

Голові разової спеціалізованої вченої
ради Національного університету
кораблебудування
імені адмірала Макарова,
доктору технічних наук, доценту
Митрофанову О.С.

ВІДГУК

**д-ра технічних наук, професора
Варбанця Романа Анатолійовича**

**на дисертаційну роботу Діасамідзе Бадрі Тенгізовича
«Підвищення ефективності двопаливних камер згоряння газотурбінних
двигунів використанням плазмохімічних елементів»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування,
галузь знань 14 – Електрична інженерія**

1. Актуальність тематики

Застосування двопаливних газотурбінних двигунів - один із перспективних напрямків підвищення ефективності й надійності енергетичних модулів. Сучасні тенденції у розвитку ГТД супроводжуються значним зростанням навантажень на елементи їх конструкцій, а це призводить до виникнення ряду проблем при експлуатації. Однією з таких проблем є необхідність одночасного використання різних сортів палив (в тому числі рідких та газоподібних) без заміни пальникових пристроїв камер згоряння при переході з одного сорту палива на інший на працюючому двигуні. Замовники енергетичних систем вимагають забезпечення низьких викидів токсичних компонентів при різних режимах експлуатації, що достатньо складно, бо механізми горіння різнорідних за фазами палив суттєво відрізняються. У поданій дисертаційній роботі здобувачем вирішується актуальне науково-прикладне завдання, а саме підвищення ефективності двопаливних камер згоряння ГТД використанням плазмохімічних систем інтенсифікації горіння. Це дозволить значно зменшити викиди основних токсичних компонентів і підвищити конкурентоздатність вітчизняних ГТД і установок на їх базі.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності двопаливних низькоемісійних камер згоряння ГТД шляхом використання низькотемпературної повітряної плазми для активації паливно-повітряних сумішей.

2. Структура, обсяг та зміст дисертації

Дисертація має класичну структуру та складається зі вступу, 5 розділів,

висновків, списку використаних джерел та додатків. Список використаних джерел налічує 118 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 184 сторінки. Робота ілюстрована 85 рисунками і має 11 таблиць.

За структурою та обсягом дисертація відповідає вимогам МОН України.

У **вступі** наведено обґрунтування актуальності обраної теми, сформульовано мету, визначено предмет й об'єкт та основні задачі, показано її зв'язок з науковими програмами й темами, сформульовано об'єкт і предмет дослідження, мету та головні задачі, представлено методи дослідження та обґрунтування достовірності отриманих результатів, визначено наукову новизну та практичне значення результатів роботи, відображено повноту викладення результатів у публікаціях та ступінь апробації на конференціях.

У **першому розділі** виконано аналіз шляхів підвищення ефективності організації робочого процесу в двопаливних камерах згоряння ГТД. Основну увагу приділено перспективним принципам організації робочого процесу в камерах та пов'язаним із цим конструктивним виконанням камер згоряння світових та вітчизняних виробників. Також розглянуто питання особливостей функціонування плазмохімічних систем та хімічної активації різних за фазовим станом палив. Виконано аналіз різних конструктивних типів камер згоряння, що працюють на газоподібному та рідкому дистильованому паливах. Обґрунтований аналіз методів інтенсифікації горіння вуглеводневих палив показав актуальність використання плазмової активації як одного з перспективних напрямків підвищення ефективності й надійності двопаливних енергетичних модулів.

У **другому розділі** представлено загальну методологію та технологічну схему наукового дослідження. Засобами реалізації дослідження стали теоретичні та експериментальні методи. Відповідно до загальної методики обґрунтовано напрямки проведення експериментальних робіт, сформульовано основні вимоги до математичної моделі робочого процесу двопаливної камери згоряння.

У **третьому розділі** розроблено математичну модель плазмової активації горіння рідких та газоподібних палив в двопаливній камері згоряння ГТД. Проведено верифікацію запропонованої математичної моделі. Приведені аргументи на користь вибору тривимірної моделі континуального типу, яка здатна прогнозувати основні процеси в камерах згоряння при використанні різних за фазовим станом палив.

У **четвертому розділі** представлено результати теоретичних досліджень характеристик двопаливної газотурбінної камери згоряння, що працює на газоподібному та рідкому паливах. Проведено тривимірні розрахунки аеродинамічної структури потоку в двопаливній низькоемісійній камері згоряння ГТД при: роботі на газоподібному та рідкому паливах як при одночасному, так і при роздільному підводі для різних варіантів подачі рідкого палива в камеру.

Отримано розподіли температур та концентрацій токсичних компонентів на виході камери згоряння при одночасній роботі низькоемісійної камери на рідкому і газоподібному паливах при різних співвідношеннях їх витрат через канали радіально-осьових завихрювачів

жарової труби. Виявлено основні особливості формуванні зон зворотних течій в жаровій трубі камери згоряння на режимах холодної продувки і при підведенні пального.

У п'ятому розділі виконано дослідження перспективного слабкострумowego генератора низькотемпературної плазми, призначеного для активації горіння газоподібних і рідких вуглеводневих палив в камерах згоряння транспортних і стаціонарних газотурбінних двигунів. Розроблена конструктивна схема генератора низькотемпературної повітряної плазми з покращеними енергетичними характеристиками, призначеного для роботи в складі двопаливної камери згоряння. Проведено експериментальні дослідження енергетичних характеристик генератора повітряної плазми без подачі та з подачею розпилюючого повітря і води, що імітує рідке паливо. Визначено діапазон сталої роботи плазмотрону постійного току.

Проведено теоретичні дослідження впливу низькотемпературної повітряної плазми на процеси в двопаливній камері згоряння ГТД

Наведено результати реалізації дослідження в практику проектування та створення конкурентних ГТД. Виявлено інтенсифікуючий вплив плазмохімічних продуктів на ефективність процесів горіння. Отримані результати математичного моделювання показали, що добавка плазмохімічних продуктів забезпечує значне зменшення концентрацій монооксиду вуглецю СО в вихідному перерізі жарової труби: з 25-28 до 3,9-4,6 ppm.

Розроблено практичні рекомендації щодо використання плазмохімічних елементів в двопаливних низькоемісійних камерах згоряння ГТД ДН-80 виробництва ДП НВКГ “Зоря”-”Машпроект” (м. Миколаїв).

У загальних **висновках** сформульовані основні результати дисертації.

3. Наукова новизна результатів роботи

Науковою новизною в роботі слід вважати:

Вперше:

1. Обґрунтовано інтенсифікуючий вплив низькотемпературної повітряної плазми на робочий процес двопаливної камери згоряння ГТД з попереднім сумішоутворенням.

2. Доведено можливість підвищення ефективності процесів одночасного горіння газоподібного і рідкого палива в камері згоряння ГТД з попереднім утворенням паливно-повітряної суміші шляхом плазмохімічного впливу струмин повітряної низькотемпературної плазми.

3. Визначено енергетичні характеристики слабкострумowego плазмового повітряного генератора низькотемпературної плазми, призначеного для роботи в складі двопаливних камер згоряння.

Вдосконалено:

1. Метод прогнозування процесів вигорання різних за фізичним станом вуглеводневих палив в низькоемісійних камерах згоряння ГТД, заснований на числовому моделюванні їх характеристик на основі концепції дисипації вихорів.

2. Підхід до моделювання впливу продуктів плазмохімічного елемента на процеси поширення полум'я в паливоспалюючих пристроях, заснований на врахуванні зменшення енергії активації при додаванні плазмохімічних продуктів.

4. Повнота викладення результатів та особистий внесок автора

Основні положення дисертації та результати досліджень відображено в 17 друкованих наукових працях, з них 5 основних публікацій, у тому числі 3 у наукових фахових виданнях України (з них 1 без співавторів) та 2 публікації в іноземних фахових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science (квартиль Q2); 12 матеріалів доповідей на міжнародних конференціях (з них 2 без співавторів).

Результати роботи доповідалися й обговорювалися на науково-практичних семінарах кафедри і отримали позитивні відгуки на: X–XII Міжнародних науково-технічних конференціях «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (Миколаїв, 2019–2021), V–VI Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасний стан та проблеми двигунобудування» (Миколаїв, 2018, 2020), IX Міжнародній науково-технічній конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми» (Миколаїв, 2019), VI Міжнародній науково-технічній конференції «Актуальні проблеми інженерної механіки та технології машинобудування» (Миколаїв, 2020), XI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування» (Херсон, 2020), III Міжнародній науково-практичній морській конференції кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету MPP&O-2021 (Одеса 2021).

Результати досліджень викладені у дисертації повно, у логічній послідовності. Є необхідні посилання на літературні джерела.

5. Достовірність та обґрунтованість результатів роботи

Достовірність результатів досліджень забезпечується застосуванням сучасних розрахункових методів і засобів, адекватністю прийнятих допущень математичної моделі й реальних процесів горіння вуглеводневих палив, задовільним узгодженням результатів розрахунків з даними інших авторів, логікою отриманих результатів. Це дає підставу вважати наукові положення добре обґрунтованими, а отримані в роботі результати, висновки і рекомендації - достовірними.

6. Практична значимість результатів роботи

Автор розробив практичні рекомендації з використання двопаливних камер згоряння в енергетиці, на підставі яких розробив конструктивну схему двопаливної низькоемісійної камери згоряння ГТД потужністю 25 МВт. Відмітимо, що в теперішній час газотурбінні двигуни і установки на їх основі часто використовуються як суднові енергетичні установки для суден типу

FPSO (Floating production storage and offloading). Використання двопаливних ГТД з огляду призначення такого судна є одним із можливих напрямків підвищення маневреності та надійності енергетичної установки, наприклад, при зміні основного виду палива під час експлуатації. Тому питання підвищення ефективності енергоустановок суден FPSO є актуальним для морської, газової та нафтової промисловості, а використання двопаливних низькоемісійних двигунів – необхідною умовою проектування сучасних енергетичних модулів плавучих об'єктів нафтогазовидобутку.

Результати дисертаційного дослідження впроваджено при проектуванні конкурентоздатних вітчизняних газотурбінних установок з метою їх подальшого використання в якості мобільних засобів комплексного та швидкого забезпечення енергією об'єктів морської інфраструктури (ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» державного концерну «Укроборонпром», м. Миколаїв), при аналізі схемних рішень перспективних судових ГТД та виконанні проектних розробок концептуальних суден (“Zaliv Ship Design”, м. Миколаїв), в навчальному процесі Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

7. Оформлення дисертації

Дисертація оформлена якісно, із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій. Оформлення відповідає діючим вимогам та стандартам. Зміст роботи викладений грамотною технічною мовою із застосуванням коректної термінології. Зауваження до оформлення відсутні.

8. Дискусійні положення та зауваження щодо дисертації

До дисертаційної роботи виникли наступні зауваження:

1. Бажано більш детально окреслити проблеми, що виникають при експлуатації сучасних двопаливних газотурбінних двигунів.

2. На рис. 2 дисертації показана фотографія експериментальної установки. Хотілось би для більшої наочності, щоб на ній були указані основні елементи.

3. При аналізі процесів горіння рідкого палива автор прийняв допущення про сферичність крапель, що розпилюються форсунками. В дійсності форма крапель може відрізнитися від сферичної. Неясно, як це буде впливати на результати розрахунків.

4. Потребує пояснень, як детальний хімічний механізм окиснення вуглеводнів (табл. 3.2 дисертації) враховано при проведенні тривимірних розрахунків.

5. В дисертації відсутні дані про ресурс слабкострумівих плазмотронів, які використано при конструювання плазмохімічного елемента.

Відмічу, що зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

9. Загальна оцінка дисертаційної роботи та висновки

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної задачі, пов'язаної з підвищенням ефективності робочих процесів у камерах згоряння газотурбінних двигунів. Дисертація є завершеною науковою працею, яка виконана методологічно вірно з використанням сучасних теоретичних та експериментальних методів досліджень, містить нові наукові результати, а поставлені задачі виконано в повному обсязі.

Винесені на захист результати дисертації повністю пройшли апробацію. Основні положення та результати досліджень відображено в 17 друкованих наукових працях, з них 5 основних публікацій, у тому числі 3 у наукових фахових виданнях України (з них 1 без співавторів) та 2 публікації в іноземних фахових виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science (квартиль Q2); 12 матеріалів доповідей на міжнародних конференціях (з них 2 без співавторів).

Приведені зауваження ніяким чином не впливають на позитивну оцінку представленої дисертаційної роботи. Вважаю що в цілому дисертаційна робота Діасамідзе Бадрі Тенгізовича відповідає національним вимогам МОН до наукових кваліфікаційних праць, а сам автор заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування, галузь знань 14 – Електрична інженерія.

Офіційний опонент,
д-р техн. наук, професор,
завідувач кафедри суднових енергетичних
установок та технічної експлуатації
Одеського національного
морського університету

Роман ВАРБАНЕЦЬ

Підпис підтверджує
Рек. ВР І кат. ОМІ ВАСИЛЬЧЕНКО

