



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи  
Національного університету  
«Львівська політехніка»

І.В. Демидов  
2022 р.

**ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ**

засідання фахового семінару

кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування  
Національного університету «Львівська політехніка»  
від 02 листопада 2022 року

**1. ПРИСУТНІ:**

1. Ступницький Вадим Володимирович, д.т.н., професор, завідувач кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту - голова фахового семінару.

2. Магерус Надія Іванівна, к.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту – секретар фахового семінару.

3. Кузьо Ігор Володимирович, д.т.н., професор, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

4. Грицай Ігор Євгенович, д.т.н., професор, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

5. Шоловій Юрій Петрович, к.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

6. Сліпчук Андрій Миколайович, к.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

7. Боровець Володимир Михайлович, к.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

8. Гаврильченко Олександр Віталійович, к.т.н., професор, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

9. Гурей Володимир Ігорович, д.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

10. Кусий Ярослав Маркіянович, д.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

11. Гурський Володимир Миколайович, д.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

12. Корендій Віталій Михайлович, к.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

13. Дмитерко Петро Романович, к.т.н., доцент, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

14. Качур Олександр Юрійович, к.т.н., асистент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту.

**2. ЗАПРОШЕНІ:**

1. Ланець Олексій Степанович, д.т.н., професор, директор Інституту механічної інженерії та транспорту;

2. Дмитрів Василь Тарасович, д.т.н., професор, завідувач кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу Інституту механічної інженерії та транспорту;

3. Вікович Ігор Андрійович, д.т.н., професор, професор кафедри транспортних технологій Інституту механічної інженерії та транспорту;

4. Харченко Євген Валентинович, д.т.н., професор, завідувач кафедри опору матеріалів та будівельної механіки Інституту будівництва та інженерних систем;

5. Пукач Петро Ярославович, д.т.н., професор, директор Інституту прикладної математики та фундаментальних наук;

6. Гелетій Володимир Миколайович, к.т.н., доцент, доцент кафедри технічної механіки та динаміки машин Інституту механічної інженерії та транспорту.

З присутніх – 6 докторів наук та 5 кандидатів наук – фахівці за профілем представленої дисертації.

**2. СЛУХАЛИ:** доповідь доцента кафедри комп'ютерних наук факультету інформаційних технологій Хмельницького національного університету Драч Ілони Володимирівни на тему «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиrom», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин.

Науковий консультант – Заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., професор Ройзман В.П..

Тема дисертаційної роботи затверджена на засіданні Вченої ради Хмельницького національного університету (протокол № 8 від 25 лютого 2016 року). Уточнену тему дисертаційного дослідження затверджено на засіданні Вченої ради Хмельницького національного університету (протокол № 4 від 28 листопада 2019 року).

Роботу виконано у Хмельницькому національному університеті.

Здобувачка опублікувала 53 наукові роботи за результатами дисертаційного дослідження, серед яких: 1 монографія (у співавторстві), 2 публікації - розділи в англомовних монографіях, 15 статей у наукових фахових виданнях України, 5 статей у журналах, що входять до наукометричної бази Scopus, 2 статті у закордонних журналах, 2 публікації - англомовні матеріали міжнародних конференцій у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, 21 публікація – матеріали конференцій та тез доповідей, 5 патентів на корисні моделі.

За змістом дисертації було задано 23 запитання, на які доповідачка дала правильні та ґрунтовні відповіді. Питання задавали:

- д.т.н., професор Грицай Ігор Євгенович, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

- д.т.н., професор Вікович Ігор Андрійович, професор кафедри транспортних технологій Інституту механічної інженерії та транспорту;

- д.т.н., професор Кузьо Ігор Володимирович, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

- д.т.н., професор Харченко Євген Валентинович, завідувач кафедри опору матеріалів та будівельної механіки Інституту будівництва та інженерних систем;

- д.т.н., професор Пукач Петро Ярославович, директор Інституту прикладної математики та фундаментальних наук;

- д.т.н., професор Ступницький Вадим Володимирович, завідувач кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

- д.т.н., професор Дмитрів Василь Тарасович, завідувач кафедри проектування машин та автомобільного інжинірингу Інституту механічної інженерії та транспорту;

- д.т.н., доцент Гурський Володимир Миколайович, доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту;

- к.т.н., професор Гаврильченко Олександр Віталійович, професор кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Інституту механічної інженерії та транспорту.

**3.** Головуючий на засіданні д.т.н., проф. Ступницький В.В. оприлюднив **ВИСНОВОК** кафедри телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій, на якій виконувалась

дисертація, з оцінкою роботи здобувачки у процесі підготовки дисертації та виконання індивідуального плану наукової роботи.

У висновку вказано: Дотримуючись стандартів академічної та професійної доброчесності, здобувачкою опрацьовано значну кількість наукових, та інших джерел, які стосуються теми дисертаційного дослідження. Актуальність теми дослідження, широке використання загальнонаукових та спеціальних методів у дисертаційному дослідженні мають у роботі належне обґрунтування.

Здобувачкою Драч І.В. вирішено такі фундаментальні та прикладні завдання:

- проведено теоретичне дослідження динаміки роторної системи з автобалансиром рідинного типу на основі комплексної математичної моделі рідинного АБП, що включає гідродинамічну задачу обертання циліндричної порожнини частково заповненої рідиною, задачу хвилеутворення на поверхні рідини; геометричні моделі поведінки рідини в камері АБП. В рамках моделі: вивчено збурення відносного руху рідини в камері АБП, обумовлені об'ємними переносною і коріюлісовою силами інерції, надано фізичне пояснення одержаним результатам; досліджено умови існування балансування рідиною на всьому діапазоні частот обертання роторної системи; досліджено вплив сили ваги на процес автобалансування рідинними пристроями прямої дії та внесено поправки в математичну модель явища самобалансування; досліджено вплив кута відхилення осі ротора від горизонтального розташування на ефективність автобалансування; одержано аналітичні залежності, які описують зв'язок ефективності рідинного самобалансування від геометричних параметрів камери балансира і роторної системи, фізичних властивостей робочої рідини;

- розроблено метод розрахунку конструктивних параметрів АБП рідинного типу. Експериментально визначено чинники, що впливають на точність і ефективність балансування роторів рідинними АБП. Розроблено рекомендації для їх конструювання, які забезпечують зниження віброактивності роторної системи. Шляхом чисельного аналізу динамічної моделі коливань ротора, що має шість ступенів вільності, встановлено вплив просторових та кількісних характеристик інерційних, масових, жорсткісних, демпферних чинників на ефективність рідинного автобалансування;

- розвинуті експериментальні методи та засоби дослідження поведінки робочої рідини в камері АБП і процесу автоматичного балансування роторних систем з різною просторовою орієнтацією осі обертання, проведено експериментальні дослідження та здійснено верифікацію математичних моделей і перевірку адекватності результатів теоретичних досліджень.

Це дало можливість Драч І.В. розвинути наукові основи автоматичного зрівноваження роторних систем рідинним балансиром та отримати низку нових науково обґрунтованих результатів та рекомендацій для розв'язання актуальної для динаміки машин науково-прикладної проблеми зрівноваження та віброзахисту роторних систем пасивними автобалансирами прямої дії з рідинними робочими тілами без керування їх рухом і підведення енергії.

Рекомендовано здобувачці Драч І.В. подати докторську дисертацію на тему «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиром» для попередньої експертизи до спеціалізованої вченої ради Д 35.052.06 Національного університету «Львівська політехніка».

#### 4. ВИСТУПИ РЕЦЕНЗЕНТІВ

З оцінкою дисертації виступили рецензенти:

**Професор кафедри транспортних технологій, д.т.н., проф. Вікович Ігор Андрійович**, який зазначив, що здобувачкою здійснено актуальне комплексне дослідження за темою «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиром». Тематика представленого до рецензування дисертаційного дослідження Драч Ілони Володимирівни, повністю відповідає спеціальності динаміка і міцність машин, безумовно є актуальною, оскільки для машин із змінним при експлуатації дисбалансом ротора найбільш дієвим методом їх балансування без зупинки в експлуатаційних умовах є автоматичне балансування з вільним

переміщенням коригувальних мас, що прагнуть поєднати головну центральну вісь інерції ротора з його віссю обертання.

Про актуальність теми дослідження свідчать численні дослідження, які ведуться вітчизняними науковцями щодо проблематики зрівноваження і віброзахисту роторів машин. Проте у відомих наявних наукових працях вітчизняних і зарубіжних дослідників висвітлюються тільки окремі вузькі аспекти з даної теми. Тому була потреба в необхідності ґрунтовного, спеціального дослідження щодо теми, обраної здобувачкою. Наведені у дисертації відповідні аргументи переконують в актуальності та своєчасності дисертаційного дослідження, предметом якого обрано метод самозрівноваження механічних систем балансувальними пристроями рідинного типу.

Здобувачкою Драч І.В. опрацьовано і проведено аналіз значної кількості наукових досліджень з даної тематики в Україні та у зарубіжних країнах, визначено існуючі проблеми, які вже висвітлювались та досліджувались окремими науковцями, що стосувались питань пасивного автобалансування як предмет її досліджень.

Необхідно відзначити важливість запропонованого здобувачкою підходу до теоретичного обґрунтування функціонування рідинного автобалансувального пристрою, який відрізняється від відомих врахуванням гідродинамічних процесів на поверхні робочої рідини і врахуванням динаміки роторної системи, що зрівноважується. Обґрунтовано розроблений метод визначення оптимальних параметрів АБП рідинного типу з урахуванням специфіки впливу просторового положення осі ротора, геометричних параметрів АБП і фізичних властивостей робочої рідини на ефективність процесу балансування, а також наявність достатнього об'єму робочої рідини для ефективного балансування роторної системи.

Здобувачкою Драч І.В. зроблено висновок щодо ефективності використання пасивних регуляторів прямої дії з рідинними корегувальними робочими тілами на докритичному діапазоні кутових швидкостей обертання ротора машин.

Також, заслуговують на увагу результати експериментальних досліджень щодо можливості ідентифікації дисбалансу ротора машин за зміною споживаної потужності двигуном. Важливим є висновок, що використання рідинного автобалансира для роторів зі змінним дисбалансом дозволяє зменшити споживання електроенергії до 30 % при виході ротора на робочі оберти.

За результатами аналізу теоретичних висновків автора можна констатувати, що проблема, яка вирішена у дисертаційній роботі, є актуальною для галузі динаміки і міцності машин на сучасному етапі її розвитку.

Структурно дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Структура дисертації повністю відповідає меті і завданням дослідження, дозволяє послідовно розглянути усі аспекти досліджуваної здобувачкою проблематики.

Загалом, слід відзначити високий загальний науковий рівень дисертаційного дослідження, оскільки крім теоретичних положень доволі цінним у роботі є їх зв'язок з практичним застосуванням висновків та результатів наукового пошуку.

Однак, поряд із загальним позитивним враженням від даної дисертаційної роботи, у ній є деякі недоліки та дискусійні питання, для яких бажана додаткова аргументація під час прилюдного захисту. Зокрема, здобувачкою дуже коротко і несистемно наведені результати інших вчених, для яких невістачає їх аналізу. Роботу збагатили би ретельніша візуалізація побудови і аналізу математичних моделей у вигляді ілюстративного матеріалу. Попри зазначені зауваження, можна констатувати, що загалом вони не применшують позитивного значення дисертації, мають уточнюючий і рекомендаційний характер для розвинення подальших наукових досліджень, та націлені на посилення дискусії в процесі прилюдного захисту дисертації.

**Загальний висновок** рецензента, **доктора технічних наук, професора Віковича І.А.:** дисертація «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиром» Драч І.В. за структурою, обсягом, змістом, якістю оформлення та викладення матеріалу, рівнем

наукової новизни і практичної цінності та пропозиціями, обсягу та глибини досліджень, за важливістю та актуальністю, реальним особистим вкладом у розвиток теоретичних методів розрахунку автоматичного зрівноваження роторів машин рідинним балансиrom повністю відповідає вимогам, що висуваються до докторських дисертацій.

**Завідувач кафедри опору матеріалів та будівельної механіки, д.т.н., проф. Харченко Євген Валентинович** зазначив, що дисертаційне дослідження І. В. Драч на тему «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиrom» є надзвичайно актуальним, оскільки проблема зрівноваження роторних систем в сучасних умовах набуває особливо важливого значення, адже від якості балансування залежать не лише загальні рівні вібрацій машин і механізмів, а й надійність їх роботи, ресурс, а також точність і якість виконання технологічного процесу.

На основі вивчення значного кола наукових праць, авторкою обґрунтовані проблеми автоматичного зрівноваження роторних систем рідинним балансиrom і, відповідно, напрямки підвищення ефективності роботи таких систем (умови настання автоматичного балансування, залежність результативності процесу пасивного автобалансирування від параметрів роторної системи, АБП і рідини тощо). Саме ці питання і склали предмет дисертаційного дослідження. Треба зауважити, що матеріали дисертації містять унікальні комплексні дослідження методу пасивного балансування рідинним автобалансирувальним пристроєм роторів із стохастичним за місцерозташуванням і часом дисбалансом.

Дослідження процесу самочинного зрівноваження механічних систем, що обертаються, шляхом переміщення рідинного корегувального середовища, які входять до складу цих систем, надало можливість автору:

- дослідити динаміку роторної системи з автобалансиrom рідинного типу з урахуванням гідродинамічних процесів на поверхні робочої рідини;
- охарактеризувати основні проблемні аспекти умов балансування рідиною на всьому діапазоні частоти обертання роторної системи в залежності від просторового положення осі ротора;
- застосувати для дослідження принципу роботи рідинного автобалансира комплексне математичне моделювання, що включає гідродинамічну задачу обертання циліндричної порожнини, частково заповненої рідиною, та задачу хвилеутворення на поверхні рідини; модель руху робочої рідини в полі відцентрових сил і сил ваги; геометричні моделі поведінки рідини в камері АБП;
- визначити чинники, що впливають на точність і ефективність балансування роторів рідинними АБП і розробити практичні рекомендації щодо їх конструювання;
- розвинути експериментальні методи та засоби дослідження поведінки робочої рідини в камері АБП і процесу автоматичного балансування роторних систем з різною просторовою орієнтацією осі обертання, провести експериментальні дослідження та здійснити верифікацію математичних моделей і перевірку адекватності результатів теоретичних досліджень.

Виокремлені здобувачкою І. В. Драч та виконані в процесі дослідження завдання надали можливість повною мірою досягти мети роботи – розвинути науково-прикладні основи автоматичного зрівноваження роторних систем рідинним балансиrom і, відповідно, його ефективності методами комплексного математичного моделювання на основі аналізу умов експлуатації.

Належний ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій дослідження І. В. Драч ґрунтується на успішному використанні дисертанткою методологічного інструментарію системного аналізу та математичного моделювання на основі методів теорії механічних коливань, динаміки машин, аналітичної гідродинаміки, аналітичних та чисельних математичних методів.

Наукова новизна одержаних результатів (наукових положень, теоретичних узагальнень, висновків та рекомендацій) не викликає сумніву. Положення наукової новизни отриманих результатів автором структуровано на результати, отримані вперше, удосконалені, і ті, що



дістали подальшого розвитку. Найбільш важливе значення для практичного застосування мають положення наукової новизни, що стосуються:

- розроблення методу визначення умов залучення рідини в рух роторної системи з АБП і умов настання автобалансування з урахуванням параметрів роторної системи та векторних співвідношень силових чинників;

- розроблення розрахунково-експериментального методу оцінювання впливу пружно-інерційних, демпфувальних і геометричних характеристик роторної системи на ефективність рідинного автобалансування.

Зміст положень, що віднесені автором до наукової новизни одержаних результатів, свідчить про авторський підхід до вивчення проблематики зрівноваження і віброзахисту роторів машин.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що сформульовані в дисертації теоретичні положення, висновки і рекомендації створили комплексне підґрунтя для проектування машин з низькою віброактивністю, малою зв'язністю коливань і сприятливими умовами роботи рідинних АБП, а також для розрахунку параметрів автобалансувальних пристроїв з рідинними робочими тілами для зниження віброактивності машин зі змінним дисбалансом ротора. На технічні рішення конструкцій АБП і центрифуги з автобалансиром автором отримано патенти України. Результати роботи впроваджено у виробництво та у навчальний процес.

Результати дисертації Драч І. В. опубліковано у 53 наукових працях, з них 5 статей – у журналах, що включені до наукометричної бази даних Scopus; 2 праці – у англійськомовних матеріалах доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що включені до наукометричної бази даних Scopus; 15 статей – у журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України (з них 7 – без співавторів); 2 статті – у закордонних журналах; 1 монографія, що опублікована за темою дослідження українською мовою; 2 англійськомовні публікації – розділи монографій, що опубліковані у закордонних виданнях; 21 праця – у матеріалах наукових конференцій. Отримано 5 патентів на корисні моделі. Число опублікованих наукових праць за темою дисертації задовольняє існуючі вимоги. Основний внесок за обсягом у матеріалах публікацій належить здобувачці. Перелічені публікації з достатньою повнотою відображають запропоновані у роботі теоретичні та практичні рішення.

Вказане вище свідчить про те, що дисертаційна робота І. В. Драч є завершеною науковою працею, що має комплексний характер і підготовлена автором самостійно.

Позитивно оцінюючи та відзначаючи належний рівень постановки і розв'язання науково-прикладної проблеми створення наукових основ автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиром, наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, слід відзначити, що як і будь-яке творче дослідження, присвячене вирішенню дискусійної проблеми динаміки та міцності машин, наукова робота викликає певні побажання, що можуть бути сприйняті як уточнення авторської позиції, зокрема:

1. Оскільки дисертаційна робота містить не лише теоретичні, а й важливі практичні результати, спрямовані на підвищення ефективності автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиром, на мою думку, розглядувану проблему можна кваліфікувати не лише як наукову, а і як науково-прикладну, що варто було б відобразити у меті роботи.

2. Незважаючи на завершений характер дисертації, хотілося б побажати авторці у своїй подальшій роботі поширити розроблені математичні моделі і методи досліджень автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиром на випадки довгомірних гнучких роторів, як систем з розподіленими параметрами, а також приділити увагу поглибленому вивченню нестационарних динамічних процесів у механічних системах роторів, обладнаних АБП.

3. На жаль, у текстах дисертації і реферату авторці не вдалося уникнути термінологічних неточностей і стилістичних похибок.

**Загальний висновок** рецензента, **доктора технічних наук, професора Харченка Є.В.:** аналіз дисертації та опублікованих праць дає підстави для висновку про те, що дисертація Драч Ілони Володимирівни «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним

балансиром» є завершеною, самостійно виконаною науковою працею, що має вагоме теоретичне і прикладне значення, заслуговує позитивної оцінки, відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 *Динаміка та міцність машин* і може бути подана до розгляду спеціалізованої вченої ради на предмет допуску до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

**Директор Інституту прикладної математики та фундаментальних наук, д.т.н, проф. Пукач Петро Ярославович** у своєму виступі відзначив, що у дисертаційній роботі здобувачки І.В. Драч на тему «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиром» вирішена актуальна для галузі динаміки і міцності машин проблема – розроблення теоретичних основ методу пасивного балансування прямої дії рідинного типу з оптимальними параметрами конструкції АБП для підвищення віброзахисту та зрівноваження роторів машин із змінним дисбалансом.

Обрана тема дисертації Драч І.В. є актуальною, комплексною і системною. Дисертанткою опрацьовано великий масив першоджерел, монографічної, періодичної літератури, фактологічного та статистичного матеріалу. Внаслідок цього робота отримала цілісність, логічність та структурованість у викладенні матеріалу, формулюванні власних висновків та узагальнень, що вирізняються новизною.

Теоретичне обґрунтування процесу зрівноваження та віброзахисту роторних систем пасивними автобалансирами прямої дії з рідинними робочими тілами без керування їх рухом і підведення енергії здійснене шляхом системного математичного моделювання з врахуванням гідродинамічної взаємодії між елементами системи ротор-балансир-рідина з верифікацією результатів моделювання на експериментальних даних – особиста основна ідея здобувачки, яка подана у цій дисертаційній роботі. Системне моделювання включає: гідродинамічну модель обертання циліндричної порожнини частково заповненої рідиною, модель хвилеутворення на поверхні рідини; модель руху робочої рідини в полі відцентрових сил і сил ваги, геометричні моделі поведінки рідини в камері АБП.

Побудовані моделі дали можливість пояснити нові властивості і закономірності процесу самобалансування пружно-деформівних роторів і роторів на пружних опорах рідинними робочими тілами: оцінити швидкості обертання роторної системи, за яких відбувається включення робочої рідини в рух і в ефективне автобалансування в докритичному діапазоні, що дозволило визначити ефективність процесу зрівноваження в залежності від геометрії осі роторної системи і конструкції автобалансувального пристрою, фізичних властивостей робочих рідин.

Змістовно дисертаційне дослідження складається із п'яти блоків питань, в яких автор послідовно і обґрунтовано розкрила предмет дисертаційного дослідження: аналіз сучасного стану проблеми пасивного автоматичного балансування (розділ 1); теоретичні основи процесів руху балансувальної рідини в камері АБП (розділ 2); аналіз результатів експериментальних досліджень руху балансувальної рідини в камері АБП, одержаних методом відеофіксації швидкоплинних процесів (розділ 3); оцінювання та забезпечення ефективності рідинного пристрою прямої дії (розробка і верифікація методу визначення оптимальних параметрів рідинного автобалансира) (розділ 4); розробка розрахунково-експериментального методу оцінювання впливу пружно-інерційних, демпфувальних і геометричних характеристик роторної системи на ефективність рідинного авто балансування для автоматичного балансування ротора (розділ 5).

Структура дисертації та логіка викладення основних положень відповідає поставленим в рамках дисертаційної роботи меті й завданням, а наведені результати, висновки й пропозиції обґрунтовані та достовірні.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій забезпечені чіткою постановкою та виконанням завдань, використанням фундаментальних законів математики, механіки та гідродинаміки, що широко апробовані та достатньо висвітлені у літературі. У теоретичних дослідженнях достовірність

результатів обумовлена використанням фізично обґрунтованих припущень при побудові й аналізі математичних моделей руху ротора та роботи рідинного АБП. Для розв'язання задач побудовано обчислювальні алгоритми, які реалізовано на базі сучасних програмних комплексів і їх вбудованих функцій, зокрема MATLAB Simulink, MS Excel, C++. В експериментальних дослідженнях достовірність результатів обумовлена сумісним використанням вимірвальних методів дослідження та візуального спостереження за поведінкою робочої рідини із застосуванням методу відеофіксації швидкоплинних процесів.

У висновках автором за результатами проведеного дослідження викладено найбільш важливі науково-теоретичні та практичні положення, які дійсно відображають зміст дисертаційного дослідження, результати використання різних методологічних прийомів дослідження, авторські ідеї, які засновані на дослідженому емпіричному матеріалі.

Матеріали дисертації пройшли необхідну апробацію, обговорювалися на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях. Основні результати дослідження висвітлено у достатній кількості наукових праць авторки. На основі аналізу змісту публікацій І.В. Драч можна констатувати, що наукові положення, висновки та рекомендації, які було отримано в результаті проведеної роботи, у друкованих працях викладено достатньо повно.

В цілому дисертаційна робота І.В. Драч за своїм змістом і формою є завершеним самостійним дослідженням.

Рецензент позитивно оцінив наукове і практичне значення дисертаційної роботи, однак, висловив деякі зауваження та побажання дискусійного характеру - в роботі наявні певні моменти, які потребують більш чіткого формулювання, а саме: предмет дослідження, деякі пункти новизни, з виокремленням їх основної сутності та зосередженням уваги на рівні досягнутої при цьому новизни, окремі пункти висновків завеликі та подрібнені. Текст дисертації містить редакційно-стилістичні недоліки.

**Загальний висновок** рецензента, **доктора технічних наук, професора Пукача П.Я.:** дисертаційна робота здобувачки Драч І.В. відповідає спеціальності 05.02.09 *Динаміка та міцність машин*, характеризується єдністю змісту, містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати проведених здобувачем досліджень, які мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення, свідчать про особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів та достатньо повно оприлюднені у наукових працях здобувача. За своєю актуальністю, науковою новизною отриманих результатів, теоретичним і практичним значенням робота відповідає вимогам, які висуваються до докторських дисертацій, і може бути рекомендована, з урахуванням композиційних та редакційно-стилістичних, технічних та граматичних поправок, до розгляду спеціалізованою вченою радою Д 35.052.06 Національного університету «Львівська політехніка».

## 2.6. ОБГОВОРЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

З позитивною оцінкою роботи виступили:

- д.т.н., проф. Кузьо І.В., який відзначив актуальність, новизну і високий рівень роботи, відповідність роботи паспорту спеціальності 05.02.09 *Динаміка і міцність машин* та рекомендував скоригувати мету роботи; також додати кількість ілюстративного матеріалу для візуалізації побудови математичних моделей, конкретизувати і більш чітко сформулювати загальні висновки по роботі;

- д.т.н., проф. Грицай І.Є., який відзначив відповідність роботи усім вимогам, що ставляться до докторських дисертаційних робіт, підкреслив наукову новизну, актуальність в роботі, її практичну цінність, а також відмічений ретельний та детальний аналіз сучасного стану проблеми автоматичного балансування, рекомендував загальний висновок сформулювати відповідно до мети дисертаційної роботи, інші – до поставлених завдань;

- д.т.н., проф. Дмитрів В.Т., який відзначив високий рівень дисертаційної роботи та її відповідність вимогам, які ставляться до докторських дисертацій, підкреслив наявність глибоких теоретичних і експериментальних досліджень. Рекомендував додати у роботу наукову гіпотезу та скорегувати мету роботи і пункти наукової новизни отриманих результатів.



У підсумку: обговорювана дисертація є самостійним завершеним науковим дослідженням, у якому отримані нові обґрунтовані результати. Дисертація на тему: «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиrom», підготовлена за спеціальністю 131 *Прикладна механіка* відповідає паспорту спеціальності 05.02.09 *Динаміка та міцність машин* (Перелік наукових спеціальностей, затверджений Наказом Міністерства освіти і науки молоді та спорту України 14 вересня 2011 року № 1057), та вимогам п. п. 7 та 9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук”, затвердженого постановою № 1197 Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р., які ставляться до докторських дисертацій; Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом МОН України від 12.01.2017 № 40.

Загальна характеристика дисертації – позитивна.

За результатами попередньої експертизи дисертації та повноти основних результатів дослідження Драч І.В.

#### УХВАЛИЛИ:

**1. ВИЗНАТИ**, що результати дисертації Драч Ілони Володимирівни «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиrom», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 *Динаміка та міцність машин*, мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

**2. ЗАТВЕРДИТИ** такий **висновок** щодо дисертації Драч Ілони Володимирівни.

#### ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Драч Ілони Володимирівни «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиrom», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.09 *Динаміка та міцність машин*

##### 1. Актуальність теми дослідження

Забезпечення низького рівня вібрацій роторних машин і технологічних процесів є однією з головних умов їх якості та надійності. Зазвичай, для таких машин застосовуються відомі методи статичного та динамічного балансування. Однак існує великий клас машин (пральні машини, медичні центрифуги, сепаратори та інші), в яких дисбаланс постійно змінюється під час експлуатації або від пуску до пуску машини і для них зазначених методів балансування недостатньо. Для таких машин найбільш дієвим є автоматичне балансування або самобалансування, в ході якого пасивні коригувальні тіла відслідковують зміну дисбалансу і намагаються своїм рухом зберігати зрівноваженість. Рідинні АБП прості та дешеві у виготовленні, надійні в роботі. Такий метод балансування є важливими та потрібними для практики, оскільки він не потребує знання форм коливань роторів.

Загальна теорія пасивних АБП (зокрема, і рідинного типу) містить низку невирішеними фундаментальних проблем, як:

1) не існує фундаментального підходу до вивчення роботи рідинного АБП на всьому діапазоні кутових швидкостей;

2) як наслідок, не існує методів визначення умов настання автобалансування, зокрема, на докритичному діапазоні кутових швидкостей руху ротора;

3) в основу принципу роботи усіх пасивних АБП покладено явище самоцентрування ротора, у рамках якого при перевищенні критичної кутової швидкості ротор починає обертатися «легкою» стороною назовні, що відбувається в закритичній зоні обертання ротора не залежно від наявності робочих тіл (рідини) в камері АБП.

Є також принципові недоліки у методологічному підході до дослідження процесу зрівноваження і віброзахисту ротора рідинним АБП. Для дослідження процесу зрівноваження ротора рідинними балансирами застосовується кінетостатичний або квазістатичний метод, який ґрунтується на припущеннях: що перехідні процеси на рух ротора з АБП майже не впливають і

тому рух системи подається як обертання навколо осі жорсткого тіла; корегувальна рідина дуже повільно реагує на сили, що на неї діють, і зрештою приходиться до положення відносної рівноваги лише в закритичному діапазоні частот обертання системи. Відповідно до цих припущень замість гідродинамічних рівнянь руху ротора з рідинним АБП складаються рівняння кінестатики. За результатами цього підходу всі пристрої з рідиною працездатні на швидкостях, більших за критичну. Отже, класичний підхід до обґрунтування зрівноваження ротора рідинним автобалансиром пояснює лише явище самоцентрування ротора і жодним чином не роз'яснює явище автоматичного балансування ротора рідиною.

Також встановлено наявність технологічних та геометричних параметрів, вплив яких на ефективність автобалансування може бути суттєвим. До таких параметрів належать: форма вільної поверхні робочої рідини; кут нахилу осі ротора до лінії горизонту; фізичні властивості рідини (густина, в'язкість); характеристики хвильових процесів на поверхні рідини, динамічні характеристики ротора, що зрівноважується, та інші. Відсутні методи врахування цього впливу, його ступінь не визначена і вони не знайшли свого відображення у відповідних аналітичних залежностях.

Вказані недоліки класичного підходу дослідження методу зрівноваження і віброзахисту роторів рідинним АБП, та істотна неповнота теорії методу автоматичного балансування ротора рідинним балансиром стосується найбільш загальних, фундаментальних питань із зрівноваження та віброзахисту роторів пасивними автобалансирами, що безумовно стримує розробку, експлуатацію і розширення галузей застосування цих пристроїв. Тому надолуження цієї неповноти є актуальною науковою проблемою.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення актуальної науково-прикладної проблеми в галузі динаміки і міцності машин – розроблення теоретичних основ методу пасивного балансування прямої дії рідинного типу з оптимальними параметрами конструкції АБП для зрівноваження та віброзахисту роторів машин із змінним дисбалансом.

**2. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до державних і науково-технічних програм** за пріоритетними напрямами розвитку науки та техніки України та відповідає положенням Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» від 08.09. 2011р. № 3715-VI та постанови Кабінету Міністрів України від 28.12.2016 р. №1056 «Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2017-2021 рр.». Дисертаційне дослідження виконано згідно з пріоритетним напрямом фундаментальних наукових досліджень, в рамках таких науково-дослідних робіт Хмельницького національного університету: 0209U001510 «Дослідження динаміки горизонтальних роторних машин і створення систем превенції (попередження) їх дефектів»; 0211U001628 «Дослідження динаміки і зниження вібрацій роторних машин з врахуванням гідродинамічної взаємодії їх елементів»; 0211U002489 «Поглиблене дослідження явища автоматичного балансування рідиною і його застосування для зрівноваження деталей з горизонтальною віссю обертання», 0219U100880 «Розробка теорії та практики автоматичного зрівноваження обертових тіл рідинними і сипкими матеріалами без підведення енергії та керування рухом»; 0219U100856 «Зниження віброактивності центрифуг для відокремлення кристалів сахарози» за договором про дружню співпрацю з ПАТ «Геофіпольський цукровий завод»; 0221U102010 «Розробка методики розрахунку параметрів рідинних автобалансувальних пристроїв» за договором про дружню співпрацю з ДП «Новатор» (м.Хмельницький); 0120U102067 «Наукові основи перетворення критичних обертів в некритичні, резонансних частот в нерезонансні і критичних сил по Ейлеру в некритичні в виробках військової і невійськової техніки».

**3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів.** Особиста основна ідея здобувачки, яка подана у цій дисертаційній роботі, - теоретичне обґрунтування процесу зрівноваження та віброзахисту роторних систем пасивними автобалансирами прямої дії з рідинними робочими тілами без керування їх рухом і підведення енергії здійснене шляхом системного математичного моделювання з врахуванням гідродинамічної взаємодії між елементами системи ротор-балансир-рідина з верифікацією результатів моделювання на

експериментальних даних. Системне моделювання включає: гідродинамічну модель обертання циліндричної порожнини частково заповненої рідиною, модель хвилеутворення на поверхні рідини; модель руху робочої рідини в полі відцентрових сил і сил ваги, геометричні моделі поведінки рідини в камері АБП.

Основні науково-практичні результати дослідження, що наведені в дисертації, отримані автором особисто. У спільних наукових роботах авторові належать: обґрунтування наукового напрямку, формулювання мети роботи; обґрунтування і розроблення методик експериментальних досліджень, участь у постановці і проведенні експериментальних досліджень; розробка математичних моделей, встановлення теоретичних залежностей; формулювання новизни і основних висновків за результатами роботи; аналіз та узагальнення отриманих результатів дослідження. Постановка основних завдань дослідження і опрацювання наукових результатів виконані разом з науковим консультантом.

**4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій** забезпечені чіткою постановкою та виконанням завдань, використанням фундаментальних законів математики, механіки та гідродинаміки, що широко апробовані та достатньо висвітлені у літературі. Методи досліджень мають за основу наукові положення динаміки машин і теорії коливань. Теоретичні дослідження базуються на основних положеннях теорії гідродинаміки, математичного аналізу та математичного моделювання із застосуванням аналітичних та чисельних методів, методах теорії коливань, теорії стійкості. У теоретичних дослідженнях достовірність результатів обумовлена використанням фізично обґрунтованих припущень при побудові й аналізі математичних моделей руху ротора та роботи рідинного АБП. Для розв'язання задач побудовано обчислювальні алгоритми, які реалізовано на базі сучасних програмних комплексів і їх вбудованих функцій, зокрема MATLAB Simulink, MS Excel, C++. В експериментальних дослідженнях достовірність результатів обумовлена сумісним використанням вимірjuвальних методів дослідження та візуального спостереження за поведінкою робочої рідини із застосуванням методу відеофіксації швидкоплинних процесів.

**5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру**

Отримані результати сприяють подальшому розвитку наукових основ динаміки та міцності машин, доповнюючи їх новими підходами до теоретичного обґрунтування автоматичного зрівноваження та віброзахисту роторних систем рідинним балансиrom.

Дослідженнями пасивного автобалансування займалися і займаються такі вчені, як Леблан Мауріс, Сірл Ернест Л., Ден-Гартог Дж. П., Даер Джон, Ларрі Дж., Гусаров А.О., Несторенко В.П., Пашков Є.М., Дубовик В.О., Філімоніхін Г.Б., Ройзман В.П., Малигін О.В., Чоловський Р.Г., Ткачук В.П., Урбіюли-Сото Л., Марлона Веслея, Сузукі С.

Динаміці рідинного автобалансувального пристрою у застосуванні для побутових пральних машин присвячено низку робіт, які засновані на теоретичних підходах Сірла (класичних): Конрад і Джанг проаналізували АБП з декількома камерами у вигляді послідовних концентричних кільцевих порожнин, що мало забезпечити збільшення балансувальних властивостей рідини; Сузукі розробив чисельну модель розподілу мас у пральній машині із рідинним балансиrom; Моріо й Ютака дали оцінку силі, створюваній рідинним балансиrom за спостережуваними значеннями навантаження для всієї конструкції, що обертається; Бає побудував рівняння руху сучасних вертикально-радіальних пральних машин, однак, камера і барабан, які обертаються, були представлені як два жорстко зв'язані жорсткі елементи, що обмежило рухи камери і барабана; Урбіюлою одержані експериментальні та аналітичні дані для розуміння потоку рідини всередині балансувальної кільцевої камери та взаємодії його з перегородками; Ленгтьєм зазначив демпфувальний ефект робочої рідини в камері АБП, який продукується зворотною хвилею; Бобо Лі розглянув динамічну стійкість жорсткого ротора з рідинним АБП. У попередніх роботах в основу принципу роботи усіх пасивних АБП покладено явище самоцентрування ротора, у рамках якого необхідною умовою зменшення вібрацій шляхом встановлення робочих тіл (у тому числі і рідинних) проти дисбалансу, є обертання

ротора з кутовою швидкістю, яка перевищує критичну. Класичні теоретичні дослідження ґрунтуються на теорії динаміки твердого тіла.

У цій дисертаційній роботі вперше:

- запропоновано комплексний підхід до математичного моделювання процесу автоматичного балансування роторів рідинним балансиrom прямої дії, який, на відміну від існуючих, охоплює гідродинамічну задачу обертання частково заповненої рідиною циліндричної порожнини, задачу хвилеутворення на поверхні рідини; геометричні моделі поведінки рідини в камері АБП, що дало можливість розвинути теорію зрівноваження та віброзахисту роторів пасивними автобалансирами (АБП) рідинного типу та розробити методологію зрівноваження та віброзахисту роторів пасивними АБП;

- теоретично обґрунтовано існування зони нестійкості в околі критичної швидкості обертання ротора та залежність її ширини від ступеня заповнення камери АБП рідиною, що дає можливість враховувати вплив малих збурень потоку, викликаних обертанням камери, при конструюванні АБП з рідинним робочим тілом;

- розроблено метод визначення умов залучення рідини в рух роторної системи з АБП і умов настання автобалансування з урахуванням залежностей параметрів роторної системи, векторних співвідношень силових чинників, що дає можливість визначати діапазони кутових швидкостей обертання ротора, за яких відбувається зменшення вібрації в залежності від геометрії осі роторної системи і конструкції автобалансувального пристрою;

- із застосуванням теорії екстремальних задач з параметром доповнено наукові дані про оцінку ефективності автоматичного балансування рідинним АБП, що дало змогу розробити метод визначення оптимальних параметрів, який враховує: наявність достатнього об'єму робочої рідини для ефективного балансування роторної системи; наявність впливу просторової орієнтації осі ротора, геометричних параметрів АБП і фізичних властивостей робочої рідини на ефективність процесу балансування;

- розроблено розрахунково-експериментальний метод оцінювання впливу пружно-інерційних, демпфувальних і геометричних характеристик роторної системи на ефективність рідинного автобалансування. Сутність новизни методу полягає у чисельному аналізі узагальнених динамічних моделей машин зі змінним дисбалансом ротора з вертикальною та горизонтальною осями обертання з шістьма степенями вільності з врахуванням зв'язності коливань за всіма узагальненими координатами; розрахунку параметрів коливань дослідних установок та наступному зіставленні розрахункових основних характеристик динамічного процесу коливальної системи із отриманими експериментально, що дає можливість підвищити ефективність зниження віброактивності роторів за рахунок вдосконалення конструкцій.

- вперше експериментально встановлено, що запропоновані рішення щодо зменшення віброактивності роторних систем за рахунок оптимальної компоновки конструкції роторної системи дають змогу підвищити ефективність рідинного автобалансування до 50% для вертикальної та до 30% для горизонтальної роторної системи, таким чином, уточнено наукові дані щодо впливу пружно-інерційних, демпфувальних і геометричних характеристик роторної системи на ефективність рідинного автобалансування і

## **6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації**

Результати дисертації опубліковані у 53 наукових працях, з них 5 статей у журналах, що входять до наукометричної бази даних Scopus, 2 публікації – англomовні матеріали доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що входять до наукометричної бази даних Scopus; 15 статей у журналах, що входять до переліку наукових фахових видань України (7 – без співавторів); 2 статті у закордонних журналах; 1 монографія, що опублікована за темою дослідження українською мовою; 2 англomовні публікації – розділи у монографіях, що опубліковані у закордонних виданнях; 21 матеріали наукових конференцій. Отримано 5 патентів на корисну модель. Провідний внесок за обсягом у матеріали публікацій належить здобувачці. З робіт, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті результати, які були одержані автором особисто.

Перераховані публікації достатньо повно відображають запропоновані в роботі теоретичні та практичні рішення.

### **Перелік публікацій за темою дисертації.**

#### ***Перелік статей у журналах, що входять до наукометричної бази даних Scopus:***

1. Royzman V., Bubulis A., Drach I. System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies. *Solid State Phenomena*. 2009. Vol. 141–149. P. 374 – 379. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.147-149.374>.

*Здобувачкою запропоновано математичні моделі процесу балансування рідинним автобалансиром, результати моделювання перевірено методом швидкісної відеофіксації поведінки робочої рідини в камері АБП.*

2. Drach I., Bubulis A., Mažeika D., Kandrotaitė Janutienė R., Juodvalkis D. Investigation of Small Motions of Liquid in Cylindrical Chamber of Auto-Balancing Device. *Mechanika*. 2018. Vol. 24, № 2. P. 248 – 253. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.mech.24.2.20402>.

*Здобувачкою аналітично досліджено процеси хвилеутворення на поверхні рідини в камері автобалансирувального пристрою при нестационарних режимах руху системи.*

3. Drach I., Royzman V., Tkachuk V., Pilkauskas K., Cizauskas G., Sulginas A. Operation of Passive Fluid Self-Balancing Device at Resonance Transition Regime. *Mechanika*. 2018. Vol. 24, № 6. P. 805 – 810. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.mech.24.6.22469>.

*Здобувачкою запропоновано результати теоретичних і експериментальних досліджень роботи пасивного рідинного автобалансирувального пристрою за умови проходження ротора через резонанс.*

4. Drach I., Royzman V., Bubulis A., Juzėna K. Passive balancing of the rotor with an auto-balancing device with a viscous incompressible liquid. *Mechanika*. 2021. Vol. 27(1). P. 45 – 51. DOI: <https://doi.org/10.5755/j02.mech.23789>.

*Здобувачкою досліджено вплив фізичних властивостей робочої рідини на ефективність автоматичного балансування.*

5. Drach I., Goroshko A., Dwornicka R. Design Principles of Horizontal Drum Machines with Low Vibration. *Advances in Science and Technology Research Journal (ASTRJ)*. 2021. Vol. 15(2). P. 258 – 268. DOI: [10.12913/22998624/136441](https://doi.org/10.12913/22998624/136441).

*Здобувачкою побудовано рівняння коливань багатозв'язної системи бак-барабан на пружних підвісах для основних типів роторних машин з горизонтальною віссю обертання; проведено чисельне моделювання, адекватність результатів якого перевірено на натурному об'єкті.*

#### ***Англomовні матеріали доповідей на міжнародних конференціях у виданнях, що входять до наукометричної бази даних Scopus:***

6. Royzman V., Drach I., Bubulis A. Movement of Working Fluid in the Field of Centrifugal Forces and Forces of Weight. *Mechanika 2016*. 21st International Scientific Conference: Proceedings, 2016. P. 222 – 224.

*Здобувачкою аналітично досліджено рух рідини в камері автобалансира під впливом відцентрових сил і сил ваги.*

7. Drach I., Goroshko A. Fluid Behavior in an Auto-balancing Unit Without External Damping. Proceedings of 4th International Conference *On Design, Simulation, Manufacturing: the Innovation Exchange (DSMIE-2021)*. June 8–11, 2021, Lviv, Ukraine. Lecture Notes in Mechanical Engineering . 2021. P. 116 – 125.

*Здобувачкою визначені закони розподілу тиску та форми ізобарних поверхонь в робочій рідині АБП, теоретично і експериментально доведено недоцільність автоматичного балансування рідиною жорсткого ротора в жорстких опорах).*

#### ***Публікації, що входять до переліку наукових фахових видань України та мають ISSN, статті у закордонних журналах:***

8. Драч І.В. Рух робочої рідини в полі відцентрових сил і сил ваги. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки. 2008. №5. С. 48 – 51.

9. Драч І.В. Малі рухи рідини в циліндричній камері автобалансуючого пристрою. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки. 2009. №1. С. 133 – 136.

10. Ройзман В.П., Драч І.В. Вплив хвилеутворення на вільній поверхні рідини в камері автобалансуючого пристрою на зрівноваженість ротора. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2011. №2 (63). С.19 – 23.

*Здобувачкою теоретично доведено існування зони нестійкості в околі критичної швидкості обертання ротора з рідинним АБП, визначено, що ширина зони нестійкості залежить від ступеня заповнення камери АБП рідиною.*

11. Ройзман В.П., Драч І.В. Теоретичне дослідження процесу автоматичного балансування роторів з вертикальною віссю обертання рідкими робочими тілами (випадки ідеальної та в'язкої рідин). *Вібрації в техніці та технологіях*. 2015. №3 (79). С. 50 – 58.

*Здобувачкою проведено аналіз векторних моделей поведінки рідини в камері АБП, розглянуті можливі схеми розміщення векторів дисбалансів і прогину системи ротор-рідина.*

12. Ройзман В.П., Драч І.В., Ткачук В.П. Відмінності автоматичного балансування для роторів з горизонтальною і вертикальною осями обертання // *Зб. наук. праць НАПСУ ім. Б. Хмельницького*, серія: військові та технічні науки. Хмельницький: НАПСУ, 2015. С. 64 – 67.

*Здобувачкою теоретично і експериментально визначено вплив просторових параметрів роторної системи на ефективність рідинного автобалансування.*

13. Ройзман В.П., Драч І.В. Моделювання роботи рідинного автобалансуючого пристрою. Суть явища пасивного автобалансування ротора. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. №4(87). С. 34 – 41.

*Здобувачкою на основі аналізу векторних моделей роботи рідинного автобалансира доведено існування ефективного балансування вертикального ротора в докритичному діапазоні швидкостей обертання.*

14. Драч І.В. Дослідження роботи рідинного автобалансира: вплив внутрішнього тертя робочої рідини. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки. 2018. № 2. С. 29 – 39.

15. Драч І.В. Динаміка рідинного автобалансира: вплив коріолісових сил. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки. 2018. № 3. С. 39 – 49.

16. Драч. І.В. Визначення форми вільної поверхні рідини, що обертається у замкнутій циліндричній порожнині камери автобалансуючого пристрою. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. №2(89). С. 5 – 15.

17. Ройзман В.П., Драч І.В., Ткачук В.П. Метод випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора зі змінним дисбалансом. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. №3(90). С. 91 – 99.

*Здобувачкою розроблений метод випадково-направленого пошуку збалансованого стану ротора, який дозволяє ефективно знижувати вібрації як жорстких, так і пружно-деформівних роторів.*

18. Драч І.В., Ткачук В.П. Зниження вібрацій центрифуг цукрової промисловості. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки. 2018. № 6. Т.2. С. 27 – 34.

*Здобувачкою визначено рекомендації із зниження віброактивності центрифуг періодичної дії під час їх роботи та розрахунку конструкції автобалансиру рідинного типу.*

19. Ройзман В.П., Драч І.В. Нечітка продукційна модель оцінки визначального параметра методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2019. № 2. С. 10 – 15.

*Здобувачкою запропоновано застосувати нечітке моделювання для удосконалення методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора зі змінним дисбалансом.*

20. Драч І.В. Задачі оптимізації в дослідженні ефективності роботи рідинного автобалансуючого пристрою. Розрахунок його параметрів. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки. 2020. № 4. Т. 1. С. 119 – 126.



21. Драч І.В., Горошко А.В., Ткачук В.П. Вплив моментної незрівноваженості та положення центру жорсткості на віброактивність горизонтальних барабаних машин. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки. 2021. № 4. Т. 1. С. 89 – 95.

*Здобувачкою аналітично і чисельно досліджено динамічну модель багатозв'язної коливальної системи для основних типів роторних машин з горизонтальною віссю обертання, на основі якого теоретично одержані і експериментально підтверджені основні вимоги до компоновання роторної машини барабанного типу для зменшення її віброактивності.*

22. Драч І.В. Узагальнена математична модель коливань роторної системи з вертикальною віссю обертання. *Вісник Хмельницького національного університету*. Технічні науки. 2021. № 6. Т. 1. С. 132 – 142.

23. Ройзман В.П., Драч І.В. Исследования процесса жидкостной автобалансировки роторов с изменяющимся дисбалансом. *Проблемы машиностроения и автоматизации*. 2010. № 4. С. 79 – 4.

*Здобувачкою розроблено теоретичне обґрунтування всережимності рідинного автобалансування роторів зі змінним дисбалансом.*

24. Drach I., Bubulis A., Pauliukas A. Theoretical And Experimental Research Of Automatic Balancing Device. *Machines. Technologies. Materials*. 2018. Vol. 12. Issue 5. P. 200 – 203. DOI: <https://stumejournals.com/journals/mtm/2018/5/200>.

*Здобувачкою аналітично досліджено на стійкість нестационарні процеси спільних переміщень системи ротор – АБП – робоча рідина.*

#### **Монографія:**

25. Драч І.В., Ройзман В.П. Автоматичне балансування обертювних тіл рідиною: монографія. - Хмельницький : ХНУ, 2018. 189 с.

*Здобувачкою запропоновано результати теоретичного і експериментального дослідження процесу автоматичного зрівноваження роторних систем рідинним балансиром.*

#### **Розділи монографій, що опубліковані у закордонних виданнях:**

26. Drach I., Royzman V., Tkachuk V., Goroshko A. Ensuring the reliability of technical systems: System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies on the Example of Drum Type Washing Machines. *JVE Book Series on Vibroengineering*, Vol. 2, 2018. P. 26 – 60.

*Здобувачкою запропоновано результати теоретичного і експериментального дослідження процесу автоматичного зрівноваження роторних систем зі змінним дисбалансом балансиром рідинного типу.*

27. Drach I., Goroshko A. Design methods for reduction of forced vibrations of horizontal rotary machines. *Actual problems of modern science*. Monograph: edited by Matiukh S., Skyba M., Musial J., Polishchuk O. Bydgoszcz, Poland, 2021. P. 451 – 461.

*Здобувачкою встановлено вплив просторових та кількісних характеристик інерційних, масових, жорсткісних, демпферних чинників коливальної системи роторної машини з горизонтальною віссю обертання на ефективність рідинного автобалансування.*

#### **Охоронні документи (патенти):**

28. Автобалансирующий пристрій: пат. UA 34242 U Україна ПМК G 01 M 1/36 (2008.01) № u 2007 14634; заявл. 24.12.07, опубл. 11.08.08, Бюл. № 15.

*Частка всіх авторів однакова.*

29. Пристрій для автоматичного балансування: пат. UA 55264 U Україна, ПМК (2009) G 01 M 1/00 № u 2010 06498; заявл. 28.05.2010; опубл. 10.12.2010; Бюл. № 23.

*Частка всіх авторів однакова.*

30. Пристрій для автоматичного балансування: пат. 128959 (Україна) № u 2018 05452; заявл. 16.05.2018; опубл. 10.10.2018; Бюл. № 9.

*Частка всіх авторів однакова.*

31. Спосіб балансування коліс автомобіля на робочій швидкості в умовах експлуатації: пат. 124986 (Україна) № u 2017 11795; заявл. 04.12.2017; опубл. 25.04.2018; Бюл. № 8.

*Частка всіх авторів однакова.*

32. Центрифуга з автобалансиром: пат. 129591\_2 (Україна) № u201802952\_2; заявл. 23.03.2018; опубл. 12.11.2018; Бюл. № 21.

*Частка всіх авторів однакова.*

***Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

33. Royzman V., Drach I. System Analysis of Automatic Balancing (Self-Balancing) Machine Rotors with Liquid Working Bodies. 4th Conference *Mechatronic Systems and Materials* (MSM 2008): proceedings, Bialystok. Poland, July 14–17 2008. P. 88 – 89.

*Здобувачкою запропоновано системний підхід до теоретичного дослідження процесу балансування вертикальних роторів рідинним автобалансиром.*

34. Драч І.В., Ройзман В.П., Банах Л.Я., Нікіфоров А.В., Ткачук В.П. Результати дослідження процесу автоматичного балансування (самобалансування) роторів машин рідинними робочими тілами. *Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов*: зб. наук. пр. IX Міжнар. нук.-техн. конф., Шарм ель Шейх (Єгипет), 12–19 груд. 2010 р. – Хмельницький : ХНУ, 2010. С. 53 – 65.

*Здобувачкою запропоновано результати математичного моделювання процесу балансування рідинним автобалансиром, перевірені методом швидкісної відеофіксації поведінки робочої рідини в камері АБП.*

35. Драч І.В. Самобалансування й автоматичне балансування валів, що обертаються. *Наука и образование* : сб. тр. IX Междунар. науч. конф., Хайдусобосло (Венгрия), 3-10 января 2016 г. – Хмельницький: ХНУ, 2016. С. 10 –14.

36. Драч І.В. Про автоматичне балансування роторів машин: сучасний стан і проблеми. *Современные достижения в науке и образовании*: сб.тр. XI Междунар. науч. конф., Иерусалим (Израиль), 28 сент. - 5 окт. 2016 г. – Хмельницький: ХНУ, 2016. С. 107 – 112.

37. Драч І.В., Ромащенко І.В. Результати аналізу сучасного розвитку досліджень рідинного автоматичного балансування роторних систем. *Наука и образование*: сб. тр. X Междунар. науч. конф., Рим (Италия), 27 апреля - 4 мая 2017 г. – Хмельницький: ХНУ, 2017. С. 12 – 18.

*Здобувачкою досліджено елементи актуальності теми дисертаційної роботи.*

38. Ройзман В.П., Драч І.В., Ткачук В.П. Вплив кута нахилу осі обертання ротора на ефективність автобалансуючих пристроїв з рідиною. *Сучасні досягнення в науці і освіті* : зб. пр. X Міжнар. наук. конф., Нетанія (Ізраїль), 17- 24 вересня 2017 р. – Хмельницький: ХНУ, 2017. С. 83 – 86.

*Здобувачкою аналітично і експериментально визначено вплив кута нахилу осі роторної системи на ефективність рідинного автобалансування.*

39. Драч І.В., Ройзман В.П. Моделювання роботи рідинного автобалансуючого пристрою: суть явища пасивного автобалансування ротора. *Вібрації в техніці та технологіях*: збірник тез доповідей XVI Міжнар. наук.-техн. конф., м. Вінниця, 26-27 жовтня 2017. – Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 154 – 155.

*Здобувачкою теоретично і експериментально визначено особливості автобалансування ротора балансиром рідинного типу.*

40. Драч І.В., Ройзман В.П. Пасивне балансування ротора автобалансуючим пристроєм з в'язкою нестисливою рідиною. *Освітньо-наукове забезпечення діяльності складових сектору безпеки і оборони України*: збірник тез доповідей X Всеукр. наук.-практ. конф., м. Хмельницький, 2 листопада 2017. – Хмельницький: НАДПСУ, 2017. С. 612.

*Здобувачкою аналітично і експериментально визначено вплив фізичних властивостей робочих рідин на ефективність рідинного автобалансування.*

41. Драч І.В. Експериментальне дослідження ефективності автобалансування ротора АБП із сипкими робочими тілами. *Наука и образование*: сб. тр. IX Междунар. науч. конф., Хайдусобосло (Венгрия) 4-13 января 2018 г. – Хмельницький: ХНУ, 2018. С. 12 – 15.

42. Лазебник О.А., Драч І.В. Рідинне пасивне автобалансування для пральних машин барабанного типу. *Наука и образование: сб. тр. XII Междунар. науч. конф., Осло (Норвегія), 1-9 июля 2018 г.* – Хмельницький: ХНУ, 2018. 30 – 35.

*Здобувачкою досліджено особливості застосування пасивного автобалансування рідинного типу для віброзахисту пральних машин барабанного типу.*

43. Drach I., Bubulis A., Pauliukas A. Theoretical and experimental research of automatic balancing device. *Agricultural machinery: VI International scientific congress: proceedings, Burgas, Bulgaria, 25.06 - 28.06.2018.* – Burgas: The Federation of the Scientific Engineering Unions, 2018. Vol. 1. P. 29 – 32. DOI: <https://hdl.handle.net/20.500.12259/91952>

*Здобувачкою запропоновано результати теоретичного і експериментального дослідження процесу зрівноваження ротора рідинним балансиром.*

44. Сапужак О.М., Драч І.В. Особливості перехідних процесів у рідинному автобалансуючому пристрої. *Наука и образование: сб. тр. XII Междунар. науч. конф., Осло (Норвегія), 1-9 июля 2018 г.* – Хмельницький: ХНУ, 2018. С. 26 – 30.

*Здобувачкою теоретично досліджено перехідні процеси у рідинному автобалансуючому пристрої.*

45. Кручинін І.М., Драч І.В. Оцінка потреб у дослідженнях роботи автобалансуючих пристроїв з рідинними робочими тілами. *Современные достижения в науке и образовании: сб. тр. XI Междунар. науч. конф., Нетанія (Ізраїль), 3- 9 сентября 2018 г.* – Хмельницький: ХНУ, 2018. С. 131 – 137.

*Здобувачкою досліджено елементи актуальності теми дисертаційної роботи.*

46. Ройзман В.П., Драч І.В., Ткачук В.П. Метод випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора зі змінним дисбалансом. *Вібрації в техніці та технологіях: збірник тез доповідей XVI Міжнар. наук.-техн. конф., м. Львів, 11-12 жовтня 2018.* – Львів: ЛНУ «Львівська політехніка», 2018. С. 51 – 53.

*Здобувачкою запропоновано альтернативний метод зменшення віброактивності роторної машини - метод випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора.*

47. Драч І.В., Ткачук В.П., Пакліна Ю.С. Нечітка продукційна модель оцінки параметра методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора. *Наука и образование: сб. тр. XII Междунар. науч. конф., Хайдусобосло (Венгрія), 4-13 января 2019 г.* – Хмельницький: ХНУ, 2019. С. 83 – 88.

*Здобувачкою побудовано нечітку продукційну модель оцінки параметра методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора.*

48. Драч І.В. Парето оптимізація в задачі проектування пральних машин. *Сучасні досягнення у науці та освіті: зб. пр. XIV Міжнар. наук. конф., Нетанія (Ізраїль), 26 вересня - 3 жовтня 2019 р.* - Хмельницький: ХНУ, 2019. С. 175-178.

49. Хомяк Б.В., Драч І.В. Розрахунок параметрів рідинних автобалансувальних пристроїв. *Актуальні проблеми комп'ютерних наук: зб. пр. XII Всеукр. наук.-практ. конф. АПКН-2020* – Хмельницький: ХНУ, 2020. Т.1. С. 328 – 332.

*Здобувачкою запропоновано методу розрахунку оптимальних конструктивних параметрів АБП рідинного типу та програмне забезпечення для її реалізації.*

50. Драч І.В. Класичний підхід до обґрунтування самоцентрування системи «вал-рідинний АБП». *Наука и образование: сб. тр. XII Междунар. науч. конф., Хайдусобосло (Венгрія), 4 - 11 января 2021 г.* – Хмельницький: ХНУ, 2021. С. 30 – 35.

51. Горошко А.В., Драч І.В., Ковтун І.І., Петрашук С.А. Вплив конструктивних параметрів пружно-в'язких елементів машин барабанного типу з горизонтальною віссю обертання на їх віброактивність. *Modern Achievements of Science and Education: XVI International Conference. Netanya, Israel, November 01–08, 2021* – Хмельницький : ХНУ, 2021. С. 103 – 108.

*Здобувачкою аналітично і чисельно визначено вплив конструктивних параметрів пружно-в'язких елементів машин барабанного типу з горизонтальною віссю обертання на їх віброактивність.*

52. Драч І.В., Горошко А.В. Моделювання віброактивності машини барабанного типу з вертикальною віссю обертання. *Наука і освіта*: зб. пр. XVI Міжнар. наук. конф., Хайдусобосло (Угорщина), 4 - 11 січня 2022, – Хмельницький: ХНУ, 2022. С. 157 – 161.

*Здобувачкою аналітично досліджено динамічну модель віброактивності машини барабанного типу з вертикальною віссю обертання.*

53. Драч І. В. Оцінка швидкості залучення в процес обертання робочої рідини у камері автобалансира для вертикальної роторної системи. *Наука і освіта*: зб. праць XVI Міжнар. наук. конф. 4 - 11 січня 2022, Хайдусобосло (Угорщина) – Хмельницький: ХНУ, 2022. С. 131 – 136.

#### **7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо**

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на конференціях: 4<sup>th</sup> Conference Mechatronic Systems and Materials - MSM 2008 (Bialystok (Poland), 2008), «Підвищення якості, надійності і довговічності технічних систем і технологічних процесів» (м. Шарм ель Шейх, Єгипет, 2010); «Сучасні досягнення в науці і освіті» (м. Нетанья, Ізраїль, 2011, 2017 - 2021); «Наука і освіта» (Хайдусобосло (Угорщина), 2016, 2018, 2019, 2021; Рим (Італія), 2017; Осло (Норвегія), 2018); «Вібрації в техніці та технологіях» (м. Вінниця, 2017; м. Львів, 2018); на всеукраїнській науково-практичній конференції «Освітньо-наукове забезпечення діяльності складових сектору безпеки і оборони України» (м.Хмельницький, 2017); на VI International Scientific Congress Agricultural Machinery (Burgas (Bulgaria), 2018); 4<sup>th</sup> International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange – DSMIE 2021 (Lviv, Ukraine).

#### **8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати**

Побудовані моделі дали можливість пояснити нові властивості і закономірності процесу самобалансування пружно-деформівних роторів і роторів на пружних опорах рідинними робочими тілами: оцінити швидкості обертання роторної системи, за яких відбувається включення робочої рідини в рух і в ефективне автобалансування в докритичному діапазоні, що дозволило визначити ефективність процесу зрівноваження в залежності від геометрії осі роторної системи і конструкції автобалансувального пристрою, фізичних властивостей робочих рідин.

Результати побудови і аналізу математичних моделей автоматичного балансування роторних систем рідиною використовуються в навчальних дисциплінах «Математичне моделювання динамічних систем» і «Математичне моделювання економічних і природничих процесів» для студентів першого магістерського курсу і четвертого бакалаврського курсу спеціальності 113 *Прикладна математика* для оновлення та поглиблення знань студентів, формування їх нових професійних компетентностей в галузі сучасних наукових досліджень, що дало можливість розширити тематику курсового і дипломного проектування.

#### **9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані**

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені в роботі методи та технічні рішення:

- створюють комплексну основу для проектування машин з низькою віброактивністю, малою зв'язністю коливань і сприятливими умовами роботи рідинних АБП;
- для розрахунку параметрів автобалансувальних пристроїв з рідинними робочими тілами для зниження віброактивності машин із змінним дисбалансом ротора.

Запропоновані технічні рішення впроваджені на ПАТ «Геофіпольський цукровий завод» - спроектовано конструкцію пасивного автобалансира для покращення віброактивності центрифуг періодичної дії (очікуваний ефект від впровадження полягає у зниженні вібрацій від

1,5 до 3,5 разів); на ТОВ НВФ "АДВІСМАШ" (м. Хмельницький) - методика розрахунку оптимальних конструктивних параметрів рідинного автобалансувального пристрою та технічні проективні рішення для підвищення ефективності балансування; на ДП «Красилівський агрегатний завод» - конструктивне рішення для проектування двокамерного пасивного автобалансира рідинного типу (достатній об'єм заповнення камер складає 1/4 їх об'єму) для зниження вібрацій відцентрового радіального вентилятора витяжної системи (застосування рідинного автобалансувального пристрою призведе до очікуваного зниження рівня вібрацій від 1,5 до 3 разів). Результати дисертаційного дослідження впроваджено у вигляді рекомендацій для зменшення віброактивності роторного устаткування лічильників води, при їх проектуванні й удосконаленні існуючих моделей на державному підприємстві «НОВАТОР» (м. Хмельницький); промислових пило вентиляторів ВЦП-6-45 і компресорів TREK 22L - на ТДВ «Завод АДВІС» (м. Хмельницький).

За допомогою автоматичного балансування можна підвищувати ресурс і надійність машин і приладів в усіх галузях народного господарства України і світу, зокрема, в тих, де створюються супутники, побутова техніка, канатно-навивні та землерийні машини, ротаційні друкарські машини, моталки прокатних станів, шліфувальні станки, сепаратори і центрифуги харчової та медичної промисловості.

### **10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення**

Матеріали дисертації викладено послідовно у формально-логічний спосіб з дотриманням наукового стилю викладення.

Дисертаційну роботу викладено на 377 стор., вона складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел із 231 найменування.

Структура дисертації, мова та стиль викладення відповідають вимогам, що висуваються до докторських дисертацій відповідно до Наказу МОН № 40 від 12.01.2017 р. (із змінами, внесеними згідно з Наказом МОН № 759 від 31.05.2019 р.)

### **11. Дані про відсутність текстових запозичень та порушень академічної доброчесності**

Під час виконання дисертації здобувачка Драч Ілона Володимирівна дотримувалась принципів академічної доброчесності. За результатами перевірки та аналізу матеріалів дисертації не було виявлено ознак академічного плагіату, самоплагіату, фабрикації, фальсифікації. Використані в дисертації ідеї, положення чи гіпотези інших авторів мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей здобувачки.

Інформація про отримані здобувачкою результати у її дисертації, захищеній на здобуття ступеня кандидата наук, наводиться лише в оглядовій частині докторської дисертації.

**12. Спеціальність, якій відповідає дисертація:** дисертація підготовлена за спеціальністю 131 *Прикладна механіка* (перелік наукових спеціальностей затверджений *Наказом Міністерства освіти і науки України* від 06 листопада 2015 року № 1151 (у редакції наказу Міністерства освіти і науки України від 12 квітня 2016 року № 419)), відповідає паспорту спеціальності **05.02.09** *Динаміка та міцність машин* (напрямок досліджень «Теорія і методи захисту машин, приладів і апаратури, а також оператора від ударів і вібрацій»), оскільки, *згідно формули спеціальності*, на основі *дослідження динамічних процесів* системи ротор-рідинний АБП вирішує важливу науково-технічну проблему в галузі *віброзахисту роторних машин*. При цьому значного розвитку отримав напрямок рідинного пасивного автобалансування та віброзахисту роторів. Результати роботи дозволяють для широкого класу пружно-деформівних роторів, роторів на пружних опорах, де наявна різниця фаз між напрямком сили від дисбалансу і прогином ротора або переміщенням ротора: обирати певний метод зрівноваження та віброзахисту й відповідний

тип рідинного АБП (багатокамерний, з перегородками); розраховувати основні параметри АБП; визначати діапазон кутових швидкостей, за яких буде відбуватись автобалансування.

**3. ВВАЖАТИ**, що дисертація здобувачки Драч Ілони Володимирівни на тему «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиром», подана на здобуття ступеня доктора технічних наук:

- є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальну науково-прикладну проблему в галузі динаміки та міцності машин – розроблення теоретичних основ методу пасивного балансування прямої дії рідинного типу з оптимальними параметрами конструкції АБП для зрівноваження та віброзахисту роторів машин із змінним дисбалансом;

- повністю відповідає вимогам п. п. 7 та 9 “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук” затвердженого постановою №1197 Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р., які висуваються до докторських дисертацій; Вимогам до оформлення дисертації, затвердженими наказом МОН України від 12.01.2017 № 40.

**4. РЕКОМЕНДУВАТИ** дисертаційну роботу «Наукові основи автоматичного зрівноваження роторів рідинним балансиром», подану Драч Ілоною Володимирівною на здобуття ступеня доктора технічних наук за спеціальністю **05.02.09** – динаміка та міцність машин, з урахуванням композиційних та редакційно-стилістичних, технічних та граматичних поправок до розгляду спеціалізованою вченою радою Д 35.052.06 Національного університету «Львівська політехніка».

За затвердження висновку проголосували:

за – 20 (двадцять) осіб

проти – немає

утримались – немає

Головуючий на засіданні фахового семінару  
завідувач кафедри робототехніки та інтегрованих  
технологій машинобудування  
д.т.н., професор



В. В. Ступницький

Секретар фахового семінару  
доцент кафедри робототехніки та інтегрованих  
технологій машинобудування  
к.т.н., доцент



Н. І. Магерус

Рецензенти:

Професор кафедри транспортних технологій  
д.т.н., професор



І. А. Вікович

Директор Інституту прикладної математики  
та фундаментальних наук  
д.т.н., професор



П. Я. Пукач

Завідувач кафедри опору матеріалів  
та будівельної механіки  
д.т.н., професор



Є. В. Харченко

2 листопада 2022 р.