

ВІДГУК

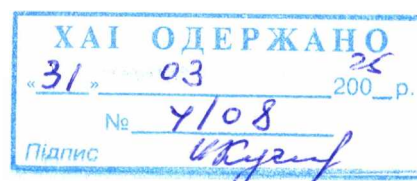
офіційного опонента на дисертаційну роботу Ніколаєва Олексія Дмитровича за темою: «Розвиток нелінійної та лінійної теорії поздовжньої стійкості рідинних ракет-носіїв з урахуванням нових уявлень про динамічні процеси в рідинних ракетних двигунних установках та корпусі ракети», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки

Актуальність теми дисертації

Проблема поздовжньої стійкості (POGO) у світовій науково-технічній літературі зазвичай визначається як резонансна взаємодія між модами коливань корпусу ракети-носія (РН) та модами коливань системи живлення рідинної двигунної установки (РРДУ). Однак причина поздовжніх коливань РН може бути пов'язана з більш складними механізмами, наприклад, з нестійкими динамічними процесами в системах сучасних двигунних установок.

Згідно з класичним механізмом POGO внаслідок того, що маса ракети-носія велика, розподіл маси і жорсткості РН вздовж її поздовжньої осі призводить до реалізації в польоті відносно низьких значень частот коливань поздовжніх мод корпусу РН. При поступовому вигорянні палива в польоті РН швидко втрачає масу при дуже невеликих змінах жорсткості корпусу ракети-носія. Зазвичай це призводить до суттєвого збільшення основних частот поздовжніх мод коливань корпусу ракети. З цієї причини явище POGO зазвичай може статися протягом відносно малого інтервалу часу польоту (при роботі РРДУ першого ступеня), але може завдати шкоди корисному навантаженню або конструкції РРДУ в залежності від поточних величин статичного прискорення РН, досягнутих під час резонансної взаємодії.

Складність та висока вартість відтворення польотних ситуацій у наземних умовах висувають високі вимоги до точності теоретичних методів математичного опису POGO коливань як для окремих складових елементів контуру поздовжніх коливань, так і динамічної взаємодії РРДУ та корпусу РН загалом. Розробка ефективних методів розрахунку динамічного навантаження конструкцій РН, а також розмахів низькочастотних коливань робочих параметрів систем та агрегатів рідинного ракетного двигуна з метою прогнозування рівня їх коливань при



проектуванні сучасних конструкцій рідинних РН дотепер не вирішено через складність системного моделювання нелінійної взаємодії РРДУ та конструкції РН.

Зазначені обставини свідчать про актуальність проблеми, що розглядається в дисертації.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Завдання математичного моделювання нелінійної взаємодії РРДУ і конструкції ракети-носія, на мій погляд, сформульовані і поставлені коректно.

Основні положення та висновки базуються на завданнях, результати яких підтверджені даними численних досліджень динаміки РРДУ при їх вогневих випробуваннях на Землі, експериментальними даними льотних випробувань українських рідинних ракет, експериментальними даними випробувань конструкцій фізичних моделей ракет та їх окремих ступенів з паливом при їх динамічному збуренні.

У окремих випадках автор дисертації спирається також на порівняння результатів своїх досліджень з відомими у літературі результатами.

Результати дослідження пройшли апробацію на Міжнародних та Всеукраїнських наукових конференціях, семінарах різних рівнів, а також апробацію у наукових публікаціях високого рівня.

Тому вважаю, що наукові положення, висновки та рекомендації, представлені в дисертаційній роботі, є обґрунтованими та достовірними.

Наукова новизна дисертаційної роботи і загальнонаціональне або світове значення.

До загальнонаціонального чи світового значення результатів представленої дисертаційної роботи слід віднести таке.

1. Вперше розроблено науково-методичне забезпечення для вирішення нелінійної проблеми прогнозування рівня динамічних складових робочих параметрів РРДУ при повздовжній нестійкості РН.

2. На основі результатів моделювання нелінійної динамічної системи «РРДУ – корпус РН» отримано нові уявлення про взаємодію низькочастотних автоколиваль у РРДУ та корпусі РН. Зокрема, показано, що при розвинених кавітаційних коливаннях

з частотою внаслідок конкуренції мод реалізується один автоколивальний режим – або режим з підвищеним рівнем амплітуд коливань корпусу РН, або режим з «пригніченням» поздовжніх коливань корпусу РН.

Вперше на підставі дослідження низькочастотних процесів у РРД з допалюванням окислювального генераторного газу теоретично передбачено нестійкість ракетного двигуна, зумовлену низькочастотною динамікою контуру «турбонасосний агрегат – газогенератор». Цей вид нестійкості РРД експериментально було виявлено та підтверджено через кілька років при вогневих випробуваннях РРД на режимах глибокого дроселювання до 30% за тягою.

3. В рамках моделі в'язкого тертя, що використовується при математичному моделюванні пружних коливань корпусу рідинної РН, узагальнено експериментальні значення коефіцієнтів демпфування коливань несучих конструкцій рідинних РН та конструктивно подібних моделей рідинних ракет з рідким паливом в баках в залежності від амплітуд коливань та рівня вмісту баків.

4. Вперше на основі математичного моделювання динамічних процесів у РРДУ досліджено динамічну стійкість системи живлення РРДУ космічного ступеня РН з мембранним поділом кріогенних рідин у паливному відсіку коаксіального типу та розроблено рекомендації щодо забезпечення стійкості космічного ступеня.

5. Вперше розвинуто методику для дослідження працездатності пристроїв забезпечення суцільності компонентів палива в РРДУ, в якій враховано вплив частот та амплітуд домінуючих просторових вібрацій РН та динамічних процесів у системах живлення РРДУ космічних ступенів РН на ділянках їх активного та пасивного польоту.

Теоретичне і практичне значення отриманих результатів

Розроблене Ніколаєвим О.Д. науково-методичне забезпечення для чисельного моделювання ПОГО коливань з аналізом динамічних процесів у РРД, використано у ДП «КБ «Південне» (є акт впровадження).

Положення та висновки дисертаційного дослідження сприяли успішному виконанню робіт із забезпечення поздовжньої стійкості вітчизняних ракет-носіїв тандемної схеми компонування «Циклон-4», «Циклон-4М», РКП «Маяк-ЛЗ.0» та РКП

«Маяк-ТЗ.0» пакетної схеми компонування; американської РН «Антарес», південнокорейської РН «KSLV-2 (Nuri)», а також аналізу динамічних процесів та визначення працездатності систем живлення РРДУ верхнього ступеня РН «Циклон-4М» на різних етапах польоту.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання їх у проєктних організаціях ракетно-космічної техніки для розрахунків та проєктування сучасних конструкцій РРДУ.

Повнота викладу наукових положень, висновків, результатів і рекомендацій в опублікованих роботах.

Тема дисертації висвітлена у 56 наукових статтях в фахових виданнях за переліком МОН України (включених до категорій «А», «Б»), з них 30 праць – у наукових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз (у тому числі 11 – у Web of Science і Scopus (3 публікації у виданнях Q1 і Q2)). Крім того, 8 праць додатково відображають результати дисертації, у тому числі результати, що захищені 6 патентами України та авторськими свідоцтвами; 10 праць засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Основні положення та результати наукових досліджень дисертаційної роботи О. Д. Ніколаєва у достатній кількості доповідались та обговорювались на наукових конференціях світового, європейського та українського значення.

Представлені публікації в повній мірі відображають основні положення та результати дисертаційної роботи. Реферат повністю відповідає змісту дисертації.

Відсутність (наявність) академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації

Порівняльний аналіз змісту та висновків дисертаційної роботи зі змістом досліджень на тему РОГО коливачів рідинних ракет, надає змогу зробити висновок, що дисертаційна робота Ніколаєва Олексія Дмитровича є результатом оригінальних самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 340 сторінок, з

яких вступ – на 11 сторінках, зміст – на 4 сторінках, перелік умовних позначень – на 1 сторінці, основний текст – на 300 сторінках, список використаних джерел – на 24 сторінках (із 230 найменувань). Робота містить 8 таблиць та 126 рисунків по тексту.

В **анотації** наведено загальну характеристику роботи і список опублікованих праць за темою дисертації.

У **вступі** сформульована наукова проблема, яка вирішена, обґрунтовано вибір теми дисертації і її актуальність, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи наукового дослідження. Викладено наукову новизну, теоретичне і практичне значення результатів дослідження, наведені відомості про особистий внесок здобувача, про апробацію і публікації результатів дисертаційної роботи, зв'язок роботи з науковими темами ІТМ НАНУ і ДКАУ та також з державними контрактами, укладеними між ДП «КБ «Південне» та ІТМ НАНУ і ДКАУ.

У **першому** розділі наведено огляд наукових праць в області РОГО коливань рідинних ракет та виконано аналіз сучасного стану проблеми забезпечення динамічної стійкості рідинних ракетних двигунів до загальнодвигунних самозбурених низькочастотних коливань при поздовжніх коливаннях РН. Визначено, що перспективними напрямками розвитку нелінійної теорії поздовжньої стійкості рідинних ракет-носіїв є вирішення проблеми прогнозування рівня поздовжніх віброприскорень та динамічної навантаженості рідинної РН.

У **другому** розділі обґрунтовано вибір напрямку досліджень – розвиток підходу до математичного моделювання нелінійної взаємодії низькочастотних процесів у двигунній установці та поздовжніх коливань корпусу рідинної ракети. Розвиток підходу забезпечується врахуванням нелінійного характеру робочих процесів у РРДУ, нелінійної взаємодії власних форм пружних просторових коливань корпусу рідинної РН із динамічними процесами в РРДУ та нелінійних залежностей дисипативних втрат корпусу РН від амплітуд коливань.

Проведено чисельне дослідження нелінійної динамічної взаємодії маршової РРДУ та корпусу РН. Розроблений підхід до теоретичного прогнозування коливань параметрів РРДУ та поздовжніх віброприскорень рідинних РН протестовано (з використанням результатів експериментальних даних) на прототипах двоступеневих

РН «Циклон» і РН «Дніпро», двоступеневої РН масою 165 тон (за конструктивними параметрами близькою до РКП у проєкті «Маяк –СЗ.9»), а також триступеневої РН «Циклон-4».

У **третьому** розділі методи аналізу загальнодвигунних низькочастотних коливань робочих параметрів РРД набули розвитку в частині: чисельного визначення граничних значень амплітуд поздовжніх коливань рідинної ракети в рамках методу гармонічної лінеаризації з використанням інформації про власні числа та власні вектори матриці коефіцієнтів лінійної системи «РРДУ – корпус РН»; аналізу коннективної стійкості РРД з окислювальною схемою допалювання генераторного газу; аналізу просторових коливань корпусу РН пакетної схеми компонування.

У **четвертому** розділі на основі результатів чисельного аналізу нелінійної взаємодії систем РРДУ та корпусу ракети досліджено нові динамічні процеси та явища, що визначаються специфікою їх реалізації у динамічній системі «рідинна двигунна установка – корпус ракети»

П'ятий розділ присвячено дослідженню стійкості та динамічної навантаженості верхніх ступенів рідинних ракет-носіїв з урахуванням особливостей їх конструкції та динамічної взаємодії з РРДУ на активній частині їх польоту.

У **шостому** розділі отримала розвиток методика для дослідження працездатності пристроїв забезпечення суцільності компонентів палива в РРДУ, в якій враховано вплив частот та амплітуд домінуючих просторових вібрацій РН та динамічних процесів у системах живлення РРДУ космічних ступенів РН на ділянках їх активного та пасивного польоту.

У **висновках** наведені підсумки досліджень і вказані основні результати.

У **додатках** наведено Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у ДП «КБ «Південне» та Диплом Президії Національної академії наук України про присудження автору премії Академії наук України ім. академіка М.К. Янгеля.

Дискусійні положення дисертаційної роботи та зауваження.

1. На рисунку 3.13 розділу 3 дисертації представлено годограф частотної характеристики розімкнутої системи «центральный блок конструкції корпусу РН – маршова РРДУ центрального блоку» для РН пакетної схеми компонування». Згідно з

класичним формулюванням критерію Найквіста – «якщо розімкнена система з передатною функцією стійка, замкнута система є стійкою, якщо АФЧХ розімкнутої системи не охоплює точку $(-1; j0)$ ». Не пояснено, чому у дисертації розглядається точка охоплення АФЧХ $(1; j0)$ на комплексній площині та робиться висновок, що в цьому випадку можуть розвиватися РОГО коливання.

2. В рамках лінійної моделі системи «конструкція корпусу РН – рідке паливо» ракети-носія «Циклон» проведено дослідження впливу демпфування складових елементів на форми та частоти коливань пов'язаної лінійної системи «конструкція корпусу РН – рідке паливо». Вважаю, що цей підрозділ був би більш цікавим як аналіз нелінійних форм коливань динамічної взаємодії РРДУ та корпусу ракети.

3. У дисертації не надано порівняння результатів аналізу амплітуд коливань для варіанта 2-х ступеневої ракети та 3-х ступеневої ракети «Циклон», що продемонструвало б вплив встановлення 3-го ступеня на параметри РОГО коливань.

4. Деякі скорочені позначення в тексті певним чином ускладнюють його читання.

Проте всі зауваження, з яких третє і четверте більше відносяться до побажань, не знижують наукової цінності і **не впливають на позитивну оцінку** дисертаційної роботи Ніколаєва Олексія Дмитровича, яку виконано на високому науковому рівні.

Висновок.

У цілому дисертація Ніколаєва О.Д. «Розвиток нелінійної та лінійної теорії поздовжньої стійкості рідинних ракет-носіїв з урахуванням нових уявлень про динамічні процеси в РРДУ та корпусі ракети» є завершеною науковою працею, виконаною на високому рівні, містить нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності є суттєвими для проєктування ракет-носіїв.

Вважаю, що дисертаційна робота «Розвиток нелінійної та лінійної теорії поздовжньої стійкості рідинних ракет-носіїв з урахуванням нових уявлень про динамічні процеси в рідинних ракетних двигунних установках та корпусі ракети» відповідає всім вимогам постанови Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197 «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», а

її автор Ніколаєв Олексій Дмитрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор, професор кафедри
ракетно-космічних та інноваційних технологій

Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара

д-р техн. наук. за спеціальністю

05.07.05 – теплові двигуни літальних апаратів



Володимир ГАБРИНЕЦЬ

25.03.2025

Підпис Володимира ГАБРИНЦЯ завіряю:

