

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Хнюнін Сергій Георгійович



УДК 681.586.773:629.563.21

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ
ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТУ КОАНДА НА БАЗІ П'ЄЗОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Миколаїв – 2017

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Нікольський Віталій Валентинович,
Національний університет
«Одеська морська академія»,
професор кафедри теорії автоматичного
управління та обчислювальної техніки.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мусієнко Максим Павлович,
Чорноморський національний
університет імені Петра Могили,
декан факультету комп'ютерних наук;

кандидат технічних наук, доцент
Бондаренко Юлія Юріївна,
Черкаський державний технологічний
університет, завідувач кафедри
комп'ютеризованих і інформаційних
технологій у приладобудуванні.

Захист відбудеться 26 травня 2017 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05 в Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10, та за електронною адресою: <https://chmnu.edu.ua/disertatsiyi/>.

Автореферат розісланий 26 квітня 2017 року.

В. о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05
д.т.н., професор



В. Я. Кутковецький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-практичного завдання підвищення безпеки експлуатації азимутальної гвинто-рульової колонки (АГРК).

АГРК, що застосовуються з середини минулого століття, дозволили збільшити маневреність судна і знизити втрати енергії за рахунок зміни напрямку упору гвинта щодо поздовжньої осі судна на 360°. У процесі розвитку АГРК пройшли шлях від простих рушіїв для буксира, де головною вимогою було підвищене маневрування в обмежених умовах, до повсюдного застосування на суднах. На сьогоднішній момент вони застосовуються не тільки як допоміжні рушії, але і в багатьох випадках як основні, при цьому їх потужність може досягати 6000 кВт.

Однак, на відміну від звичайних традиційних схем розташування гвинтів в кормі, експлуатація АГРК при певних кутах повороту супроводжується проявом ефекту Коанда, коли потік від гвинта прилипає до днища судна. Це призводить до втрати упору гвинта до 15%. В результаті втрачається керованість судна або бурової платформи, що призводить до виникнення аварійної ситуації.

Результатом впливу даного ефекту є нерівномірний знос дейдвудного, упорного та опорних підшипників. Діагностика, планове обслуговування і ремонт цих пристроїв утруднений у зв'язку з конструктивною особливістю знаходження всієї конструкції нижче ватерлінії під днищем судна. У разі несвоєчасного виявлення подібних несправностей можливий вихід всього приводу з ладу, пожежа, втрата керованості та руйнування. Тому дослідження, спрямовані на визначення і попередження виникнення ефекту Коанда є актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами. Робота 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.) і планом виконання науково-дослідних робіт Національного університету "Одеської морської академії" за темами "Автоматизація технологічних та адміністративних процесів на транспорті", "Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда" і "Концепції, технології та напрямки удосконалення суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів". Результати досліджень, що увійшли в дисертаційну роботу, відображені у звітах з

НДР №№ ДР 0115U003577, ДР С115U003579, ДР 0114U000340, в розробці яких автор брав участь як виконавець окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення безпеки експлуатації суден торгового і військово-морського флотів шляхом зменшення аварійної експлуатації азимутальної гвинто-рульової колонки за рахунок розробки методів та засобів створення комп'ютерної системи визначення ефекту Коанда.

В роботі поставлені та вирішені такі задачі:

- провести аналіз конструкцій АГРК і існуючих методів протидії виникненню ефекту Коанда з метою виявлення їх недоліків;
- розробити метод визначення місць найбільшого навантаження АГРК з метою пошуку місць розміщення компонентів комп'ютерної системи визначення виникнення ефекту Коанда;
- побудувати моделі і провести розрахунки параметрів компонентів комп'ютерної системи з метою розробки їх конструкцій;
- розробити та дослідити функціональні та схемотехнічні моделі біморфних п'єзоелементів, дослідити реакцію перетворювачів на сигнали спеціальної форми;
- синтезувати структурні схеми комп'ютерної системи визначення виникнення ефекту Коанда;
- розробити стенд для натурних випробувань комп'ютерної системи, що включає первинні перетворювачі, апаратну частину і програмне забезпечення, а також розробити макет, що імітує момент виникнення ефекту Коанда при роботі АГРК.

Об'єкт дослідження – процеси визначення ефекту Коанда за допомогою комп'ютерних систем під час експлуатації азимутальної гвинто-рульової колонки.

Предмет дослідження – моделі, методи та засоби створення комп'ютерної системи визначення ефекту Коанда.

Методи дослідження. У дисертаційному дослідженні використані наступні методи: дедукції – при виборі напрямків дисертаційного дослідження; експертної оцінки – при виборі теми і постановки мети дослідження та аналізі результатів (обробка експертних оцінок); системного аналізу – при розробці технології наукових досліджень; кінцево-різницевий – для чисельного рішення рівнянь; фізичного і математичного моделювання – для дослідження процесів статичних навантажень; математичного моделювання – для розробки способу реєстрації відхилення валопровода; функціонального та схемотехнічного моделювання – при схемотехнічному та функціональному моделюванні п'єзоперетворювачів; фізичного експерименту – при визначенні параметрів процесу фізичної моделі.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в створенні моделей і методів розробки комп'ютерної системи визначення виникнення ефекту Коанда при експлуатації АГРК багатофункціональних морських платформ, що дозволяє знизити аварійність і поліпшити роботу системи динамічного позиціонування напівзанурених плавучих бурових установок. Відмінність запропонованої системи від існуючих механічних полягає в можливості відмови від громіздких механічних конструкцій, що знижують ККД пропульсивного комплексу, і зниженні аварійності експлуатації системи.

При цьому, вперше отримані наступні наукові результати:

- вперше розроблено метод визначення ефекту Коанда на основі фіксації відхилень суднового валопроводу під дією зовнішньої сили, що здійснюється за допомогою датчиків, які розташовані в контрольних точках;
- вперше розроблено метод визначення зон найбільшого напруження АГРК, який дозволив отримати просторовий графік її навантажень, що дає можливість розташовувати датчики фіксації відхилень суднового валопроводу в точках максимального впливу;
- удосконалено моделі біморфних п'єзоперетворювачів, що дозволило визначити фізичні параметри та характеристики первинних перетворювачів, котрі входять до складу комп'ютерної системи визначення ефекту Коанда;
- отримали подальший розвиток функціональні та схемотехнічні моделі п'єзоперетворювачів за рахунок врахування параметрів поліморфних елементів, що дало змогу вибирати оптимальні форми, типи і розміри п'єзоперетворювачів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному: проведено дослідження і побудована комп'ютерна модель АГРК; розроблені математичні, функціональні та схемотехнічні моделі, що дозволяють визначати силу, діючу на валопровід; розроблено алгоритм вимірів зусилля, прикладеного до валопроводу. Наведено практичні рекомендації щодо розрахунку, конструювання та експлуатації пропонованої системи.

Запропонована і запатентована система визначення виникнення ефекту Коанда шляхом уведення в конструкцію датчиків, що розташовані у точках найбільшого напруження АГРК.

Розроблено програмне забезпечення для комплексу системи визначення ефекту Коанда, що дозволяє зафіксувати момент виникнення цього ефекту і передати інформацію в систему управління пропульсивним комплексом для своєчасного попередження аварійної ситуації.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені: в навчальний процес, при проведенні навчальних занять за спеціальністю "Автоматизоване управління технологічними процесами" та "Експлуатація суднових енергетичних установок" в Національному університеті "Одеської морської академії".

Особистий внесок здобувача. Усі результати, наведені у дисертаційній роботі, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. В наукових статтях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать наступні результати: [1–3, 5, 6] – постановка завдань, аналіз отриманих результатів; [7–9, 15, 16] – результати інформаційного пошуку та систематизація праць за темою дослідження, участь у розробці основних положень, що пропонуються; [10–12, 17–20] – розробка методу та основних положень визначення ефекту Коанда за допомогою комп'ютерної системи; [21, 22] – пропозиція основної ідеї побудови суднової системи моніторингу для попередження ефекту Коанда, формулювання формули корисної моделі.

Апробація результатів дисертації. Результати і положення дисертаційної роботи докладалися, обговорювалися і були схвалені на наукових конференціях: XIX Міжнародній конференції з автоматичного управління "Automatics – 2012", науково-технічній конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт" (Одеса, 2015); Міжнародній науково-технічній конференції "The 12th International Conference on Engine Room Simulators: Proceeding" (Istanbul Technical University, Istanbul, 2015).

Публікації. Основні результати дисертаційного дослідження опубліковані в 22 наукових роботах, з яких: 15 статей, в тому числі одна у журналі, що індексується у наукометричній базі Scopus, 5 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних конференцій, 2 патенти України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний об'єм роботи складає 156 сторінок і містить 85 рисунків та три таблиці, зокрема: 132 сторінки основного тексту, список використаних джерел з 127 найменувань, 5 сторінок додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність напрямку досліджень, наведено зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і 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 огляд літературних джерел, проаналізований стан предмета досліджень та сформульована задача дослідження.

В роботі показано, що останнім часом з розвитком технологій і підвищенням вимог до точності позиціонування плавучих бурових платформ і науково-дослідницьких суден, а також для спрощення маневрів в обмежених умовах, судна все частіше обладнуються азимутними гвинто-рульовими

колонками (АГРК), які встановлюються як додатково, так і в якості основної рушійної установки. Їх головне завдання полягає в тому, щоб забезпечити стійкість платформи і керованість в широкому діапазоні типів суден.

Однак, в ході експлуатації АГРК виникають ситуації, при яких знижується безпечна і ефективна їх робота. Так, для утримання судна на фіксованій позиції АГРК направляє потік води під днище судна, в результаті чого з'являється ймовірність виникнення ефекту Коанда, при якому потік "прилипає" до днища судна. При цьому сила, що діє на гвинт, призводить до відхилення гребного валу, що тягне за собою підвищений знос дейдвудного та опорних підшипників. У зв'язку з конструктивною особливістю знаходження АГРК нижче ватерлінії під днищем судна, доступ до діагностики, планового обслуговування і ремонту ускладнений. Робота бурових платформ заснована на тривалому терміні експлуатації і передчасний вихід з ладу однієї з АГРК, що входять в систему динамічного позиціонування, може призвести до трагічних наслідків, багатомільярдних втрат і техногенної катастрофи.

Передбачити і прорахувати цей виникаючий процес з деталізацією всіх параметрів на сьогодні неможливо, оскільки на виникнення ефекту Коанда впливає безліч факторів: швидкість судна; швидкість і напрямок обертання гвинта; швидкість течії; хімічний склад і глибина водної поверхні; температура, вологість і тиск повітряного середовища тощо.

В роботі була проведена класифікація відомих систем протидії ефекту Коанда. Так, фірмою "ABB Group" рекомендовано використання монтажного кута нахилу, максимальне значення якого (поздовжній і поперечний кут) рекомендується 4° . Наступним методом боротьби є використання насадки на гвинт. Для цього гвинт укладають в трубу з пелюстковими напрямними світловідбивачами (насадка з направляючими крилами). Проте кожен з цих методів має суттєві недоліки, що потребує пошуку нових ефективних методів визначення ефекту Коанда.

Проведений в першому розділі аналіз дозволив визначити ряд задач, вирішенню яких присвячений матеріал наступних трьох розділів.

У **другому** розділі наведено результати модельного експерименту із визначення точок навантаження АГРК. Виходячи з розглянутих моделей, конструкцій АГРК і властивостей управління обрано середовище для побудови комп'ютерної моделі. Для розробки моделі АГРК, що знаходиться в рівноважному стані під впливом деякого навантаження, в роботі використано метод кінцевих елементів. При цьому визначено, що для моделювання найбільш підходять тривимірні кінцеві елементи – тетраedr і паралелепіпед. В обох випадках лінійні елементи обмежені прямолінійними сторонами (площинами), тоді як елементи більш високого порядку можуть мати в якості границь криволінійні поверхні. В окремому випадку також можлива розбивка

на елементи, подібні двовимірному трикутнику, які дозволяють врахувати зміну невідомої величини уздовж третьої координати.

Для здійснення симуляції, при розбитті моделі на кінцеві елементи, обрана величина елемента рівна 1000 квадратних міліметрів, що є оптимальним для даної задачі (рис. 1). Поліпшення моделі призведе до надмірно важкого навантаження на обчислювальні ресурси і краху симуляції. Погіршення якості моделі спричинить більш значиму похибку в точці стресу.

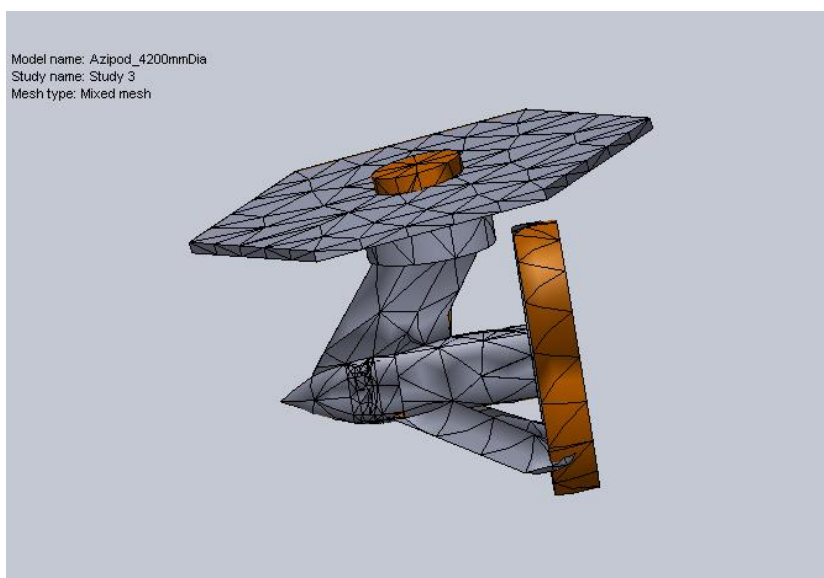


Рис. 1. Сітка моделі, отримана методом кінцевих елементів

Для проведення статичної симуляції реалізований алгоритм дій, який складався з наступних кроків: нанесення гравітації, вибору товщини матеріалу і власне матеріалу елементів моделі, вибору геометричних точок кріплення, вибору місця, вектора і величини нанесення механічного навантаження. Після розбиття моделі на сітку методом кінцевих елементів і проведення статичної симуляції отримано просторовий графік навантажень (рис. 2), що дозволяє визначити як мінімум 4 точки для розташування датчиків напруження. Встановлено, що основні точки навантаження – це дейдвудний, упорний та опорні підшипники, баллер та платформа кріплення.

В результаті проведеного аналізу визначено, що найкращим типом датчиків, який може бути застосований для визначення навантаження в АГРК – є п'єзоелектричний. Визначені недоліки п'єзоматеріалу, які можуть впливати на неточність виміру параметрів при визначенні ефекту Коанда: нелінійність АЧХ; гістерезис; повзучість; температурна та часова нестабільність параметрів матеріалу. Необхідність усунення цих недоліків визначила конструкцію системи, що створена для визначення ефекту Коанда.

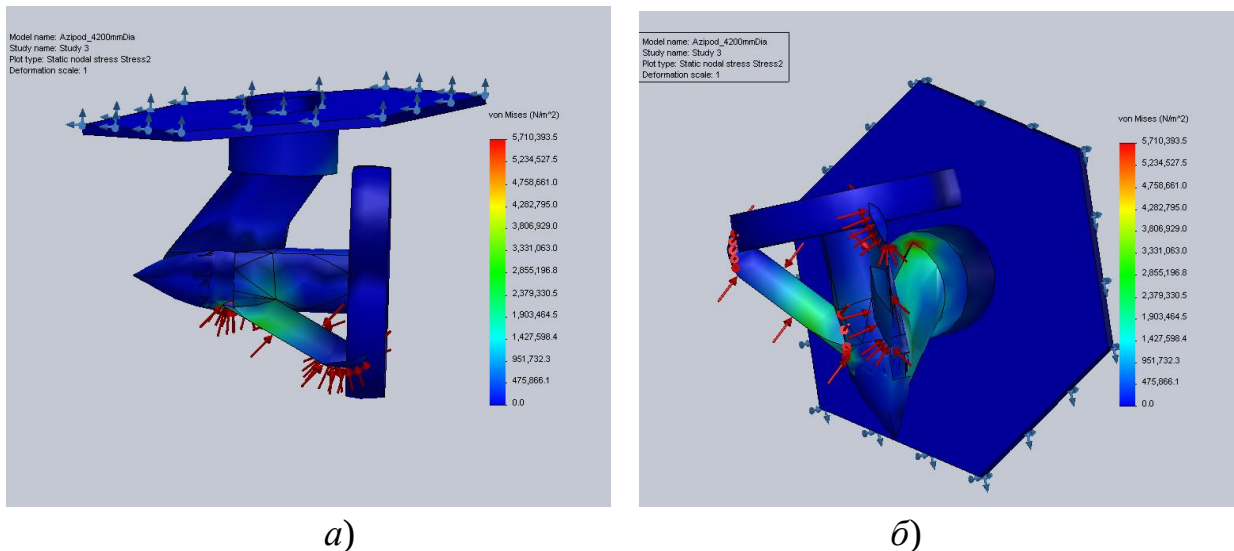


Рис. 2. Результати деформації: а) – вид збоку; б) – вид знизу

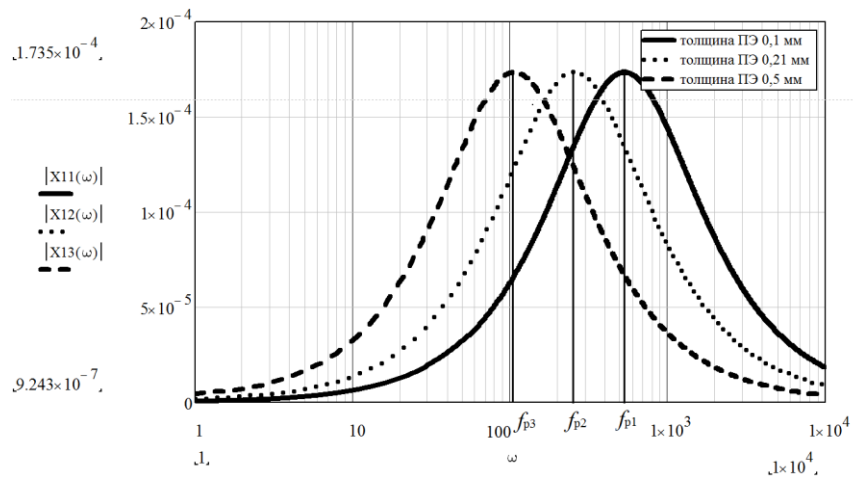
У третьому розділі було проведено побудову моделей датчиків комп'ютерної системи для визначення ефекту Коанда. При аналізі шести існуючих режимів роботи п'єзоелектричних перетворювачів (ПП) встановлено, що в комп'ютерній системі для визначення ефекту Коанда можна використовувати три режими: прямий п'єзоефект, п'єзотрансформаторний режим по напрузі та генераторний режим. Складено електричні схеми заміщення, побудовані передавальні функції та отримані АЧХ та ФЧХ для усіх режимів (рис. 3).

В результаті проведених досліджень встановлено наступне:

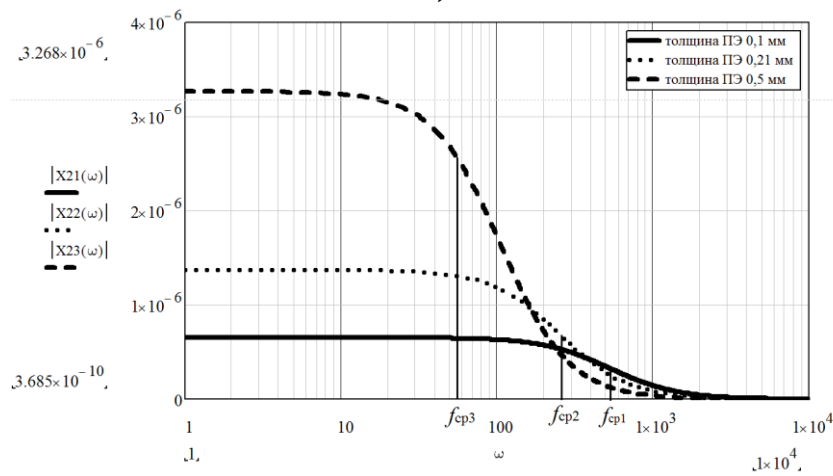
- п'єзотрансформаторний режим (по напрузі) являє собою фільтр низьких частот;
- режим прямого п'єзоефекту – селективний фільтр;
- генераторний режим – фільтр високих частот.

Режим прямого п'єзоефекту відрізняє простота конструкції, максимальний ефект якого досягається роботою на заданій паспортній частоті. Однак, під впливом змін параметрів навколишнього середовища можуть змінюватися параметри самого п'єзоперетворювача. Внаслідок зміни резонансної частоти коефіцієнт посилення всієї схеми може знизитися до такого рівня, коли корисний сигнал перестане розпізнаватися системою.

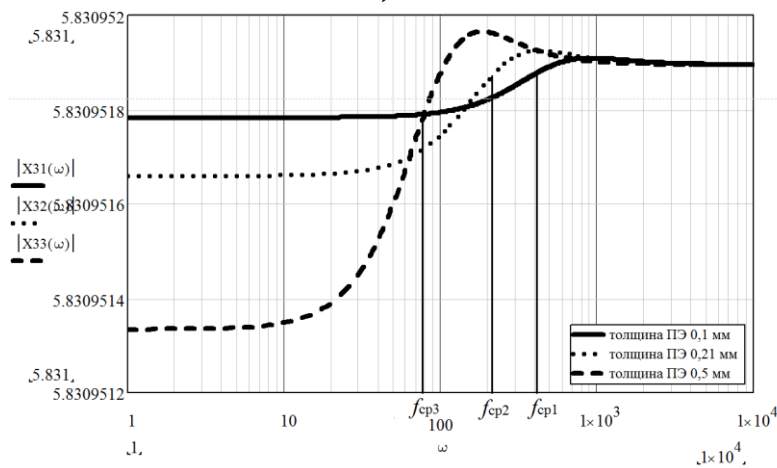
Робота перетворювача у п'єзотрансформаторному режимі знаходиться в області низьких частот і в області інфразвуку. На частоті вище паспортної частоти резонансу ПП коефіцієнт посилення зменшується до нуля. Встановлено, що використання в режимі п'єзотрансформатора ПП з мінімальною товщиною має перевагу в більшому діапазоні робочої частоти при незначному зменшенні коефіцієнта підсилення.



а)



б)



в)

Рис. 3. АЧХ п'єзоперетворювача з кераміки TiBaO діаметром 12 мм з пластиною діаметром 15 мм: а) – режим прямого п'єзоефекту; б) – трансформаторний режим; в) – генераторний режим

Частотна характеристика при роботі в генераторному режимі має лінійну ділянку починаючи з паспортної частоти резонансу ПП – в області високих частот і ультразвуку. До цієї ділянки характеристика залежить від добротності. Виявлено, що при використанні максимально-можливих тонких конструкцій

ПП, можна перейти в області нижче частоти резонансу, де характеристика також має горизонтальний вигляд. Генераторний режим характеризується більшим підсиленням сигналу, проте є складнішим у схемотехнічному виконанні.

Для дослідження моделей перетворювачів необхідно враховувати реальні впливи на чутливі елементи. Типовим впливом на п'єзоелемент при виникненні ефекту Коанда є відносно повільний сигнал, наростаючий та спадаючий по експоненціальній та логарифмічній залежностям. В роботі побудовані моделі генераторів, що дозволили отримати моделі впливів реальних сигналів на ПП, які виникають при виникненні ефекту Коанда. Це дало можливість проводити подальші функціональне та схемотехнічне моделювання п'єзоперетворювачів.

В роботі проаналізовані функціональні властивості біморфних п'єзоперетворювачів. Для підбору оптимальних параметрів п'єзоелементів в роботі запропоновано удосконалити існуючі типи моделей, а саме: функціональної і схемотехнічної. Функціональна модель біморфного п'єзокерамічного елемента, що отримана з використанням середовища пакета SxSAPR, зображена на рис. 4, б.

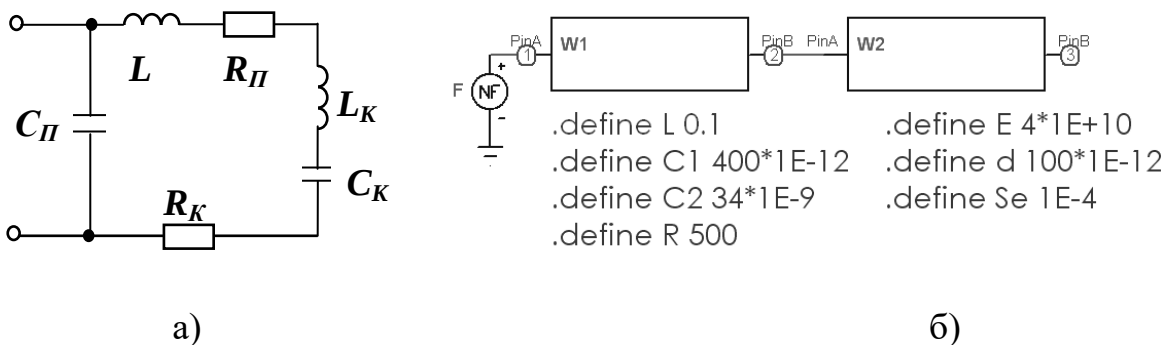


Рис. 4. Біморфний п'єзоелемент: а – еквівалентна схема, б – функціональна модель, де C_{PE} – міжелектродна ємність; C_K , L_K , R_K – динамічна ємність, індуктивність та опір; L_P , R_P – параметри, що описують властивості пластини

АЧХ и ФЧХ функціональної моделі біморфного ПП показані на рис. 5.

Схемотехнічна модель біморфного ПП для визначення ефекту Коанда, що отримана з використанням середовища SxSAPR, показана на рис. 6.

В роботі отримані передаточні функції, побудовані та досліджені АЧХ, ФЧХ та перехідні характеристики біморфних ПП для роботи в усіх трьох можливих режимах. Досліджена стійкість системи за допомогою критерію Найквіста.

У четвертому розділі описана розроблена комп'ютерно-інтегрована система фіксації відхилення суднового валопровода під дією зовнішньої сили, що дозволяє обробляти інформацію, яка надходить з датчиків, для її перетворення у зручний для оператора вигляд (рис. 7).

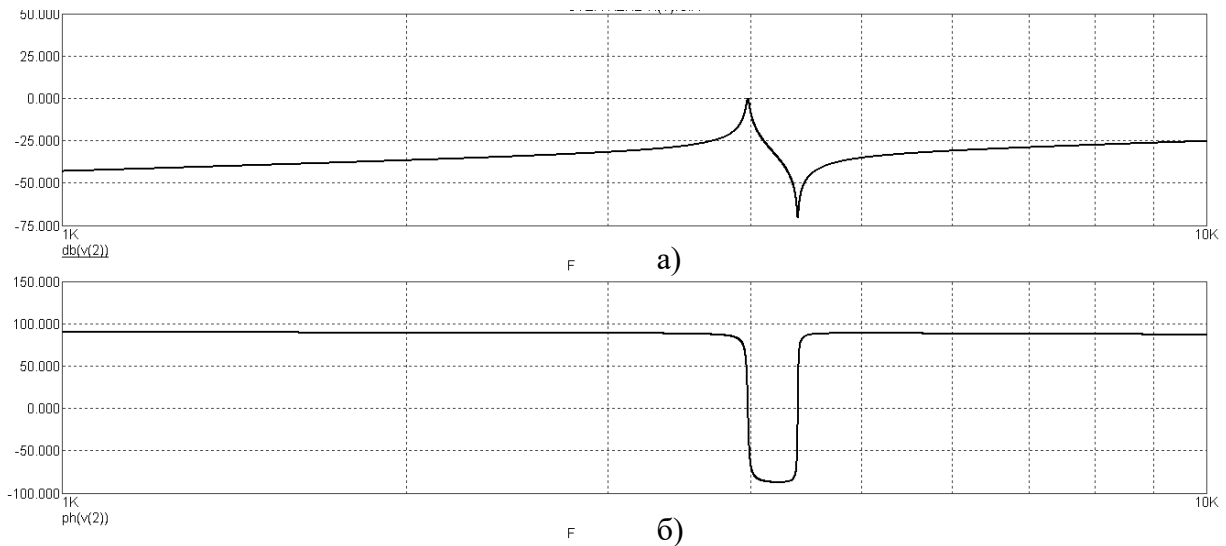


Рис. 5. АЧХ (а) и ФЧХ (б) функціональної моделі ПП за рис. 4,б

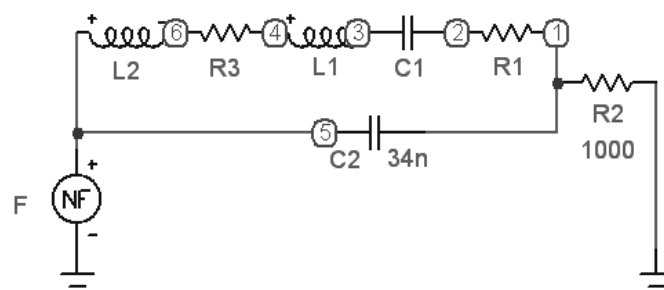


Рис. 6. Схемотехнічна модель біморфного ПП для визначення ефекту Коанда

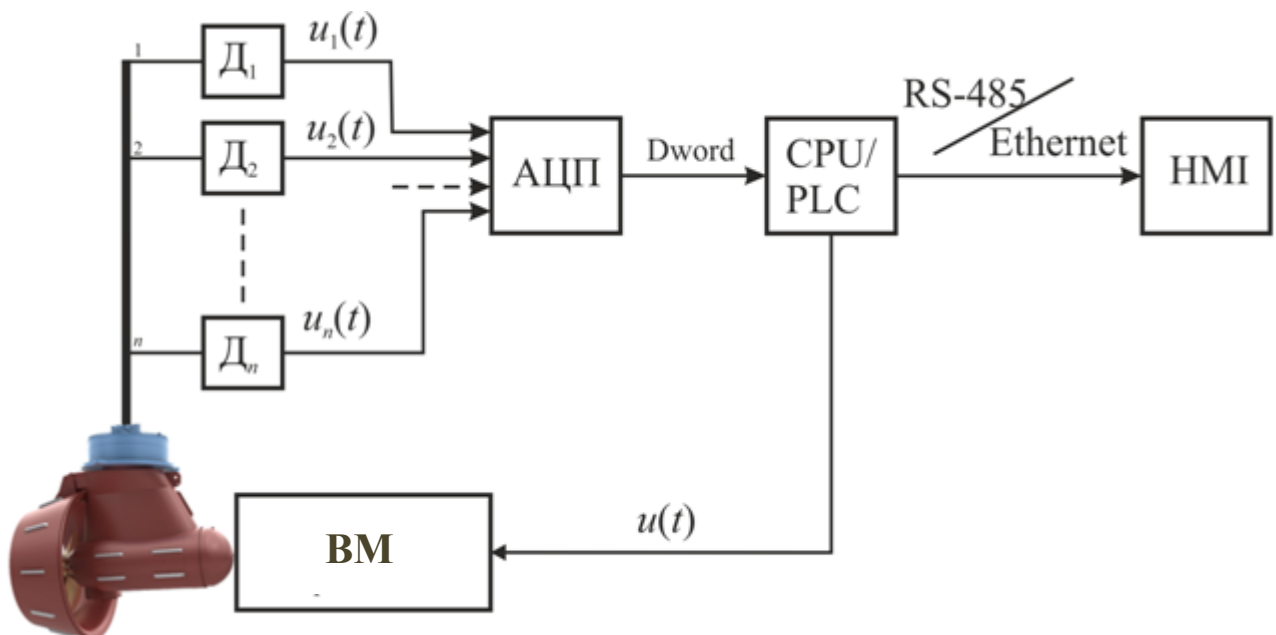


Рис. 7. Структурна схема комп'ютерної системи визначення ефекту Коанда:
 $D_1 \dots D_n$ – датчики; АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
 CPU/PLC – програмований логічний контролер; ВМ – виконуючий механізм;
 HMI – Human Machine Interface

В дисертаційній роботі розроблена і запатентована суднова система гвинто-рульової установки для визначення ефекту Коанда, в якій п'єзодатчики розташовані уздовж кола дейдвудного підшипника валопроводу гвинто-рульової установки (рис. 8, а), що складається з: 1 – днища судна; 2 – баллера; 3 – силової гондоли; 4 – упорного підшипника; 5 – валопроводу; 6 і 8 – опорних підшипників; 7 – механічного або електричного пристрою; 9 – дейдвудного підшипника; 10 – гвинтів; 11 – напрямку потоку води; 12-19 – п'єзодатчиків; 20 – корпусу судна; 21 – діелектричного шару; 22 – від'ємного полюса; 23 – дейдвудного підшипника; 24 – валопроводу; БП – блоку перетворювачів; МК – мікроконтролера з RS-485.

Недолік даної системи полягає в складності інтеграції п'єзоелектричних датчиків для реєстрації відхилення валопроводу в дейдвудний підшипник АГРК, яку слід проводити ще на етапі конструювання та будівництва. Для вирішення цього завдання була запропонована і запатентована суднова система визначення стану гвинто-рульової установки, в якій п'єзодатчики розташовані в точках найбільшого напруження – місцях кріплення гвинто-рульової установки до корпусу судна (рис. 8, б), що складається з: 1 – місця кріплення колонки АГРК; 2 – корпусу судна; 3 – колонки АГРК; 4 – напрямку потоку води. На рис. 8, б, (в розрізі по А – А) показаний один з п'єзодатчиків, що змонтований в місці кріплення АГРК до корпусу судна.

При виникненні ефекту Коанда колонка АГРК під дією потоку води вигинається вгору до корпусу судна, що викликає деформацію вузлів АГРК внаслідок чого з'являється нерівномірний знос дейдвудного, упорного і опорних підшипників АГРК.

Для реєстрації та подальшого дослідження моменту виникнення ефекту Коанда створений випробувальний стенд, що імітує момент виникнення ефекту Коанда і дозволяє в реальному часі його зафіксувати. Макет складається з двох квадратних сталевих пластин. Нижня пластина жорстко з'єднана з корпусом і нерухома. Верхня пластина з'єднана з рухомим вертикальним штифтом. Між пластинами розташовані п'єзоелектричні датчики. Між верхньою пластиною і датчиками розташовані прокладки, які виконують дві функції: демпфуючу та ізолюючу. При роботі штифт, який виконує функції баллера АГРК, відхиляється від вертикальної позиції, що призводить до нахилу верхньої пластини. При цьому відстань між пластинами зменшується, відбувається деформація п'єзоелектричного датчика. Отриманий в результаті прямого п'єзоефекту сигнал передається на мікроконтролер для подальшої обробки. Розроблено відповідне програмне забезпечення. В процесі роботи на індикаторі відображається номер п'єзоелектричного датчика, що спрацював, та рівень сигналу, який відповідає прикладеному тиску.

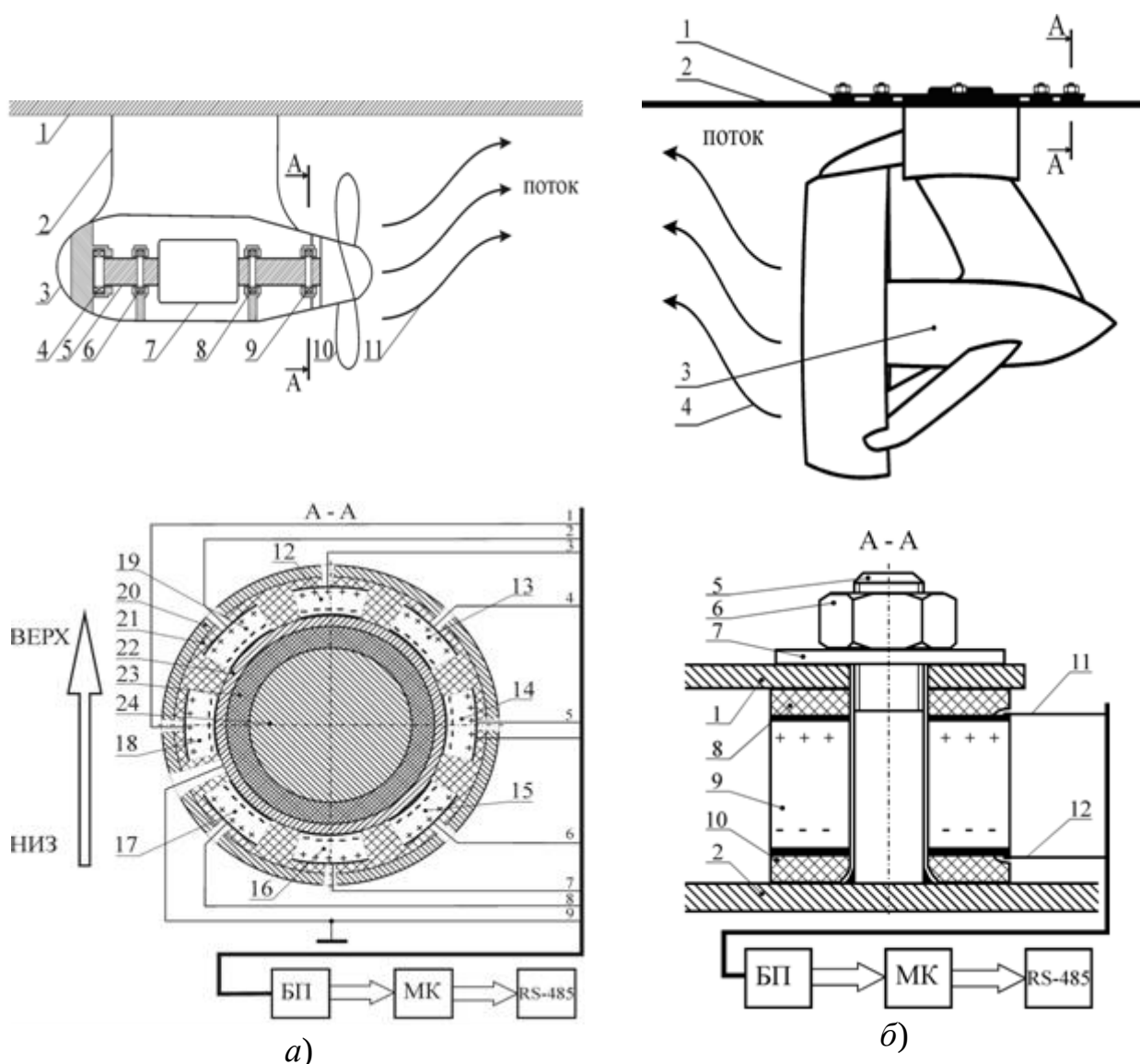


Рис. 8. Комп'ютерна система для визначення ефекту Коанда:

а) – з розташуванням п'єзоелектричних датчиків уздовж окружності дейдвудного підшипника валопроводу АГРК; б) – розташування п'єзодатчиків в місці кріплення АГРК до корпусу судна

Наступним етапом стало дослідження роботи системи на натурній моделі багатофункціональної платформи, створеної в Національному університеті "Одеська морська академія" на кафедрі технічної експлуатації флоту під керівництвом В.В. Бодашко (рис. 9). На цій платформі проводяться дослідження щодо підвищення ефективності функціонування суднових енергетичних установок комбінованих пропульсивних комплексів, одним з етапів якої є вироблення алгоритмів і способів протидії ефекту Коанда шляхом зміни режимів роботи пропульсивної установки.



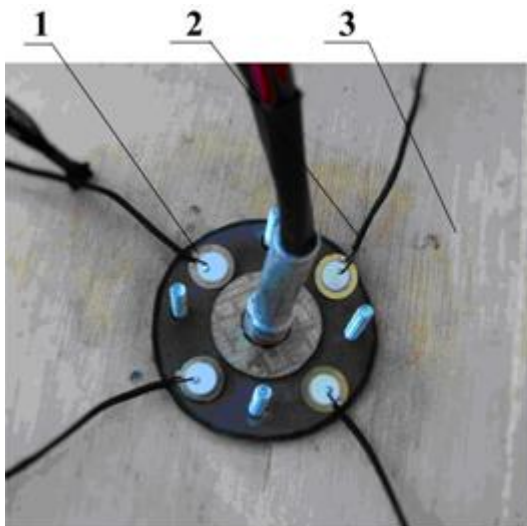
а)



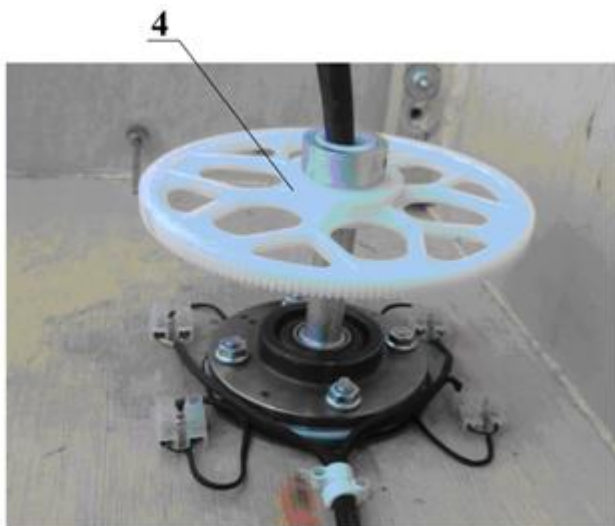
б)

Рис. 9. Кормовий пропульсивний комплекс (вид збоку) (а) та АГРК з двома ступенями свободи (б)

Монтаж п'єзоелементів показаний на рис. 10.



а)



б)

Рис. 10. Монтаж п'єзоелементів на натурній моделі: а) – монтаж ПП; б) – колонка в зборі; 1 – п'єзоелемент; 2 – сигнальний кабель; 3 – корпус платформи; 4 – привід рульового пристрою

Апаратна частина була реалізована за допомогою апаратних модулів, що розроблені групою університетів в рамках проекту TEMPUS 544010-TEMPUS-1-2013-1-DE-TEMPUS-JPHES TATU (рис. 11).

Проведені експерименти показали придатність отриманих теоретичних положень для визначення ефекту Коанда.

ВИСНОВКИ

У дисертації на основі виконаних автором досліджень вирішено важливу науково-технічну задачу підвищення безпеки експлуатації азимутальної гвинто-

рульової колонки, яка сприяє зменшенню експлуатації суден торгового і військово-морського флотів.

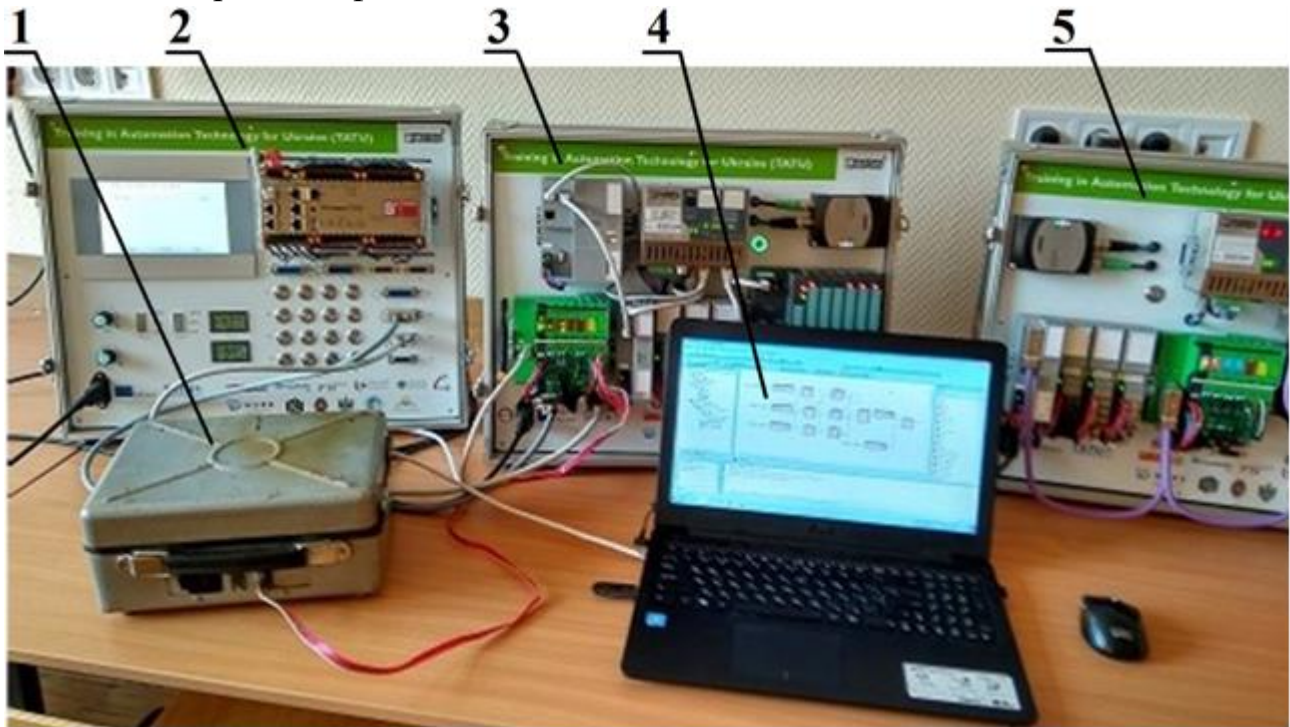


Рис. 11. Лабораторний стенд: 1 – блок п'єзоперетворювачів; 2 – апаратний модуль "Моделювання процесів"; 3 – апаратний модуль "Програмовані контролери і PROFINET"; 4 – персональний комп'ютер; 5 – апаратний модуль "Profibus"

У результаті виконаних автором досліджень було виявлено ряд закономірностей, аналіз яких дозволяє стверджувати, що сформульовані в роботі задачі можуть вважатися виконаними. При виконанні роботи були використані коректні і достовірні методи дослідження.

У роботі отримані наступні основні наукові та практичні результати.

Розроблений метод визначення місць найбільшого навантаження АГРК, що дозволяє розміщувати компоненти комп'ютерної системи (п'єзоперетворювачі) у місцях з найбільшою чутливістю для визначення виникнення ефекту Коанда. Проведений аналіз конструкцій АГРК дозволив визначити, що надлишкові напруження, крім підшипників гвинтової групи, виникають на баллері керма і платформі кріплення АГРК до корпусу судна, що визначає кількість місць установки датчиків.

Побудовано моделі та визначено фізичні параметри та характеристики первинних біморфних п'єзокерамічних перетворювачів, що входять до складу комп'ютерної системи визначення ефекту Коанда. Розроблені моделі дозволяють провести оптимальний вибір конструкцій компонентів комп'ютерної системи.

Отримані функціональні і схемотехнічні моделі біморфних п'єзоелементів, які використовуються для визначення ефекту Коанда. Вивчено амплітудночастотні, фазочастотні та перехідні характеристики, а також розглянуто реакції на впливи спеціальної форми. За допомогою критерію Найквіста розглянута стійкість системи. Відповідність характеристик функціональних і схемотехнічних моделей підтверджує адекватність отриманих моделей.

Розроблено стенд для натурних випробувань, що дозволив підтвердити правильність обраного напрямку й надалі інтегрувати комп'ютерно-інтегровану систему визначення ефекту Коанда в натурну модель багатофункціональної платформи.

Синтезовано комп'ютерну систему визначення ефекту Коанда в АГРК, що дозволяє судноводіям і механікам оперативно відпрацьовувати початок втрати упору гвинта, яка, в свою чергу, може сягати 15 %.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені в навчальний процес: при проведенні навчальних занять за спеціальностями "Автоматизоване управління технологічними процесами" та "Експлуатація суднових енергетичних установок" в Національному університеті "Одеської морської академії".

Успішне розв'язання поставленої науково-технічної задачі сприяє вирішенню важливої проблеми забезпечення безпеки судноводіння, що веде до зменшення кількості аварійних випадків і, як наслідок, до зниження небезпеки людському життю, навколишньому середовищу і майну.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Сандлер А. К. Использование волоконно-оптических устройств для предотвращения техногенных катастроф на судах / А. К. Сандлер, В. В. Никольский, **С. Г. Хнюнин** // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. 9. – Одесса: ОНМА. – С. 82–90.

2. Карпилов А. Ю. Оптимальные и квазиоптимальные режимы работы пропульсивного комплекса / А. Ю. Карпилов, **С. Г. Хнюнин** // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. 9. – Одесса: ОНМА. – С. 49–54.

3. Дулдиер А. П. Датчик контроля излучения пламени с использованием метода цветовой пирометрии / А. П. Дулдиер, **С. Г. Хнюнин** // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2007. – Вып. 12. – Одесса: ОНМА. – С. 36–40.

4. **Хнюнин С. Г.** Организация экспорта-импорта данных в информационной системе технического менеджмента судов / **С. Г. Хнюнин** //

Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2009. – Вып. 15. Одесса: ОНМА. – С. 99–105.

5. Никольский В. В. Совершенствование системы управления частоты вращения дизель-генератора / В. В. Никольский, Е. М. Оженко, В. С. Свинобой, **С. Г. Хнюнин** // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2010. – Вып. 16. Одесса: ОНМА. – С. 87–91.

6. **Хнюнин С. Г.** Совершенствование системы управления микроклиматом судна / **С. Г. Хнюнин**, М. В. Никольский // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2011. – Вып. 17. Одесса: ОНМА. – С. 107–116.

7. Никольский В. В. Использование пьезоэлектрического трансформатора в системах микроклимата судовых помещений / В. В. Никольский, **С. Г. Хнюнин** // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2012. – Вып. 18. Одесса: ОНМА. – С. 87–92.

8. Никольский В. В. Автоматизация учёта контейнеров портового терминала / В. В. Никольский, В. И. Гура, **С. Г. Хнюнин** // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2013. – Вып. 19. Одесса: ОНМА. – С. 55–62.

9. Ковальков В. И. Измеритель динамических параметров электронных устройств / В. И. Ковальков, В. В. Никольский, **С. Г. Хнюнин** // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2013. – Вып. 19. Одесса: ОНМА. – С. 33–39.

10. Будашко В. В. Система мониторинга состояния винторулевой колонки для предупреждения эффекта Коанда / В. В. Будашко, В. В. Никольский, **С. Г. Хнюнин**, Ю. А. Накул // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса: ОНМА. – С. 22–28.

11. Никольский В. В. Система мониторинга позиционирования полупогружных плавучих буровых установок / В. В. Никольский, В. В. Будашко, **С. Г. Хнюнин**, Н. Е. Раенко // Судовые энергетические установки: науч.-техн. сб. – 2015. – № 35. – Одесса: ОНМА. – С. 137–141.

12. Budashko V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, **S. Khniunin** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – 3/8 (81). – P. 10–21.

13. **Хнюнін С. Г.** Створення системи реєстрації виникнення ефекту відхилення потоку рідини / **С. Г. Хнюнін** // Наукові праці: Науково-методичний журнал. – Вип. 271., Т. 283. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. – С. 113–120.

14. **Хнюнін С. Г.** Функціональне та схемотехнічне моделювання п'єзоперетворювачів для визначення ефекту Коанда / **С. Г. Хнюнін** // Наукові

праці: Науково-методичний журнал. – Вип. 275., Т. 287. Серія «Комп'ютерні технології». – Миколаїв: Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. – С. 145–150.

15. Горб С. И. Техническое обеспечение подготовки судовых инженеров по системам автоматизации с программируемыми контроллерами / С. И. Горб, В. В. Никольский, **С. Г. Хнюнин**, В. Ф. Шапо // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2016. – Вып. 22. Одесса: НУ "ОМА". – С. 39–46.

16. Никольский В. В. Совершенствование системы управления микроклиматом судна / В. В. Никольский, **С. Г. Хнюнин** // Automatics – 2012. XIX Міжнародна конференція з автоматичного управління, 26 – 28 вересня 2012 року: матеріали конференції. – К: НУХТ, 2012. – С. 232.

17. Никольский В. В. Система мониторинга позиционирования полупогружных плавучих буровых установок / В. В. Никольский, В. В. Будашко, **С. Г. Хнюнин**, Н. Е. Раенко // Матеріали науково-технічної конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт". 24.03.2015 – 25.03.2015. Частина 2. – Одеса: ОНМА. – 2015. – С. 213–215.

18. Будашко В. В. Компенсація деградаційних ефектів під час взаємодії азимутального потоку з корпусом судна / В. В. Будашко, В. В. Нікольський, О. А. Онищенко, **С. Г. Хнюнін** // Матеріали науково-технічної конференції "Морський та річковий флот: експлуатація і ремонт". 24.03.2015 – 25.03.2015. Частина 2. – Одеса: ОНМА. – 2015. – С. 207–209.

19. Nikolskyi V. The monitoring system of the Coanda effect for the tension-leg platform's / V. Nikolskyi, V. Budashko, **S. Khniunin** // The 12th International Conference on Engine Room Simulators: Proceeding. – Istanbul Technical University, Istanbul, 19–20 November, 2015. – P. 45–48.

20. Budashko V. V. Physical modelling effects degradation by interaction azimuthal flow with hull / V. V. Budashko, V. V. Nikolskyi, O. A. Onishchenko, **S. H. Khniunin** // The 12th International Conference on Engine Room Simulators: Proceeding. – Istanbul Technical University, Istanbul, 19–20 November, 2015. – P. 49–52.

21. Пат. 100819 Україна, МПК G01L 9/08, 5/12, 1/16. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда / В. В. Будашко, В. В. Нікольський, **С. Г. Хнюнін**. – № u201501854; заявл. 02.03.2015; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.

22. Пат. 107006 Україна, МПК G01L 9/08, 5/12, 1/16. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда / В. В. Будашко, В. В. Нікольський, **С. Г. Хнюнін**. – № u201512962; заявл. 28.12.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.

АНОТАЦІЯ

Хнюнін С.Г. Моделі, методи та засоби створення комп'ютерної системи визначення ефекту Коанда на базі п'єзоперетворювачів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти. – Національний університет «Одеська морська академія», 2017.

Дисертаційне дослідження присвячене вирішенню актуальної науково-практичної задачі підвищення безпеки експлуатації азимутальної гвинто-рульової колонки шляхом розробки методів та засобів створення комп'ютерної системи визначення ефекту Коанда.

В роботі створено моделі та методи розробки комп'ютерної системи визначення виникнення ефекту Коанда при експлуатації АГРК багатофункціональних морських платформ, що дозволяє знизити аварійність і поліпшити роботу системи динамічного позиціонування напівзаглибних плавучих бурових установок. Відмінність запропонованої системи від існуючих механічних полягає у можливості відмови від громіздких механічних конструкцій, що знижують ККД пропульсивного комплексу, і зниженні аварійності експлуатації системи.

Ключові слова: комп'ютерна система, ефект Коанда, азимутальна гвинто-рульова колонка, п'єзоперетворювачі.

SUMMARY

S.H. Khniunin. Models, methods and tools for computer system definition of Coand's effect on the basis of piezoelectric transducers. – Manuscript.

The thesis for a Degree of Candidate of Science (Engineering) in specialty 05.13.05 – Computer systems and components. – National University “Odessa Maritime Academy”, 2017.

The dissertation research is devoted to the solution of the actual scientific and practical problem of increasing the safety of the azimuth propeller-steering column by developing methods and means for creating a computer system for determining the Coand's effect.

In this paper, models and methods for developing a computer system for determining the appearance of the Coand's effect in the operation of AGRK for multifunctional offshore platforms have been created, which makes it possible to reduce the accident rate and improve the work of the dynamic positioning system for semisubmersible floating drilling rigs. The difference between the proposed system and the existing mechanical systems lies in the possibility of abandoning the cumbersome mechanical designs that reduce the efficiency of the propulsion complex and reduce the accident rate of their operation.

Keywords: computer system, Coand's effect, azimuth screw-steering column, piezotransducers.

АННОТАЦИЯ

Хнюнин С.Г. Модели, методы и средства создания компьютерной системы определения эффекта Коанда на базе пьезопреобразователей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – Компьютерные системы и компоненты. – Национальный университет «Одесская морская академия», 2017.

Диссертационное исследование посвящено решению актуальной научно-практической задачи повышения безопасности эксплуатации азимутальной винто-рулевой колонки путем разработки методов и средств создания компьютерной системы определения эффекта Коанда.

В работе созданы модели и методы разработки компьютерной системы определения возникновения эффекта Коанда при эксплуатации АВРК многофункциональных морских платформ, позволяющей снизить аварийность и улучшить работу системы динамического позиционирования полупогружных плавучих буровых установок. Проведенный анализ существующих конструкций АВРК и способов борьбы с возникающим эффектом Коанда позволил установить, что на данный момент не существует способов электронного определения начала возникновения данного эффекта. Отличие предложенной системы от существующих механических систем заключается в возможности отказа от громоздких механических конструкций, снижающих КПД пропульсивного комплекса, и снижении аварийности при их эксплуатации.

В работе разработан метод определения зон наибольшего напряжения АВРК, позволивший получить пространственный график её нагрузок. Определены точки наибольшего напряжения, в которых рекомендовано располагать пьезоэлектрические датчики.

Построены модели и определены физические параметры (характеристики) первичных пьезопреобразователей, входящих в состав компьютерной системы определения эффекта Коанда.

Проведен анализ функциональных свойств пьезопреобразователей. Рассмотрены математические и схематехнические модели исследуемых преобразователей. Изучены отклики на специальные воздействия, амплитудно-частотные, фазочастотные и переходные характеристики преобразователей, рассмотрен вопрос устойчивости системы.

Синтезирована компьютерная система определения эффекта Коанда, позволяющая определить его начало и передать информацию судоводителям для принятия решения по управлению судном.

Разработана и исследована конструкция стенда имитирующего отклонение баллера АВРК на основе микроконтроллера фирмы Atmel. Разработано

программное обеспечение и получены числовые результаты с каждого из датчиков при отклонении баллера АВРК. Проведена инсталляция датчиков в многофункциональную платформу, включающую в себя шесть АВРК. Построен многоуровневый программно-технический комплекс на базе оборудования компании Phoenix Contact. Написаны алгоритм и программа, используя среду программирования AUTOMATIONWORX Software Suite. Получены осциллограммы с датчиков при отклонении АВРК.

Ключевые слова: компьютерная система, эффект Коанда, азимутальная винто-рулевая колонка, пьезопреобразователи.