

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Лисенка Віктора Євгеновича** на тему "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 роботи.** В зв'язку із посиленням вимог щодо екологічної безпеки суднових дизелів у вигляді зниження норми викидів COx, NOx, CHx, протягом останніх років для розробників суднових двигунів стали актуальними питання щодо зниження емісії відпрацьованих газів. Відповідно на перший план вийшли проблема утилізації цих викидів 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. Серед недоліків використовуваних сьогодні комп'ютерних систем управління та контролю подачі газу в дизель, побудованих на основі застосування клапанів подачі газу з електромагнітним соленоїдом, слід зазначити залипання електромагнітного клапану, яке призводить до зносу пари клапан-сідло, а також зміни властивостей пружин, що обумовлено використанням електромагнітного перетворювача. Тому дослідження, спрямовані на подальший розвиток моделей конструкцій компонентів комп'ютерно-інтегрованої системи управління подачею палива, що дозволить покращити систему подачі газу в судновий дизель-генератор і тим самим підвищити безпеку судноплавства, є актуальними.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами.** Тема дисертаційної роботи 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.), принципам 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.), а також пов'язана з планом виконання науково-дослідних робіт Національного університету "Одеської морської академії" за темою: «П'єзоелектричний привод впускного клапану двохпаливного ДВЗ» (№ ДР 0117U002744).

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення, окремі розділи і наукові результати доповідалися, обговорювалися і були схвалені на шести міжнародних науково-технічних конференціях, а саме: «Суднові комп'ютерно-інтегровані технології» (НУ «ОМА», Одеса, 2016, 2018 рр.); «Суднові енергетичні установки: експлуатація і ремонт» (НУ «ОМА», Одеса, 2019 р.); «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт» (НУ «ОМА», Одеса, 2018 р.); «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання» (м. Івано-Франківськ, 2018, 2019 рр.);

«Автоматика – 2017» (Київ, 2017); «Датчики, прилади та системи – 2019 (ДПС, 2019)» (Черкаси – Миколаїв – Херсон – Лазурне, 2019 рр.).

**Публікації.** Результати дисертації опубліковані в 16 наукових працях, з яких: 5 статей опубліковано у фахових наукових журналах, які рекомендовані МОН України для публікації результатів дисертаційних робіт (4 з них індексуються у наукометричній базі Index Copernicus), 3 патенти України на корисну модель (з яких 1 патент зараховується, як стаття у фаховому виданні), 7 праць опубліковано у збірниках матеріалів міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій, 1 звіт з НДР.

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

У **першому розділі** приведено аналіз стану предмета дослідження в області розробки та застосування комп'ютерно-інтегрованих систем (КІС) для управління подачею газу в суднові дизель-генератори. Зокрема, розглянуто особливості експлуатації таких систем, зроблено аналіз існуючих і перспективних типів клапанів подачі газу (електромагнітного соленоїдного клапану для подачі газу фірми Woodward SOGAV-250, «комерційних» та «некомерційних» цифрових клапанів), розглянуто перспективи застосування принципу «мініатюризації», тобто використання декількох менших клапанів замість одного великого для скорочення їх моменту інерції, а також проаналізовано методи управління потоком газу у дизель-генераторах. В результаті аналізу показано очевидну актуальність розробки КІС з виконавчими механізмами на базі нових фізичних принципів, а саме п'єзоелектричних перетворювачів, які, завдяки зворотному п'єзо ефекту, дозволяють перетворювати електричний сигнал в механічне переміщення клапану подачі газу. В зв'язку з тим, що існуючі теоретичні та практичні положення стосовно пневмоперетворювачів на основі біморфних п'єзоелементів не дозволяють ефективно застосовувати існуючі рішення для побудови п'єзоперетворювачів в складі клапану подачі газу в судновий дизель-генератор, здобувачем висунуто припущення про можливість застосування з цією метою п'єзоперетворювачів на основі складальних стовпів, що активно застосовуються в автомобільній галузі в конструкціях паливних насос-форсунок для дизельних двигунів, які працюють на рідинному паливі. Також висунуто наукову гіпотезу, сутність якої полягає в підвищенні енергетичної та екологічної ефективності двохпаливного дизель-генератора за рахунок застосування п'єзоелектричних перетворювачів в складі комп'ютерно-інтегрованої системи подачі газу дизеля з електронним управлінням для підвищення безпеки експлуатації судна. В результаті проведеного аналізу здобувачем сформульовано технологічну карту наукового дослідження, а також визначено низку задач, вирішення яких наведено у наступних розділах.

У **другому розділі** наведено результати розробки моделей та методу покращення системи подачі газу в судновий дизель-генератор за рахунок застосування п'єзоелектричних перетворювачів. Зокрема, визначені вимоги до електричної частини клапану подачі газу, який входить до складу КІС подачі газу в

судновий дизель-генератор та сформульовані вимоги до нових типів перетворювачів, що мають бути запроваджені для клапану подачі газу. На основі структурної схеми Нікольського А. А. була розроблена модель п'єзоелектричного шару зі складального стовпа. Отримала подальший розвиток модель п'єзоперетворювача в пакеті програм схемотехнічного моделювання, а саме: модель п'єзоелектричного шару зі складального стовпа шляхом додавання додаткового виходу, який враховує механічний поступальний рух п'єзоперетворювачів, що дозволить здійснювати дослідження механічної системи стовп–важіль–клапан при моделюванні роботи п'єзоприводу виконавчого механізму. Застосування цієї моделі в якості субмоделі окремого шару дозволяє досліджувати поліморфні моделі з великою кількістю п'єзоперетворювачів. Тобто запропоноване в роботі представлення кожного мономорфного перетворювача розробленою субмоделлю п'єзоелектричного шару із врахуванням механічних поступальних рухів, дозволить проектувати п'єзоприводи виконавчих механізмів з необхідними технічними параметрами та характеристиками. Також в цьому розділі було розглянуто застосування лінійного п'єзодвигуна (ЛПД). Для розробки моделі ефективного застосування ЛПД в роботі була модернізована модель фрикційного контакту (ФК). Із застосуванням модернізованої моделі фрикційного контакту п'єзоприводу в роботі отримана модель лінійного п'єзоелектричного двигуна, що дозволяє моделювати роботи п'єзоприводу виконавчого механізму з необхідним лінійним переміщення рухомої каретки п'єзодвигуна. Створено бібліотеку компонентів у середовищі електронного моделювання SimInTech для складальних стовпів з трьох, п'яти, десяти та ста шарів п'єзоелементів.

У **третьому розділі** наведено результати досліджень отриманих моделей у середовищі SimInTech. Проведено моделювання впливу властивостей кераміки на характеристики п'єзоелектричних перетворювачів з трьох шарів. Встановлено, що найбільш сприятливі властивості має сегнетожорстка кераміка. Виявлено коливальний характер системи, для усунення якого здобувачем було проведено дослідження використання ПД та нечіткого регуляторів. Також дисертантом були проведені дослідження моделей перетворювачів з механічними підсилювачами та лінійного п'єзоелектричного двигуна, які довели можливість використання їх в клапані подачі газу.

В **четвертому розділі** на основі теоретичних рішень дисертантом розроблені та запатентовані конструкції клапанів подачі газу з п'єзоелектричними перетворювачами на складальних стовпах та лінійних двигунах, проведено експериментальні дослідження. В результаті апаратної та програмної реалізації розроблених теоретичних положень створено макет комп'ютерно-інтегрованої системи подачі газу в аварійний дизель-генератор, до складу якої входять система видобутку газу Брауна НУРО 3.0, аварійний дизель-генератор PowerTech™ 4045 DFM70 на базі John Deere 4045d, PLC ILC 150 GSM/GPRS та п'єзодвигуна LPM-5, дослідження роботи якого підтвердило можливість застосування п'єзоперетворювачів для клапану подачі газу.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційного дослідження.

**Наукова новизна дослідження.** Наукова новизна 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, що 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 проектувати 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.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практична цінність дисертаційної 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 двох кафедр Національного університету «Одеська морська академія», а саме: кафедри

автоматизації дизельних і газотурбінних установок і кафедри технічної експлуатації флоту.

### **Зауваження щодо змісту й оформлення роботи.**

1. В першому розділі дисертації зазначається, що одним з лідерів з розробки та виробництва суднових дизель-генераторів є компанія Wärtsilä, а також розглядається в якості аналога електромагнітний соленоїдний клапан для подачі газу фірми Woodward SOGAV-250, яким обладнані ці дизель генератори, і жодним чином не згадуються інші виробники чи марки дизель-генераторів. Тому важко зрозуміти, чи дійсно здобувач відштовхувався у своїх дослідженнях від необхідності усунення існуючих недоліків найкращих зразків обладнання, чи звуження області дослідження було обумовлено іншими причинами.

2. В пункті 1.2.4 в процесі розгляду «комерційних» та «некомерційних» цифрових клапанів, здобувачем наведені в тексті дисертації їх технічні характеристики, що, на мою думку, краще було б представити в табличному вигляді для зручності порівняння та кращої наочності переваг та недоліків зазначених клапанів.

3. У другому розділі дисертант пропонує використання значно спрощених одномірних моделей, зазначаючи, що модель механічного перетворювача п'єзодвигуна, яка була запропонована Тихоновим А.О. у 2004 році, хоч і має цілу низку переваг, проте є занадто складною, тому її застосування доцільне лише для виробників п'єзодвигунів (стор. 75-76). Однак, у тексті дисертації, на жаль, не наведено доказів на підтвердження цього твердження та не зроблено розрахунків чи аналітичного аналізу необхідності або переваг від застосування спрощених моделей.

4. На початку третього розділу автор зазначає, що для побудови моделі складального стовпа були проведені дослідження впливу властивостей і параметрів використовуваної п'єзокераміки на переміщення вільного кінця п'єзоелемента, при чому для досліджень була взята п'єзокераміка ЦТС-19. В наступному підпункті проводяться дослідження поведінки складального стовпа на п'єзокераміці PIC255, а в кінці розділу для субмоделі осцилятора була використана сегнетожорстка кераміка SP-4. При чому з тексту дисертації не зрозуміло, з якою метою дослідження проводилися кожного разу на іншому типі п'єзокераміки, адже порівняння результатів або висновків щодо необхідності зміни п'єзоматеріалу в роботі не наведено.

5. Всі висновки зроблені у третьому розділі дисертаційної роботи базуються лише на результатах моделювання у середовищі SimInTech. Обґрунтування вибору цього середовища було зроблено на початку розділу, проте для підтвердження адекватності запропонованих моделей та валідності отриманих результатів бажано б було зробити порівняльний аналіз із результатами, отриманими в інших середовищах або на математичних моделях.

6. У висновках до четвертого розділу здобувач зазначив, що результати, отримані в ході експериментів на макеті установки для дослідження роботи клапану подачі газу з п'єзоелектричним перетворювачем на основі ЛПД, підтвердили отримані теоретичні положення, проте в самому розділі результати експериментів чи порівняння теоретичних та експериментальних результатів, на жаль, не приведені. Крім того, бажано б було у тексті розділу або у висновках зазначити,

який критерій було застосовано для оцінки рівня корелювання теоретичних положень та результатів експериментальних досліджень.

7. В самому тексті дисертаційної роботи та автореферату, а також на рисунках (наприклад, рис. 1.2, 1.5, 1.7, 4.7, 4.14 – 4.19) та у таблицях (наприклад, табл. 1.1, 2.1, 2.3, 4.1) зустрічаються специфічні англійські скорочення, терміни та позначення, що значно ускладнює прочитання та сприйняття матеріалу. Також якісному сприйманню матеріалу дещо заважають занадто дрібний шрифт на деяких рисунках (наприклад, рис. 1.4, 1.11, 1.12, 2.6); допущені в тексті незначні описки (наприклад, насо-форсунок (замість насос-форсунок), рідинному (замість рідинному) та ін.); неузгодження закінчень слів у деяких реченнях (наприклад, стор.70, другий абзац). На жаль, зустрічаються русизми (наприклад, ізгібні), а також застосування російської мови у деяких рисунках (наприклад, рис. 1.11, 1.12) та формулах (наприклад, стор. 106-107).

**Узагальнена оцінка дисертаційної роботи.** Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 179 сторінок, з яких 126 сторінок займає основний текст. Робота містить 76 рисунків та 7 таблиць. До списку використаної літератури входить 103 найменування.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, оформлена з дотриманням прийнятих правил і норм. Ілюстративний матеріал відповідає пропонованим вимогам і забезпечує необхідну наочність отриманих результатів. Автореферат написаний лаконічно, грамотно, гарною мовою, його зміст відповідає змісту дисертації.

Незважаючи на зазначені вище недоліки, дисертаційна робота в цілому являє собою закінчене наукове дослідження і присвячена вирішенню актуальної та важливої для судноплавства України науково-технічної задачі – підвищення безпеки судноплавства шляхом розробки методів, моделей та засобів покращення системи подачі газу в судовий дизель-генератор. Робота відповідає всім вимогам, що пред'являються МОН України до кандидатських дисертацій, а її автор, Лисенко Віктор Євгенович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – "Комп'ютерні системи та компоненти".

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри  
приладобудування, мехатроніки та  
комп'ютеризованих технологій  
Черкаського державного  
технологічного університету,  
к.т.н., доцент



Ю.Ю. Бондаренко

Підпис засвідчую:  
Вчений секретар Черкаського державного  
технологічного університету

І.В. Миронець