

15.05.2020  
1/6 - 05.62

## ВІДГУК

офіційного опонента Мірошник Марини Анатоліївни  
на дисертаційну роботу **Лисенка Віктора Євгеновича**  
**«Комп'ютерно-інтегрована система подачі газу в судновий дизель-  
генератор за допомогою п'єзоперетворювачів»**

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

### **Актуальність теми.**

Робота присвячена розробці методів та моделей покращення систем управління подачею газу в судновий дизель-генератор, за рахунок впровадження нових типів приводів виконавчих механізмів на базі п'єзоелектричних перетворювачів.

За останні 10 років суттєво змінилася ситуація навколо викидів шкідливих речовин в довкілля. Посилення вимог до екологічної безпеки суднових дизелів у вигляді зниження норми викидів COx, NOx, CHx поставило перед розробниками комплекс проблем щодо зниження емісії відпрацьованих газів. Є декілька варіантів вирішення цієї проблеми: встановлення додаткового обладнання; застосування низькосірчистого палива та використання на відмінну від рідинного палива газу.

Встановлення спеціального обладнання (скрубєрів) – дуже висока ціна, яка розраховується мільйонами доларів США (4-7 млн). Перехід на низькосірчисте паливо призводить до росту ціни палива в розрахунку на час роботи в декілька раз, що в підсумку призводить до непередбачуваності ціноутворення перевезень. Використання альтернативного палива потребує наявності великих танків, в яких повинен зберігатися газ.

Тому найбільш перспективним є перехід на газ в дизелях (тип DF), якими оснащені судна-газовози (LNG, LPG). Крім того, при перевезенні скрапленого газу відбувається його випаровування з вантажних танків. Викид в довкілля цього газу наносить шкоди навколишньому середовищу. Тому стає актуальними утилізація цих випарів в судновому дизелі та роботи, що пов'язані з роботою системи подачі газу в судновий дизель, а саме розробка алгоритмів роботи системи, створення перетворювачів електричних сигналів в механічне переміщення клапану подачі газу.

Розвитком теорії і практики використання газу в суднових дизелях

займається фірма Wartsila тощо.

**Актуальність теми роботи** підтверджується так само й тим, що вона пов'язана з виконанням держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України, відповідає основним принципам Транспортної стратегії України на період до 2020 року, зокрема, «Забезпечення безпеки транспортних процесів шляхом впровадження сучасних інформаційних технологій», «Підвищення екологічності та енергоефективності транспортних засобів шляхом оптимізації терміну експлуатації, технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів» (розп. КМУ № 2174 від 20.10.2010 р.), принципів Транспортної стратегії України на період до 2030 року, зокрема, «Безпечний для суспільства, екологічно чистий та енергоефективний транспорт», «Підвищення рівня екологічної безпеки на транспорті» (розп. КМУ № 430-Р від 30.05.2018 р.) та планів виконання науково-дослідних робіт Національного університету «Одеської морської академії» за темою: «П'єзоелектричний привод впускного клапану двохпаливного ДВЗ» (№ ДР 0117U002744), в яких автор брав участь як фахівець та виконавець.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі Лисенка В. Є.** є високою та базується на аналізі науково-технічних джерел за даною проблемою, гармонійній постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження, зіставленні та критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, а також якісному формулюванні отриманих висновків. Теоретичні дослідження виконано з використанням сучасного математичного апарату.

#### **Достовірність результатів досліджень.**

Достовірність отриманих наукових результатів, висновків та дієвість розроблених математичних моделей перевірено порівнянням теоретичних положень з експериментальними даними.

До **основних нових наукових результатів дисертації** полягає у створенні моделей, методу та засобів покращення комп'ютерно-інтегрованої системи подачі газу в судновий дизель-генератор на базі п'єзоелектричних перетворювачів, які дозволяють знизити аварійність і покращити роботу систем позиціонування клапану подачі газу. Відмінність запропонованих компонентів від існуючих електромагнітних, гідравлічних та пневматичних

полягає в відсутності електромагнітного перетворювача, процеси в якому призводять до нескінченної коливальності та підвищення аварійності при експлуатації суднових дизель-генераторів, які працюють на декількох сортах палива.

При цьому, отримали *подальший* розвиток наступні наукові результати:

- метод удосконалення комп'ютерно-інтегрованої системи подачі газу в судновий дизель-генератор шляхом впровадження приводу виконавчого механізму на базі п'єзоелектричних перетворювачів, що дозволило збільшити економічність та роботоздатність паливної системи;

- модель п'єзоелектричного шару зі складального стовпа шляхом додавання додаткового виходу, який враховує механічний поступальний рух п'єзоперетворювачів, що дозволяє здійснювати дослідження механічної системи стовп–важіль–клапан при моделюванні роботи п'єзоприводу виконавчого механізму;

- моделі поліморфних п'єзоперетворювачів за рахунок представлення кожного мономорфного перетворювача розробленою субмоделлю п'єзоелектричного шару із врахуванням механічних поступальних рухів, що дозволяє проєктувати п'єзоприводи виконавчих механізмів з необхідними технічними параметрами та характеристиками;

- модель лінійного п'єзоелектричного двигуна за рахунок застосування модернізованої моделі фрикційного контакту п'єзоприводу із формалізацією процесів, які відбуваються в п'єзоперетворювачі поступального руху, що дозволяє моделювати роботи п'єзоприводу виконавчого механізму з необхідним лінійним переміщення рухомої каретки п'єзодвигуна.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.**

Практична цінність роботи полягає в доведенні здобувачем наукових результатів до конкретних конструктивних рішень, що забезпечують покращення системи подачі газу в судновий дизель-генератор за рахунок застосування п'єзоелектричних перетворювачів. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень розроблена комп'ютерно-інтегрована система подачі газу в судновий дизель-генератор на базі п'єзоелектричних перетворювачів, яка дозволила підвищити безаварійність роботи системи. Наведено практичні рекомендації щодо розрахунку,

конструювання та експлуатації пропонованої системи.

Розроблено та запатентовано дві конструкції клапану подачі газу на базі п'єзоелектричного складального стовпа і лінійного п'єзоелектричного двигуна, що дозволило отримати великі пускові моменти при необхідному зусиллі і часі перехідного процесу.

Розроблені моделі зменшення внутрішнього коливання системи управління подачею палива на основі приводу виконавчих механізмів на базі п'єзоперетворювачів підвищили надійність системи подачі газу.

Розроблена бібліотека компонентів п'єзоелектричних перетворювачів для середовища електронного моделювання SimIntech.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі Національного університету «Одеська морська академія» кафедри автоматизації дизельних і газотурбінних установок і кафедри технічної експлуатації флоту.

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.**

Основні положення та результати дисертаційної роботи достатньо повно відображені у 16 наукових роботах. З них: 6 статей – у фахових наукових журналах, які затверджені МОН України та індексуються у наукометричній базі Index Copernicus тощо, 7 праць – у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій, 2 патенти України на корисну модель, 1 звіт з НДР. В цілому, рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

**Оцінка змісту дисертаційної роботи:**

Дисертаційна робота **Лисенка В. Є.** складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури зі 103 найменувань і додатків. Загальний обсяг становить 179 сторінок (з них 126 – основного тексту). У роботу входять також 76 рисунків та 7 таблиць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність напрямку досліджень, наведено зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету та завдання дослідження, відображені наукова новизна, практична цінність роботи та особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію, публікації та використання результатів дослідження.

У **першому розділі** проведено аналіз роботи комп'ютерно-інтегрованої

системи (КІС) подачі газу в суднові двопаливні дизель-генератори. Відзначено недоліки та переваги. В судновій енергетиці знайшли поширення двопаливні ДВЗ (DF), які працюють або на рідинному паливі, або на суміші газу та рідинного палива, яке використовується як запальна порція. Це дозволяє зменшити викиди в довкілля та утилізувати випаровування газу з вантажних танків. Розглянуто характеристики КІС подачі палива фірми Wärtsilä. Встановлено, що подальше підвищення її роботоздатності можливе за рахунок удосконалення шляхом заміни електромагнітного перетворювача.

Проведено аналіз існуючих та перспективних типів клапанів, а саме цифрових гідро- та пневмо- клапанів, які знайшли поширення в рамках четвертої промислової революції. Доведено, що вдосконалення перетворювачів електромагнітного типу в конструкторсько-технологічному напрямі в даний час практично вичерпані, що не створює перспективи в їх застосуванні, а значить – актуальна розробка КІС з перетворювачами на базі нових фізичних принципів

Показана можливість використання п'єзоелектричних перетворювачів. Проведено аналіз їх властивостей та особливостей застосування. В результаті визначення переваг п'єзоелектричних перетворювачів в порівнянні з електромеханічними, в дисертаційному дослідженні поставлено завдання розробити теоретичні та практичні положення, які дозволять розробляти п'єзоелектричні перетворювачі для застосування в клапані подачі газу, який входить до складу КІС подачі палива в судновий дизель-генератор серії DF.

Проведено обґрунтування мети і завдань дисертаційного дослідження. Визначені гіпотеза, задачі дослідження. Отримана технологічна карта наукового дослідження.

В результаті проведеного аналізу отримано структурно-логічну карту наукового дослідження, а також визначено ряд задач, вирішенню яких присвячений матеріал наступних трьох розділів

У **другому розділі** наведено результати розробки моделей та методу покращення системи подачі газу в судновий дизель-генератор за рахунок застосування п'єзоелектричних перетворювачів.

Сформовано вимоги до електричної частини клапану подачі газу для комп'ютерно-інтегрованої системи подачі палива в судновий дизель-генератор, що дозволило висунути вимоги до п'єзоелектричних перетворювачів, а саме зусилля, яке потрібне, та час вмикання/вимикання.

Отримали подальший розвиток модель п'єзоелектричного шару зі складального стовпа шляхом додавання додаткового виходу, який враховує механічний поступальний рух п'єзоперетворювачів, а також моделі поліморфних п'єзоперетворювачів за рахунок представлення кожного мономорфного перетворювача розробленою субмоделлю п'єзоелектричного шару. Розроблено кінематичну та структурну схеми п'єзоперетворювача клапану подачі газу на базі п'єзоелектричних складальних стовпів. Все це дозволяє проєктувати п'єзоприводи виконавчих механізмів з необхідними технічними параметрами та характеристиками, а також здійснювати дослідження механічної системи стовп–важіль–клапан при моделюванні роботи п'єзоприводу.

Отримано подальшого розвитку модель фрикційного контакту, яка дозволила формалізувати процеси, що забезпечило лінійність переміщення рухомої каретки ЛПД. Отримано подальшого розвитку модель лінійного п'єзоелектричного двигуна за рахунок застосування модернізованої моделі фрикційного контакту п'єзоприводу із формалізацією процесів, які відбуваються в п'єзоперетворювачі поступального руху. Така модель дозволяє моделювати роботи п'єзоприводу виконавчого механізму з необхідним лінійним переміщення рухомої каретки п'єзодвигуна. Розроблено кінематичну та структурну схеми п'єзоперетворювача клапану подачі газу на основі лінійного п'єзоелектричного двигуна.

В результаті аналізу моделей системи подачею палива на основі п'єзоперетворювача клапану подачі газу виявлено коливальний характер системи, яка, хоч і нижча за коливання у електромагнітного соленоїда, проте негативно позначається на надійності компонентів системи та призводить до відхилення закону подачі палива від заданого виду, і як наслідок, до зниження роботоздатності. Для усунення таких коливань запропоновано використання ПД- та нечіткого регулятора. Відповідні дослідження підтвердили можливість їх застосування у роботі клапану подачі газу в судновий дизель-генератор

Розроблено бібліотеку п'єзоперетворювачів для середи електронного моделювання SimIntech (Безлімітна ліцензія. Організація: НУ «ОМА». Серійний номер: D63B30FDA70), що дозволило проводити моделювання не тільки з математичними, а й з механічними моделями. Зокрема, розроблено

бібліотеку компонентів для середовища SimInTech, до якої надійшли один шар та трьох-, п'яти-, десяти-, сто- шарові п'єзоперетворювачі.

В **третьому розділі** наведено результати досліджень отриманих моделей у попередньому розділі.

Проведення моделювання впливу властивостей кераміки на характеристики п'єзоелектричних перетворювачів з трьох шарів довело, що на переміщення, а саме його збільшення, впливають коефіцієнт зворотнього п'єзоефекту, модуль Юнга, сила попереднього навантаження та габаритні розміри п'єзоперетворювача. На зменшення часу спрацьовування впливають також збільшення добротності, коефіцієнту зворотнього п'єзоефекту, сили попереднього навантаження та модуля Юнга, а збільшення габаритних розмірів, навпаки, призводить до збільшення часу. В результаті моделювання п'єзоперетворювача у вигляді складального стовпа встановлено, що блоки з трьох і шістдесяти шайб задовольняють вимогам, що пред'являються до швидкодії клапана подачі газу суднового двохпаливного середньо обертального дизель-генератора. Однак, для збільшення переміщення, необхідно використовувати більш 200 шарів, що призводить до збільшення габаритних розмірів, що в кілька разів перевершує розміри соленоїда.

Дослідження п'єзоелектричної кераміки від провідних виробників Німеччини, РФ та Індії довели, що найбільш сприятливі властивості має сегнетожорстка кераміка, зокрема PIC255. В процесі моделювання встановлено коливальний характер системи, яка хоча й нижча, ніж у електромагнітного соленоїда, але все рівно присутня в режимі холостого ходу. Для усунення цієї коливальності було проведено дослідження використання ПД та нечіткого регуляторів, яке довело ефективність їх використання. Додатково, можлива послідовна корекція і корекція за допомогою гнучких і жорстких зворотних зв'язків, використання керованих джерел струму.

Було встановлено, що вільний кінець складального стовпа не повертається в нульовий стан. Запобігти цьому можливо за допомогою додаткового навантаження. Використання двополярного сигналу управління дозволяє повернутися в нульовий стан, але на практиці такий метод керування приводить до руйнування конструкції. Проведені дослідження моделей перетворювачів з механічними підсилювачами дозволили

підтвердити можливості їх застосування. Однак збільшення коефіцієнту підсилення призводить до зменшення навантаження, яке може п'єзоперетворювач пересувати. Тому потрібно збільшувати кількість складальних стовпів.

Дослідження лінійного п'єзоелектричного двигуна довели можливість використання в клапані подачі газу. Час спрацьовування такого клапану вкладається в становлені вимоги. Однак, істотного зменшення часу досягти не вдалося при теперішніх властивостях п'єзокераміки. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на розробку конструкцій клапана з п'єзоелектричним приводом з прийнятними маса-габаритними показниками.

Вірогідність отриманих результатів підтверджена при електронному моделюванні в SimInTech. Практична цінність отриманих результатів полягає в можливості проєктування п'єзоперетворювачів для клапану подачі газу в судновий дизель-генератор.

У **четвертому розділі** описані розроблені конструкції клапанів подачі газу з ПП на складальних стовпах та ЛПД. Представлено макет комп'ютерно-інтегрованої системи подачі газу Брауна до аварійного дизель-генератору.

Виготовлений макет експериментальної установки для дослідження роботи клапану подачі газу з п'єзоелектричним перетворювачем на основі ЛПД. Проведені експериментальні дослідження підтвердили отримані теоретичні положення. Наведено розроблені і запатентовані конструкції компонентів комп'ютерно-інтегрованої системи подачі газу в судновий дизель-генератор на базі п'єзоелектричних перетворювачів: складальних стовпів та реверсивних обертальних та лінійних п'єзодвигунів, які довели можливість їх застосування для отримання гарантованого переміщення клапану подачі газу при необхідному зусиллі і часі перехідного процесу.

Удосконалено класифікаційну схему паливних систем високого тиску за рахунок включення системи подачі газу. Проведено порівняння розроблених клапанів з відомими, яке показало перевагу і перспективність використання запропонованих рішень. Це дозволяє стверджувати, що поставлена в роботі мета досягнута.

У **додатках** наведено акти впровадження результатів дисертаційної роботи, отримані патенти, довідникові данні виробників п'єзокераміки та пристроїв, перелік публікацій за темою дисертації.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо



повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. В дисертації створенні моделі, методи та засоби покращення комп'ютерно-інтегрованої системи подачі газу в судновий дизель-генератор на базі п'єзоелектричних перетворювачів, але на мій погляд, зроблений не достатньо повний огляд існуючих.

2. В дисертаційній роботі відсутній опис розробленого програмного забезпечення, що використовувалося на розроблених макетних зразках та лістинги розроблених програм.

3. В дисертаційній роботі занадто багато абревіатур, що ускладнює сприйняття інформації, також мають місце стилістичні та орфографічні помилки.

4. В дисертаційній роботі не достатньо повно демонструються переваги теоретичних розробок здобувача шляхом порівняння на конкретних прикладах запропонованих методів з відомими.

5. В роботі слід було б більш детально описати результати обчислювальних експериментів з моделями та алгоритмами, що пропонуються. А також більш детально викласти результати досліджень та описати структурні схеми розроблених програмних компонентів.

6. Слід зауважити, що постановочна частина дисертації (розділ 1) виглядала б краще, якби більш наглядно (у вигляді діаграм та схем) були б наведені порівняльні характеристики існуючих спеціалізованих комп'ютерних систем подачі газу в судновий двопаливний дизель-генератор. Це підвищило б ступінь обґрунтованості зроблених автором висновків щодо необхідності удосконалення існуючих та створення нових комп'ютерних систем спеціального призначення для подачі газу в судновий двопаливний дизель-генератор.

7. Вступна частина деяких підрозділів містить загальну інформацію та деякою мірою дублює матеріал першого розділу.

8. В дисертаційній роботі при розробці моделей не розглянуто питання можливої необхідності подачі газу в судновий двопаливний дизель-генератор.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота **Лисенка Віктора Євгеновича** «Комп'ютерно-інтегрована система подачі газу в судновий дизель-генератор за допомогою п'єзоперетворювачів» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-практичну задачу в галузі комп'ютерних систем та компонентів – розробка методів, моделей та засобів покращення системи подачі газу в судновий дизель-генератор за рахунок застосування п'єзоелектричних перетворювачів. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567 (зі змінами) щодо кандидатських дисертацій, а здобувач Лисенко Віктор Євгенович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент  
 професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних  
 систем Українського державного університету  
 залізничного транспорту  
 доктор технічних наук, професор



М. А. Мірошник

*М. А. Мірошник*  
*Олександр Олександрович*