого впливу та зовнішніх збурень. Застосовано стандартну схему зведення задачі оптимального керування до параметричного матричного рівняння Ріккати та запропоновано нові конструктивні умови для оцінки параметра. Цей підхід застосовано до моделі стаціонарних обертань ротора та моделі двох зв'язаних осциляторів. Результати розділів 3-4 мають подальшу перспективу для застосувань при дослідженні задач керування рухом систем взаємодійних тіл в механіці та при створенні алгоритмічного забезпечення систем автоматичного керування сучасними технічними пристроями.

Дисертація Святовець Ірини Федорівни є завершеною працею, в якій одержано нові науково обґрунтовані результати у галузі теоретичної механіки, що в сукупності вирішують задачу синтезу керувань зі зворотним зв'язком для класу гіроскопічних систем, які описуються лінійними диференціальними рівняннями зі збуреними кососиметричними матрицями. Ці результати є суттєвими для розвитку теорії керування рухом багатовимірних механічних систем.

Достовірність наукових положень і висновків дисертації ґрунтується на повних математичних доведеннях із застосуванням методів лінійної алгебри й аналізу. Основні результати дисертації достатньо повно відображено у публікаціях здобувача у наукових фахових виданнях, відповідно до всіх встановлених вимог МОН України. Зміст автореферату є ідентичним основним положенням дисертації.

Опонент має наступні зауваження щодо дисертації.

1. Використана автором термінологія “побудова майже консервативних систем” не є загальноприйнятною. Варто було б навести порівняння цієї термінології з класичним означенням консервативної системи [Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. 2-е изд. - М.:

- Наука, 1966; Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. - М.: Наука, 1971] та іншими означеннями майже консервативних систем [Nagaev R.F. General problem of synchronization in an almost conservative system // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. - 1965. - Vol. 29, no. 5. - P. 953-962; Swinnerton-Dyer H. P. F. The method of averaging for some almost-conservative differential equations // Journal of the London Mathematical Society. - 1980. - Vol. 2, no. 3. - P. 534-542].
2. Автор систематично використовує термін “асимптотично стійка система”. З математичної точки зору коректніше казати про асимптотично стійкий тривіальний розв'язок відповідної системи.
  3. Зауваження до формулювання Теорема 2.1 (с. 64-65) та Теорема 2.3 (с. 90): якщо вектори  $y_i^0$  є розв'язками відповідних лінійних алгебраїчних рівнянь, то нев'язки (2.139) дорівнюють нулю за визначенням. Якщо ж метод найменших квадратів застосовано до несумісних систем (2.138), то відповідні вектори  $y_i^0$  не можна називати розв'язками.
  4. Один з головних підходів дисертаційного дослідження полягає у зведенні матричних рівнянь Ляпунова та Ріккати з малим параметром до нескінченних систем алгебраїчних рівнянь подібного вигляду. Бажано було б проілюструвати ефективність цього підходу у порівнянні з відомими чисельними методами розв'язання вихідних параметричних рівнянь на модельному прикладі (на прикладі 2.7 тощо).
  5. Оскільки у розділі 4 досліджується мінімаксна задача оптимального керування, то до літературного огляду варто долучити наступні посилання, що мають відношення до обраної теми: Barry P. Optimal control with minimax cost // IEEE Trans. Autom. Control. - 1971. - Vol. AC-16, no. 4. - P. 354-357; Gonzalez R.L.V., Aragone L.S. A Bellman's equation for minimizing the maximum cost // Indian J. Pure and Appl. Mathemat. - 2000. - Vol. 31, no. 12. - P. 1621-1632; Burke J.V., Lewis A.S., Overton M.L. Optimal stability and eigenvalue multiplicity // Foundations of Computa. Mathemat. - 2001. - Vol. 1, no. 2. - P. 205-225.
  6. У тексті дисертації є друкарські помилки: “Руса-Гурвица” (с. 78); “максимізірующее” (с. 116).

Наведені вище зауваження не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи у цілому.

На основі вивчення дисертації та опублікованих праць І.Ф. Святовець вважаю, що робота «Дослідження керованих гіроскопічних майже консервативних систем» задовольняє всі вимоги МОН України щодо кандидатських дисертацій (відповідно до «Порядку присудження наукових ступенів», що затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, із подальшими змінами). Автор дисертації, Святовець Ірина Федорівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.01 — «теоретична механіка».

Завідувач відділу прикладної механіки  
Інституту прикладної математики і механіки  
НАН України,  
доктор фіз.-мат. наук, професор

О.Л. Зуєв

*Згідно Зуєва О.Л. завідувачу.  
Функцій секретар Інституту НАН України  
О.В. Несенюва*



*Надійшло до спеціалізованої  
вченої ради Канцелярії доб. 02 17.05.2018р.  
секретар ради Арт- / Артемченко М.Я.*

