

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**  
**доктора технічних наук Хлопенка Миколи Яковича**  
**про кандидатську дисертацію Сапіги Вячеслава Володимировича**  
**«Забезпечення роботоздатності суднового валопровода**  
**при обводнюванні мастила в підшипниках »**

**1. Актуальність обраної теми**

В останні роки суттєво зросли динамічні навантаження на підшипники ковзання суднових валопроводів внаслідок підвищеного рівня вимушених згинальних (поперечних) коливань валів, викликаних їх розцентруванням й розбалансуванням, зносом втулок підшипників, деформаціями фундаментів та корпусів суден і кораблів ВМФ України, які перебувають тривалий час в експлуатації в штормових і непередбачених екстремальних умовах плавання. Ці навантаження при згинальних коливаннях валу носять регулярний характер і при обводнюванні масла в підшипниках з різних причин можуть призводити до втрати стійкості руху вала на мастильних плівках таких опор і, як наслідок, до пошкодження робочих поверхонь тертя, а в ряді випадків до виходу з ладу двигуно-рушійного комплексу.

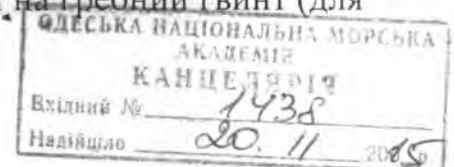
Враховуючи складність і розгалуженість корабельних валопроводів, їх підсистем, а також неможливість проведення експериментальних досліджень на суднах в обстановці, наближеній до екстремальних умов, роблять незамінним засобом для дослідження їх роботоздатності при вимушених поперечних коливаннях методи інженерного аналізу і експериментальних досліджень окремих його елементів на фізичних моделях.

Розрахунок регулярних динамічних навантажень на опорні вузли суднового валопровода може бути виконаний за методом кінцевих елементів із залученням сучасних програмних продуктів. Труднощі, які при цьому виникають, загальновідомі. Значно складніше йде справа з підшипниками. Їх роботоздатність в значній мірі залежить від рівня та форми згинальних коливань валу і невідомого стану мастильного середовища, що утворюється в процесі обводнювання масла у ваннах підшипників. Тому відсутність достовірних відомостей про стан мастильного середовища стримує розробку рекомендацій щодо забезпечення працездатності суднового валопровода при обводнюванні масла в підшипниках.

У зв'язку з вищевикладеним вважаю, що дисертаційна робота Сапіги В.В. є актуальною.

**2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**

Дисертація є завершеним науковим дослідженням, що охоплює всі практично існуючі сторони роботи суднового валопровода при вимушених поперечних коливаннях валопровода на водомістких мастильних плівках радіальних і дейдвудного підшипників, збуджуваних розбалансуванням, розцентруванням валу та нерівномірністю набігання води на гребний гвинт (для



цивільних суден). У ній викладені нові науково-обґрунтовані результати, які узагальнюють теоретичні дослідження роботоздатності суднового валопровода при обводнюванні масла в підшипниках. Узагальнюючи, до них можна віднести наступні:

1. У результаті проведення теоретичних та експериментальних досліджень вирішена актуальна науково-прикладна задача, яка полягає в удосконаленні методу розрахунку і конструювання суднового валопровода, підвищення ефективності його роботи при вимушених поперечних коливаннях і обводнюванні мастила в підшипниках.

2. Вдосконалено математичну модель вимушених поперечних коливань суднових валопроводів на мастильних плівках дейдвудного і радіальних підшипників ковзання, яка відрізняється від відомих тим, що поперечні деформації вала визначаються за методом кінцевих елементів з урахуванням упору гребного гвинта, а мастильні плівки моделюються в'язко-пружними елементами з лінеаризованими коефіцієнтами жорсткості і демпфірування, залежними від геометричних розмірів підшипника, фізичних властивостей середовища в пристрої подачі масла в несучий зазор та контактних деформацій вкладишів.

3. Удосконалено математичну модель динамічних характеристик мастильної плівки - лінеаризованих коефіцієнтів жорсткості і демпфірування радіальних підшипників ковзання, яка відрізняється від відомих моделей наявністю в мастилi газових каверн, що утворюються при обводнюванні масла.

4. Вперше в судовій практиці запропонована математична модель дифузії обводненого мастила в масляній ванні і методика її перенесення в несучий зазор підшипника відомим дисковим пристроєм.

5. Розроблені в дисертації заходи, методики, запропоновані алгоритми та програми дозволяють забезпечити роботоздатність суднового валопровода при поперечних коливаннях і обводнюванні мастила в підшипниках до 60%, що повною мірою підтверджується експериментальними дослідженнями, проведеними на фізичних моделях радіальних підшипників ковзання.

6. У процесі вирішення науково-технічної задачі отримані цікаві теоретичні та експериментальні результати, що свідчать про достовірність проведених досліджень.

7. Отримані на основі теоретичних та експериментальних досліджень корисні для практики нові висновки, які впроваджені в експлуатаційну документацію суднових валопроводів при обводнюванні мастила в радіальних і дейдвудному підшипниках.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації досить висока. Вона забезпечена не тільки експериментальними дослідженнями на фізичних моделях, але й теоретичною базою дисертаційної роботи і, в першу чергу, відомим програмним продуктом методу кінцевих елементів, математичними теоріями гетерогенних систем, стійкості руху валів на масляній плівці з газовими кавернами, методами чисельного рішення нестационарних рівнянь дифузії, перенесення і термогідродинамічної теорії мастила з газовими (паровими) кавернами.

Висунуті в дисертації В.В. Сапіги наукові положення, отримані результати і висновки та застосовувані методи рішення дозволяють характеризувати її як серйозну кандидатську дисертацію.

### **3. Зауваження**

У вступі об'єкт і предмет дослідження сформульовані невірно, оскільки об'єкт дослідження – це процес або явище, що породжує проблемну ситуацію і обране для вивчення, а предмет дослідження міститься в межах об'єкта. У робочій гіпотезі дослідження, яку наведено на стор.1 автореферату, дисертант пропустив слово «амплітуди» перед словом «коливання». В дисертації це слово не пропущено.

У *першому розділі*, присвяченому аналізу досліджень за темою дисертації, і в списку літератури відсутня навіть згадка про теоретичні та експериментальні дослідження поперечних коливань суднового валопровода на масляній плівці дейдвудного і радіальних підшипників, представлених в роботі японських фахівців Toyooki Ono, Sadao Asanabe, Rinichi Washimi. Calculation Method of Shaft Alignment in Relation to Oil Film Formation on Sterntube Bearings // Japan Shipbuilding marine Engineering, 1975. - Vol.9. - N.3. - P.47-56. Хоча ці дослідження носять якісний характер і не враховують багатьох чинників, ними не можна нехтувати при уточненні розрахункових методик. Тому ігнорування цієї роботи є необгрунтованим, хоча в списку літератури містяться роботи, вельми далекі від теми дисертації. Слід також звернути увагу на те, що на сторінці 38 дисертант В.В. Сапіга неправомірно приписує О.Л. Кирюхіну вивід рівняння Рейнольдса та залежностей в'язкості і густини мастильного шару від об'ємної концентрації газових каверн (див. посилання на роботи [28, 82]). Вони були отримані мною на базі теорії взаємопроникаючих середовищ ще у минулому столітті, а не О.Л. Кирюхіним, причому залежності для в'язкості і густини мастильного шару від об'ємної концентрації газових каверн повністю співпали з експериментальними даними вчених дальнього зарубіжжя.

Висновки за розділом занадто спрощені і їх потрібно було розвинути.

Висновок 2 в цьому розділі некоректний. Крім того, розділ 1 можна було б істотно скоротити, не змінюючи при цьому суті викладу матеріалу.

*Другий розділ* присвячений вибору теми досліджень, постановки і методам вирішення завдань дисертаційного дослідження. Для цього дисертантом розроблено методологію та послідовність вирішення завдань дослідження. Сформульовано показник роботоздатності підшипника у вигляді мінімальної товщини водомісткої масляної плівки. Головну задачу дослідження (розробка способу прийняття рішення, що гарантує роботоздатність суднового валопровода на певний період в екстремальних умовах) прийнято вирішувати шляхом розбиття на ряд допоміжних завдань. У якості методів досліджень головного й допоміжних завдань обрані методи математичного (метод кінцевих елементів і скінченнорізницеві методи) і фізичного моделювань. Сформульована загальна методика наукового дослідження (рис.2.4).



Для перевірки адекватності математичних моделей, коректності прийнятих гіпотез і правильності інтерпретації теоретичних досліджень передбачено проведення серії експериментальних досліджень на фізичних моделях.

Даний розділ містить ряд описок, стилістичних помилок й неточностей при викладі матеріалу (стор.44, 51, 59, 62, висновки 1 і 4 стор. 62,63). Цей розділ дисертації також можна було б скоротити без порушення суті викладу представленого матеріалу.

У *третьому розділі* дисертантом вдосконалено математичну модель вимушених поперечних коливань судових валопроводів на мастильних плівках дейдвудного і радіальних підшипників ковзання, яка відрізняється від відомих тим, що поперечні деформації вала визначаються за методом кінцевих елементів з урахуванням упору гребного гвинта, а мастильні плівки моделюються в'язко-пружними елементами з лінеаризованими коефіцієнтами жорсткості і демпфірування, залежними від геометричних розмірів підшипника, фізичних властивостей середовища в пристрої подачі масла в несучий зазор та контактних деформацій вкладишів. При цьому лінеаризовані коефіцієнти жорсткості і демпфірування мастильної плівки розраховуються за запропонованою В.В. Сапігою моделлю зі змінними параметрами в'язкості і густини, залежними від концентрації води в масляній ванні та розподілу тисків і поля температур по товщині масляного шару. В основу побудови такої моделі покладено відому модель Е.Л. Позняка для випадку постійної в'язкості. Тому представлені в дисертації формули (3.26) для лінеаризованих характеристик жорсткості і демпфірування масляної плівки, знайдені Е.Л. Позняком для випадку постійної в'язкості масла, вимагають обґрунтування для випадку змінної в'язкості. Що стосується контактних деформацій, то їх розрахунок проводиться за відомою методикою Д.С. Кодніра, тому не потребує обґрунтування.

Мабуть, вперше в судовій практиці вирішена задача подачі обводненого мастила в несучий зазор підшипника відомим дисковим пристроєм. Її рішення отримано чисельно в процесі вирішення узагальненого дифузійного рівняння Фіка на скінченнорізницькій сітці методом Кранка-Ніколсона, а перенесення кількості маси речовини диском визначається на основі рішення модифікованих А.І. Накорченським рівнянь гідродинаміки взаємопроникаючих рухів суцільних середовищ. Витрата обводненого мастила в напірній лінії підшипника визначається за відомою методикою, запропонованою О.О. Задорожним. Удосконалено зональну модель підшипника, результати якої дозволяють розглядати гетерогенну систему змащення як двофазне середовище, що також підтверджується експериментальними дослідженнями, які були проведені дисертантом на фізичних моделях і викладені в розд.4.

Висновки з цього розділу не повною мірою відображають його новизну і містять стилістичні помилки (висновки 1 і 2).

Інші зауваження з цього розділу стосуються наступних питань:

- не скрізь наводяться допущення, прийняті при розробці математичних моделей і методик;

- не розглянути питання перекладки валом зазору в деяких підшипниках, яка може утворитися при відриві валу від підшипників;
- положення вала з розподільною масою не визначається його центром мас (стор.68);
- в розробленій математичній моделі не враховуються гідродинамічні ефекти при вимушеній прецесії і нутації вала;
- незрозуміло, як враховувався вплив деформацій дейдвудного пристрою на вимушені поперечні коливання суднового валопровода;
- невідомо, чи враховувався вплив кишень на коефіцієнти жорсткості і демпфірування мастильної плівки;
- в тексті дисертації (стор.88) і в підписах під рис.3.17 і 3.18 не наведено частоту обертання вала;
- незрозуміло, як експериментально підтверджуються результати розрахунків експериментальними даними, представленими на кругових діаграмах (рис.3.19 і 3.20), що дозволяють перевірити адекватність вдосконаленої моделі;
- кругові діаграми (рис.3.19 і 3.20) слід було б винести в розд.4;
- на рис.3.17, стор.90 і в авторефераті (рис.10, стор.16) по вертикальній осі нанесена шкала, яка не відповідає вимозі до оформлення дисертації та автореферату;
- ніде чітко не обумовлюються межі застосування побудованих математичних моделей і методик;
- слід чітко розрізняти обороти вала від його частоти обертання і кутової швидкості (рис.3.12-3.16, 3.19, 3.20);
- у вдосконаленій математичній моделі не враховується вплив згинальних коливань корпусу судна при його експлуатації в штормових умовах;
- мають місце стилістичні неточності та описки при викладі матеріалу в даному розділі (стор.101, формула 3.56 на стор.105);
- з тексту дисертації незрозуміло, як були виявлені «біфуркаційні точки» за рис.3.21, а може це зв'язано з нестійкістю побудованих в дисертації розрахункових скінченнорізницевого схем?
- відсутня розшифровка фізичних величин, які представлені на рис.3.12 і на сторінці 97 для граничних умов.

*Четвертий розділ* дисертації присвячений експериментальним дослідженням радіальних підшипників ковзання, підтвердженню коректності висунутої гіпотези і припущень, прийнятих в розрахункових моделях, а також перевірці адекватності математичних моделей за отриманими значеннями експериментальних даних. Представлені в цьому розділі експериментальні стени та отримані в процесі досліджень експериментальні результати за розробленою методикою візуально виявили структурну самоорганізацію течії гетерогенного мастильного шару на вході, в несучій частині, і виході вказаного мастила із зазору підшипника, підтверджуючу так звану автором дисертації зональну модель підшипника, яку він запропонував у третьому розділі. Крім того, за дисертацією, підтвердження отримала вдосконалена модель роботоздатності підшипника при обводнюванні мастила в масляній ванні

(рис.4.14, стор.133). Збіг теоретичних результатів і даних експериментальних досліджень товщини масляної плівки від частоти обертання валу і ступеня обводнення мастильного матеріалу дисертант не приводить. Крім того, конструкція експериментального стенду, представлена на рис.4.6 і в авторефераті на рис.8, збігається з викладеною Кирюхіним О.Л. в авторефераті докторської дисертації «Удосконалення функціональних властивостей систем утримання та стабілізації валопроводів суднового турбінних установок» (захищена у 2011 році). У розробці цього стенду Сапіга В.В. брав безпосередню участь, що відзначено Кирюхіним О.Л. у особистому внеску здобувача на стор.4 його автореферату. Але не зважаючи на це, опис стенду повинен бути винесений у розд.2. Також в методиці (стор.128, 129) і в аналізі (стор.130) експериментальних досліджень відсутній діапазон частот обертання вала.

Як і в попередніх розділах, даний розділ містить ряд стилістичних помилок на сторінках 129, 130, 132.

У *п'ятому розділі* на основі проведених теоретичних, експериментальних досліджень і досвіду експлуатації суднових валопроводів розроблені заходи та спосіб прийняття рішень, що гарантує роботоздатність суднового валопровода на певний час у непередбачених екстремальних умовах. Цей спосіб реалізований в системі діагностики у вигляді типового алгоритму дій оператора з оцінки стану і прогнозування роботоздатності суднового валопровода при виявленні води в масляній ванні підшипників.

Як і у попередніх розділах, цей розділ має також деякі стилістичні помилки та недоліки:

- друге твердження (стор.138 після рис.5.1) некоректно;
- на рис.5.4 (стор.142) і 5.7 (стор.151) шкали надруковані зовсім малим шрифтом, що неприпустимо;
- назви підрозділу 5.2 (стор.144) і пункту 5.2.1 (стор.144) не можуть закінчуватися в кінці сторінки;
- висновок 1 (стор.152) некоректний.

Висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, об'єктивно відображають проведені дослідження.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в експлуатаційну документацію системи діагностики і підтримки прийняття рішення операторами енергетичних установок, засобів руху фрегата «Г. Сагайдачний», корабля управління «Славутич», підводного човна «Запоріжжя», а також в учбовий процес Одеської національної морської академії, що підтверджується відповідними актами. Рекомендується впровадження та використання дисертації в науково-дослідних організаціях України, які займаються проектуванням і експлуатацією суднових і корабельних валопроводів, призначених для роботи в екстремальних умовах.

#### **4. Повнота викладу результатів дисертації в наукових виданнях**

За темою дисертації опубліковано 15 наукових робіт, з них 10 статей в спеціалізованих наукових виданнях, рекомендованих ДАК України, в тому числі 2 - без співавторів, 7 публікацій у збірниках матеріалів наукових і



науково-технічних конференцій, а також одне авторське свідоцтво. Список найбільш значущих статей наведено в авторефераті дисертації. У них відображені в повному обсязі основні результати дисертаційного дослідження.

Результати дисертаційної роботи обговорювалися на наукових та науково-технічних конференціях, про що свідчать 7 робіт, опублікованих у збірниках матеріалів конференцій і представлених у дисертаційній роботі.

### 5. Висновок по роботі

В цілому дисертаційна робота Сапіги В.В. представляє капітальну працю, в якій викладені обґрунтовані науково-технічні рішення, реалізація яких вносить помітний внесок у науково-технічний прогрес.

Наведені вище зауваження не знижують високого рівня роботи.

Дисертація відповідає спеціальності 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки.

Автореферат досить повно відображає зміст дисертації.

У зв'язку з викладеним вважаю, що Сапіга Вячеслав Володимирович заслуговує присвоєння йому вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент

завідувач кафедри автоматики

Національного університету кораблебудування

імені адмірала Макарова

доктор технічних наук, професор

Підпис Миколи Яковича Хлопенко засвідчую:

Проректор з наукової роботи

Національного університету кораблебудування

імені адмірала Макарова

доктор технічних наук, професор

 М.Я. Хлопенко

 В.С. Блінцов

