

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

ВІДГУК

д-ра техн. наук, професора Білоусова Євгена Вікторовича
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

Актуальність дисертації. Дисертаційну роботу Б.Т. Діасамідзе «Підвищення ефективності двопаливних камер згоряння газотурбінних двигунів використанням плазмохімічних елементів» присвячено поліпшенню експлуатаційних якостей двопаливних низькоемісійних камер згоряння ГТД шляхом використання низькотемпературної повітряної плазми для активації паливно-повітряних сумішей. Досліджувана тема актуальна тому, що використання двопаливних газотурбінних двигунів – один з перспективних шляхів модернізації енергетики України, Причому, слід відмітити, що цей шлях можливо реалізувати за рахунок модифікації та нових розробок вітчизняних газотурбінних модулів, наприклад, виробництва НВКГ “Зоря”-”Машпроект” (м. Миколаїв).

Оформлення дисертації. Дисертацію написано українською мовою та оформлено відповідно всім нормам чинного законодавства. Дисертація складається зі вступу, п’ятих розділів, загальних висновків, списку використаної літератури, додатків та має загальний об’єм 184 сторінки. Список використаної літератури налічує 118 найменувань.

Повнота викладення основних результатів дослідження. Результати дисертаційної роботи висвітлено у 17 друкованих наукових працях, 5 з яких є основними публікаціями, з них 3 у наукових фахових виданнях України, у тому числі 1 - без співавторів, 2 публікації в іноземних фахових виданнях, включених до

Міжнародних наукометричних баз, таких, як Scopus та Web of Science (квартиль Q2). Крім того, в переліку літератури відображено 12 матеріалів доповідей на міжнародних конференціях, з них 2 без співавторів. В опублікованих роботах повністю розкрито основний зміст та отримані нові наукові результати й висновки, що складають основу дисертації.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на наступних конференціях: 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).

Огляд змісту дисертації

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено об'єкт, предмет, мету і задачі дослідження, сформульовано наукову новизну, теоретичну і практичну цінність отриманих результатів, наведено дані про апробацію та впровадження результатів.

У **першому розділі** автор проаналізував сучасні принципи організації робочого процесу в двопаливних камерах згоряння ГТД вітчизняних та світових виробників, особливості роботи плазмохімічних систем в енергетичному устаткуванні. Огляд літератури за темою дисертації дозволив визначити, що використання плазмової активації горіння вуглеводневих палив є досить актуальним та перспективним напрямком підвищення ефективності і надійності двопаливних енергетичних систем.

У **другому розділі** обґрунтовано основні методи дослідження. При теоретичних дослідженнях запропоновано використовувати математичну модель турбулентного горіння рідких і газоподібних палив та модель хімічної кінетики, яка дозволяє врахувати вплив низькотемпературної повітряної плазми на процеси поширення полум'я для аналізу енергетичних і емісійних характеристик паливоспалюючих пристроїв. Наведено

основні рівняння математичної моделі, що описує робочий процес в турбулентній системі. Крім того, надано опис принципової схеми експериментального стенду для досліджень плазмових генераторів.

Третій розділ автор присвятив опису розроблених математичних моделей розрахунку двопаливної низькоемісійної камери згорання з плазмовим супроводом. Обґрунтовано вибір тривимірної моделі континуального типу, яка здатна прогнозувати основні фізико-хімічні процеси в камерах згорання ГТД при використанні різних за фазовим станом палив. Розроблено математичну модель плазмової активації горіння рідких та газоподібних палив в двопаливній камері згорання та проведено верифікацію запропонованої математичної моделі за даними експериментів інших авторів.

У **четвертому розділі** виконано теоретичні дослідження характеристик двопаливної газотурбінної камери згорання, що працює на газоподібному та рідкому паливах. Приведено розрахунки аеродинамічної структури потоку в камері згорання ГТД при роботі на газоподібному та рідкому паливах.

Автором виявлено основні особливості формування зворотних течій в жаровій трубі камери згорання на режимах холодної продувки та при горінні палива. Проведено розрахунки різних варіантів подачі рідкого палива в двопаливну камеру згорання. Отримано розподіли температур та концентрацій токсичних компонентів на виході камери згорання при різних співвідношеннях витрат пального через канали радіально-осьових завихрювачів жарової труби.

У **п'ятому розділі** проведено дослідження плазмової активації горіння палив в камерах згорання транспортних і стаціонарних газотурбінних двигунів. Розроблено конструктивну схему генератора низькотемпературної плазми, призначеного для роботи в складі двопаливної камери згорання. Проведено експериментальні дослідження енергетичних характеристик плазмотрона постійного струму без подачі та з подачею розпилюючого повітря. Визначено діапазон сталої роботи плазмотрону. Проведено тривимірні розрахунки характеристик двопаливної низькоемісійної камери згорання ГТД потужністю 25 МВт, що використовує для активації процесів горіння вуглеводнів плазмохімічні елементи.

У **загальних висновках** дисертації повно і чітко сформульовані отримані нові наукові та практичні результати щодо підвищення ефективності використання двопаливних камер згорання газотурбінних двигунів за рахунок плазмохімічних елементів.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані у дисертаційній роботі, забезпечена наступним:

- використанням фундаментальних рівнянь нерозривності, збереження кількості руху та енергії, переносу реагуючих компонентів з урахуванням дисипації вихорів, утворення і розкладання оксидів азоту, переносу характеристик турбулентності у взаємодії з рівняннями моделі дискретної фази та рівняннями хімічної кінетики, які адекватно відображають реальні процеси енергоперетворень, що мають місце в камері згоряння ГТД;

- задовільним якісним і кількісним збігом результатів розрахунків з експериментальними даними, отриманими з достатньою точністю;

- експериментальними дослідженнями енергетичних характеристик генератора повітряної плазми.

Методики проведення теоретичних і експериментальних досліджень є достатньо стандартними і не викликають сумніву й зауважень. Застосовані в роботі класичні методи для числових і експериментальних досліджень є прийнятними для вирішення поставлених задач, їх реалізація коректна і виконана на досить високому технічному рівні. Викладене вище дає можливість стверджувати, що основні наукові результати роботи й сформульовані положення досить обґрунтовані та достовірні.

Наукове значення виконаного дослідження

У дисертаційній роботі Б.Т. Діасамідзе містяться отримані нові наукові результати, зокрема:

- за результатами досліджень отримано нові дані, які розширили уявлення про фізико-хімічні механізми плазмової активації горіння газоподібних і рідких палив, що є підґрунтям для створення високоефективних двопаливних українських ГТД нового покоління;

- обґрунтовано інтенсифікуючий вплив низькотемпературної повітряної плазми на енергетичні і екологічні показники двопаливної камери згоряння ГТД з попереднім сумішоутворенням вуглеводневих палив (що відрізняються фазовим станом) з окиснювачем в каналах радіально-осьових завихрювачів жарових труб;

- розроблено математичну модель двофазного горіння рідкого дистильного палива в двопаливній низькоємісійній камері згоряння ГТД, яка дозволяє визначити траєкторії руху окремих крапель, їх нагрів, випаровування, окиснення парів з урахуванням тепломасообміну крапель з газовою фазою, а також запропоновано

використання шестиступінчастої кінетичної схеми горіння вуглеводнів, яка моделює процеси одночасного окиснення рідкого і газоподібного палив, з урахуванням впливу кількості добавок плазмохімічних продуктів на величину енергії активації;

- визначено діапазон стійкої роботи слабкострумового плазмового генератора плазмохімічного елемента в межах сил струму від 0,1 до 0,9 А, при цьому робоча напруга плазмового генератора в інтервалі споживаної потужності 80...800 Вт становить 1,8...0,4 кВ;

- набув подальшого розвитку метод прогнозування процесів вигорання різних за фізичним станом вуглеводневих палив в низькоемісійних камерах згорання ГТД, заснований на числовому моделюванні їх характеристик на основі концепції дисипації вихорів (Eddy-Dissipation-Concept);

- набув подальшого розвитку підхід до моделювання впливу продуктів плазмохімічного елемента на процеси поширення полум'я в паливоспалюючих пристроях, заснований на залежності енергії активації реакцій окиснення від кількості добавок плазмохімічних продуктів.

Практичне значення отриманих здобувачем результатів полягає у тому, що розроблено практичні рекомендації щодо використання двопаливних камер згорання в енергетиці, на підставі яких виконано конструктивну схему двопаливної низькоемісійної камери згорання ГТД потужністю 25 МВт, що працює на газоподібному і рідкому паливах і забезпечує світові показники токсичності вихлопних газів.

Результати дисертації використано при аналізі схемних рішень перспективних суднових енергетичних установок та виконанні проектних розробок концептуальних суден ("Zaliv Ship Design") та проектуванні вітчизняних газотурбінних установок для їх подальшого використання в якості мобільних енергетичних засобів комплексного забезпечення енергією об'єктів морської інфраструктури (ДП «Дослідно-проектний центр кораблебудування» державного концерну «Укроборонпром»).

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес при підготовці здобувачів вищої освіти в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертації:

1. Згорання, а плазмове особливо, накладає певні обмеження на характеристики паливорозпилювальних пристроїв, які забезпечують якісне горіння рідкого палива. На жаль, в роботі недостатню увагу приділено цьому питанню.

2. Потребує додаткових роз'яснень, чому в якості базової моделі турбулентності при аналізі фізико-хімічних процесів в двопаливній камері згоряння ГТД обрано RNG-різновид стандартної k-ε моделі турбулентності.

3. Результати тривимірних CFD-досліджень суттєво залежать від якості кінцево-різницевої сітки. Не ясно, чи були спроби провести розрахунки на більш "рідких" сітках, і чи отримані результати з емісії токсичних компонентів значно відрізняються при цьому.

4. Не досить ясно, чому при плазмохімічній активації горіння викиди оксидів азоту змінюються не суттєво.

5. Чи можуть бути використані плазмові інтенсифікатори постійно в камері згоряння, чи потрібен якийсь алгоритм їх включення в залежності від режиму роботи?

Відмічу, що зазначені зауваження щодо дисертації не мають принципового значення та не знижують її наукову значимість і практичну цінність.

Загальна оцінка дисертаційної роботи та висновки

Виходячи з вищевикладеного вважаю, що представлена до захисту дисертація «Підвищення ефективності двопаливних камер згоряння газотурбінних двигунів використанням плазмохімічних елементів» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка вирішує актуальну науково-прикладну задачу підвищення ефективності двопаливних низькоемісійних камер згоряння ГТД шляхом використання низькотемпературної повітряної плазми для активації паливно-повітряних сумішей. За своєю актуальністю, науковим рівнем, новизною та практичною цінністю робота відповідає вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а її автор, Діасамідзе Бадрі Тенгізовіч, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування, галузь знань 14 – Електрична інженерія.

Офіційний опонент,
д-р техн. наук, професор,
професор кафедри експлуатації
суднових енергетичних установок
Херсонської державної
морської академії

Євген БІЛОУСОВ

Євген Білоусов
Б. Білоусов
Б. Білоусов

