

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Міщука Євгена Олександровича на тему «Наукові основи синергетичного процесу подрібнення матеріалів робочими органами машин статичними та динамічними навантаженнями», поданої до захисту в спеціалізовану вчену раду

Д 26.056.08 на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.02 – машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій

Для рецензування роботи автором представлено: дисертацію, реферат, список публікацій за темою дисертації.

1. Актуальність роботи. Сучасне будівництво характеризується постійним зростанням вимог до темпів виконання робіт, надійності споруд, економічності технологічних процесів та якості матеріалів. Це зумовлює необхідність не тільки нарощування виробничих потужностей, а й пошуку способів більш раціонального використання сировини. Особливо актуальною ця проблема стає в умовах реконструкції та відновлення пошкоджених будівель і споруд. Ключову роль у такому перетворенні сировини відіграють дробильно-сортувальні машини. При цьому ефективність дроблення визначає кількість та характеристики частинок, які надходять на сортування, а якість сортування, своєю чергою, впливає на стабільність готового продукту. У технологічному ланцюзі підготовки будівельних матеріалів дробарка фактично є одним із визначальних елементів. Природна гірська порода характеризується високою міцністю та абразивністю, бетонні відходи можуть містити арматуру та неоднорідні включення, а цегляний бій має інші характеристики руйнування. Тому універсальних режимів дроблення для всіх матеріалів не існує, а ефективність обладнання визначається його здатністю адаптуватися до конкретних умов роботи. Водночас кінцевою метою дробильно-сортувального процесу є не саме руйнування матеріалу, а отримання продукту, який відповідає вимогам подальшого технологічного використання. Таким чином дробильно-сортувальні машини забезпечують необхідний зв'язок між вихідною сировиною та готовим матеріалом, визначаючи значну частину його геометричних, технологічних і експлуатаційних властивостей. Тому, до сучасного дробильного

обладнання висувається комплекс взаємопов'язаних вимог: висока продуктивність, стабільність якості продукції, можливість регулювання процесу, низькі питомі енергетичні витрати, міцність, зносостійкість, надійність та ремонтпридатність. Саме поєднання цих характеристик визначає ефективність дробильно-сортувальної машини як елемента сучасної технології виробництва будівельних матеріалів.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано згідно з науково-дослідною тематикою кафедр машин і обладнання технологічних процесів» та «будівельних машин ім. Ветрова Ю.О.» КНУБА.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації. Наукові положення, висновки рекомендації, сформульовані у дисертації, обґрунтовані послідовним теоретичним аналізом і узагальненням явищ, що супроводжують процес руйнування матеріалів в камері дроблення, та експериментальним підтвердженням теоретичних залежностей, запропонованих до розрахунку силових навантажень.

Експериментальні дослідження проведені на експериментальному стенді – маятниковий копер КМ30. При цьому використовувались сучасні прилади, обладнання та методики для вимірювання і реєстрації основних показників. Результати досліджень дозволили визначити затрати енергії на процес руйнування матеріалу та розсіювання в зв'язку із різними видами опорів. Відхилення між експериментальними даними і теоретичними дослідженнями не перевищують 10-15%. На основі експериментальних даних пов'язаних із розсіюванням енергії були визначені відповідні коефіцієнти дисипації для матеріалів із різними фізико-механічними властивостями.

Параметри, визначені експериментально були використані при побудові цифрової моделі процесу руйнування дробильної машини на основі методу дискретного елемента (DEM). Дана модель дозволяє встановити розподіл енергії в залежності від фракційного стану матеріалу.

Для покращення результатів моделювання цифрової моделі автором запропоновано власний стохастичний розподіл енергії в залежності від фракційного складу матеріалу, який ґрунтується на енергетичних залежностях та враховує зміну щільності вірогідності в часі.

Завершальним етапом дослідження є запропоновані рівняння енергетичного балансу, які включають в себе затрати енергії на роботу дробарки, процес руйнування матеріалу, дисипацію енергії в механізмах конструкції дробарки.

За загальною сукупністю використаних автором нових і удосконалених методів можна зробити висновок про достатній рівень обґрунтованості сформульованих висновків та отриманих наукових положень.

4. Наукова новизна і достовірність одержаних результатів та висновків. Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні та обґрунтуванні закономірностей взаємодії частинок матеріалу в робочій камері дробарки, з урахуванням особливостей формування, передачі та реалізації силових і фрикційних взаємодій на різних етапах технологічного циклу подрібнення. Розкрито механізм виникнення та розвитку сил тертя під час стискання, переміщення і перерозподілу частинок у робочій камері, а також визначено їхній вплив на характер деформування та руйнування матеріалу. Проаналізовано закономірності зародження, поширення і розвитку тріщин у структурі матеріалу залежно від виду, величини, напрямку та характеру прикладеного навантаження.

Виявлено відмінності у механізмах руйнування матеріалу за статичного та динамічного характеру силового впливу, що реалізується робочими органами дробильних машин. Визначено особливості передачі навантаження до окремих частинок і встановлено їхній взаємозв'язок із характером деформування, локалізацією напружень та формуванням зон руйнування. Обґрунтовано вплив співвідношення статичної і динамічної складових навантаження на перебіг процесу подрібнення та формування кінцевого продукту.

Визначено основні параметри і характеристики робочого процесу подрібнення, які обумовлюють формування та розподіл енергетичних витрат у синергетичній системі руйнування матеріалу за різних видів силового навантаження. Встановлено взаємозв'язок між параметрами силового поля, конструктивними особливостями робочої камери та робочих органів дробарки, режимом переміщення матеріалу і ефективністю використання підведеної енергії. Досліджено вплив конструктивно-режимних параметрів дробильних машин на характер силової взаємодії з матеріалом, величину непродуктивних енергетичних витрат та інтенсивність перебігу процесів деформування і руйнування.

На основі встановлених закономірностей сформовано аналітичний апарат для визначення та обґрунтування раціональних конструктивних і режимних параметрів дробильного обладнання. Запропоновано підхід до формування керованих режимів роботи дробарки, параметри яких можуть цілеспрямовано змінюватися в часі залежно від поточного стану матеріалу та характеру перебігу процесу подрібнення. Це дає змогу враховувати зміну фізико-механічних властивостей матеріалу, ступінь його руйнування та поточне навантаження на робочі органи під час реалізації технологічного циклу.

Удосконалено методи оцінювання напружено-деформованого стану окремих шматків матеріалу в робочій камері дробарки з урахуванням характеру прикладеного силового впливу та особливостей їхньої взаємодії з робочими органами й сусідніми частинками. Удосконалено також методи оцінювання та аналізу енергетичних показників процесу подрібнення, що дає можливість диференціювати корисні витрати енергії, пов'язані безпосередньо з руйнуванням матеріалу, та непродуктивні енергетичні втрати, зумовлені особливостями роботи механічної системи дробарки.

Основні положення, які виносяться на захист, висновки та практичні рекомендації достовірні та обґрунтовані. Поставлені та виконані завдання досліджень є коректними.

Достовірність одержаних результатів підтверджена достатнім збігом аналітичних та експериментальних даних; впровадженням основних результатів досліджень у виробництво; апробацією основних результатів досліджень на науково-технічних конференціях і в публікаціях автора у наукових виданнях.

5. Практичне значення одержаних результатів, що отримані дисертантом полягає у розробленні та обґрунтуванні науково-обґрунтованих підходів до підвищення ефективності процесів подрібнення матеріалів за рахунок врахування закономірностей силової та енергетичної взаємодії між робочими органами дробильного обладнання, частинками матеріалу та елементами робочої камери. Запропоновані підходи дають можливість більш повно враховувати реальні умови перебігу процесу руйнування, зокрема характер прикладеного навантаження, взаємне переміщення частинок, виникнення сил тертя, зміну напружено-деформованого стану матеріалу та конструктивні особливості дробильної машини.

Розроблено методи розрахунку та оцінювання параметрів процесу подрібнення, що забезпечують більш адекватний опис реального механізму руйнування матеріалів із різними фізико-механічними властивостями. Їх застосування дає змогу враховувати відмінності у міцності, структурі, крихкості, абразивності та інших характеристиках матеріалу під час визначення параметрів силового впливу і режимів роботи дробильного обладнання. Це розширює можливості практичного використання запропонованих методик під час проєктування, розрахунку, модернізації та експлуатації дробильних машин і технологічних ліній для перероблення природної та вторинної мінеральної сировини.

Практичне використання одержаних результатів сприяє зниженню питомих енергетичних витрат на виробництво заданого обсягу та фракційного складу подрібненого матеріалу, підвищенню продуктивності дробильного обладнання і раціональному використанню його енергетичного та силового потенціалу. Розроблені положення можуть бути покладені в основу удосконалення алгоритмів вибору режимів роботи дробарок, оцінювання їхньої

енергетичної ефективності та обґрунтування технічних рішень під час створення й модернізації дробильного обладнання.

Результати досліджень передано до впровадження в ТОВ «ПОБІ ВОТЕР ІНЖИНІРИНГ» (м. Київ), ПП «Контакт» (сmt. Нова Борова, Житомирська обл.).

Методику розрахунку робочих процесів дробильного обладнання для виробництва та переробки будівельних матеріалів впроваджено в освітній процес кафедри машин і обладнання технологічних процесів Київського національного університету будівництва і архітектури в дисциплінах: «Теорія пружності», «Статика та динаміка», «Машини для виробництва будівельних матеріалів», «Синтез машин і обладнання будіндустрії». Алгоритми розрахунку використовуються в курсовому проектуванні у вибіркових дисциплінах для спеціальностей «Прикладна механіка» та «Галузеве машинобудування».

6. Відображення наукових положень в публікаціях. Основні положення, результати та висновки дисертаційної роботи відображені в 36 наукових працях, з них 2 монографії, 21 стаття у фахових наукових виданнях, а саме 15 статей у наукових фахових виданнях, що включені до категорії «Б» та 6 наукових виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science, 12 тезах доповідей, 1 патенті на корисну модель.

7. Мова та стиль роботи. Дисертація та реферат написані державною мовою. Стиль і виклад роботи логічний, послідовний і відповідає вимогам до наукових праць. Зміст роботи повністю висвітлює наукові результати і їх використання у виробництві. При викладенні тексту застосовується наукова лексика і термінологія. Зміст реферату відповідає основним положенням дисертації.

8. Аналіз дисертаційної роботи. На рецензування подана дисертаційна робота, яка складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 412 сторінок. Робота містить 170 рисунки, 26 таблиць. Додатки викладено на 39 сторінках. Список використаних джерел включає 150 найменувань на 14 сторінках.

У вступі, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також особистий внесок здобувача в опублікованих працях. Подана інформація щодо апробації результатів дисертаційних досліджень.

У першому розділі «Стан проблеми. Постановка задач дослідження». Виконано аналіз сучасного стану технологій подрібнення та переробки будівельних матеріалів. Розкрито особливості формування робочого процесу подрібнення та визначено основні етапи перетворення вихідного матеріалу. Проаналізовано основні технологічні схеми функціонування дробильних машин та визначено особливості їх застосування залежно від властивостей оброблюваної сировини, необхідного ступеня її подрібнення і вимог до кінцевого продукту. Здійснено порівняльний аналіз конструктивних рішень традиційних типів дробарок, визначено їх функціональні можливості, переваги та обмеження щодо забезпечення необхідної продуктивності, якості подрібненого матеріалу та енергетичної ефективності. Особливу увагу приділено характеру силової взаємодії між робочими органами дробильних машин і матеріалом, особливостям передачі навантаження в робочій камері та факторам, що визначають ефективність використання підведеної енергії.

У другому розділі «Теоретичні дослідження процесу подрібнення матеріалу на основі дискретно-континуального моделювання» проведено теоретичне дослідження робочого процесу подрібнення матеріалів із використанням дискретно-континуального підходу до моделювання, який дає змогу одночасно враховувати закономірності поведінки окремих частинок та особливості деформування матеріалу як суцільного середовища. У межах проведених досліджень систематизовано сучасні уявлення про механізми руйнування матеріалів під дією зовнішнього силового впливу та визначено основні чинники, що зумовлюють виникнення і розвиток пошкоджень, формування тріщин і подальшу втрату цілісності матеріалу. Проаналізовано основні теоретичні підходи до опису фізико-механічної поведінки матеріалів у

процесі навантаження. Розглянуто реологічні моделі, що дають можливість враховувати взаємозв'язок між напруженнями та деформаціями, міцнісні характеристики матеріалу, його здатність до накопичення пошкоджень і зміни структурного стану в міру розвитку процесу руйнування.

Досліджено закономірності формування та розвитку зони руйнування з урахуванням фрактального характеру поверхонь утворених тріщин. Фрактальне представлення дає змогу врахувати складну геометрію поверхні руйнування та пов'язати її характеристики з особливостями розвитку пошкоджень у матеріалі.

На основі проведеного теоретичного аналізу визначено особливості поведінки матеріалу за статичного та динамічного прикладання навантаження. Встановлено відмінності у характері розвитку деформацій і пошкоджень, швидкості формування та поширення тріщин, а також механізмах втрати цілісності матеріалу залежно від швидкості, величини та режиму силового впливу.

Одержані результати використано для теоретичного обґрунтування принципів формування контактної взаємодії між робочими органами дробильних машин та оброблюваним матеріалом. Встановлено, що геометрична форма, взаємна орієнтація та характер руху робочих поверхонь визначають умови передачі силового впливу на матеріал і, відповідно, впливають на локалізацію напружень, напрям розвитку тріщин та характер руйнування окремих частинок.

Запропонований підхід створює основу для подальшого визначення раціональної геометрії робочих органів, вибору параметрів робочої камери та обґрунтування режимів роботи дробильних машин з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу.

У третьому розділі «Системне моделювання синергетичного подрібнення». Досліджено закономірності перебігу процесу синергетичного подрібнення матеріалів та сформовано підхід до його моделювання як взаємопов'язаної сукупності механічних, фізико-механічних і енергетичних явищ, що реалізуються в робочій камері дробильного обладнання. Встановлено, що

ефективність руйнування визначається не окремим видом силового впливу, а результатом одночасної взаємодії частинок між собою, їх контакту з робочими органами, характеру переміщення матеріального потоку та зміни фізико-механічного стану матеріалу в процесі його дроблення.

Розглянуто математичні моделі дробильних машин різних конструктивних типів та визначено можливості їх використання для дослідження взаємозв'язку між параметрами обладнання і характером руйнування матеріалу. У моделях враховано основні фізико-механічні характеристики оброблюваного середовища, зокрема міцність, деформативність, структурну неоднорідність та здатність матеріалу до накопичення пошкоджень. Це дозволило пов'язати параметри моделі не лише з кінематичними характеристиками руху робочих органів, а й з фізичними процесами, що відбуваються безпосередньо під час руйнування.

Для дослідження просторової взаємодії частинок виконано чисельне моделювання процесу подрібнення в конусній дробарці методом дискретних елементів. Отримані результати дали можливість простежити формування контактної мережі між окремими частинками та робочими поверхнями, оцінити характер передачі силових впливів і дослідити траєкторії переміщення матеріалу в робочій камері. Виявлено особливості формування та переміщення матеріального потоку, його ущільнення і розвантаження, а також встановлено взаємозв'язок між характером руху частинок та умовами реалізації процесу руйнування.

Аналіз результатів моделювання показав, що кінематична поведінка матеріалу в робочій камері безпосередньо впливає на інтенсивність контактної взаємодії та характер розподілу навантажень між частинками. Зміна траєкторій і швидкості переміщення матеріалу змінює частоту та тривалість контактів, величину сил взаємодії і локалізацію зон підвищеного напруження. Це, своєю чергою, визначає ймовірність виникнення повторних актів руйнування та впливає на формування кінцевого гранулометричного складу продукту. Таким чином, рух матеріального потоку розглядається як активна складова механізму

подрібнення, а не лише як наслідок роботи робочих органів.

За результатами комплексного дослідження сформовано синергетичну модель енергетичних витрат процесу подрібнення, у якій враховано взаємозалежний вплив силової взаємодії, кінематичних характеристик руху матеріалу, його фізико-механічних властивостей та конструктивно-режимних параметрів дробильної машини. На відміну від підходів, що розглядають окремі складові енергетичного балансу незалежно одна від одної, запропонована модель враховує їх взаємний вплив у межах єдиного робочого процесу. Це створює можливість встановлювати не лише величину загальних енергетичних витрат, а й визначати умови, за яких частка енергії, безпосередньо спрямованої на руйнування матеріалу, може бути підвищена.

У четвертому розділі «Застосування нейронних мереж для оптимізації параметрів механічного режиму при проектуванні дробильних машин». Основну увагу зосереджено на застосуванні нейромережевих технологій для опису складних нелінійних взаємозв'язків між фізико-механічними властивостями оброблюваного матеріалу, конструктивними характеристиками дробильного обладнання та параметрами його робочого процесу. Встановлено доцільність використання нейронних мереж як інструменту апроксимації багатофакторних залежностей, які складно представити традиційними аналітичними моделями через значну кількість взаємопов'язаних змінних і нелінійний характер їхнього впливу на результати подрібнення.

Для впорядкування багатофакторного простору параметрів механічного режиму розроблено кластерний підхід, за допомогою якого здійснено групування близьких за характеристиками режимів роботи дробильного обладнання. Кластеризація дала можливість виділити характерні області параметрів та дослідити відмінності між ними за показниками ефективності процесу подрібнення. Встановлено взаємозв'язок між належністю режиму до певної групи та результатами функціонування дробильної машини, що створює можливість використовувати кластерний аналіз для попереднього визначення раціональних областей параметрів і скорочення простору подальшого пошуку

оптимального режиму.

Для розв'язання задачі багатофакторної оптимізації сформовано нейромережеву модель на основі адаптивної нейронно-нечіткої системи ANFIS. Застосування цієї моделі дало змогу поєднати здатність нейронних мереж до навчання та апроксимації складних залежностей із можливістю нечіткого представлення взаємозв'язків між вхідними та вихідними параметрами процесу. У межах моделі досліджено сукупний вплив конструктивних характеристик дробильної машини, режимних параметрів її роботи та фізико-механічних властивостей матеріалу на показники ефективності подрібнення.

Досліджено закономірності кінетики руйнування матеріалу та формування фракційного складу продукту дроблення. Враховуючи випадковий характер руйнування окремих частинок і різноманітність траєкторій їх переміщення та силової взаємодії, для математичного опису процесу застосовано стохастичний підхід. У межах цього підходу процес подрібнення розглянуто як динамічну зміну ймовірнісного розподілу частинок за фракціями, що дає змогу описувати не лише окремі акти руйнування, а й закономірності формування сукупного гранулометричного складу матеріалу. Сформовано математичний опис еволюції функції щільності ймовірності, яка характеризує розподіл частинок за розмірами в процесі подрібнення. Враховано часову зміну параметрів розподілу, що дає можливість описувати перехід матеріалу від початкового стану до сформованого продукту дроблення.

У п'ятому розділі «Експериментальні дослідження робочого процесу дробильної машини з різними силовими навантаженнями на матеріал». Проведено експериментальні дослідження робочого процесу дробильної машини, спрямовані на отримання кількісних характеристик руйнування матеріалу та встановлення закономірностей його поведінки під дією силового навантаження. На початковому етапі виконано аналіз сучасних експериментальних методів і підходів до дослідження процесів деформування та руйнування матеріалів, за результатами якого визначено найбільш доцільні методи для оцінювання параметрів досліджуваного процесу. Відповідно до

сформульованих завдань обґрунтовано структуру експериментального дослідження, встановлено послідовність його окремих етапів та розроблено методику проведення випробувань і реєстрації необхідних експериментальних даних.

Отримані результати піддано систематизації, статистичній та математичній обробці з метою оцінювання достовірності й повторюваності вимірювань, визначення розсіювання експериментальних значень та виявлення стійких закономірностей перебігу досліджуваного процесу. Встановлено характер взаємозв'язків між параметрами силового впливу та показниками руйнування матеріалу, що дало змогу перейти від окремих результатів випробувань до їх узагальненої кількісної оцінки. На завершальному етапі сформовано експериментальну інформаційну базу, яка використана для зіставлення теоретичних положень із фактичними результатами випробувань, перевірки сформованих припущень та оцінювання адекватності розроблених математичних моделей робочого процесу дроблення.

У шостому розділі «Рекомендації по впровадженню результатів дослідження». Сформовано практичні рекомендації щодо впровадження результатів проведених досліджень у процеси створення та вдосконалення дробильного обладнання. На основі аналізу умов функціонування дробильних машин визначено сукупність основних технічних і технологічних чинників, які безпосередньо впливають на стабільність робочого процесу, забезпечення необхідної продуктивності та ефективність використання енергетичних ресурсів. Встановлено, що досягнення раціональних показників роботи обладнання потребує узгодженого вибору його конструктивних характеристик і режимних параметрів з урахуванням властивостей матеріалу, що надходить на перероблення, та вимог до гранулометричного складу готового продукту.

Обґрунтовано підходи до визначення раціональних конструктивних і режимних параметрів дробильного обладнання залежно від фізико-механічних властивостей вихідного матеріалу, його початкової крупності, необхідного ступеня подрібнення та заданих характеристик кінцевого продукту. При цьому

враховано особливості формування силової взаємодії між робочими органами та матеріалом, характер його деформування і руйнування, а також умови переміщення частинок у робочій камері. Такий підхід дає змогу узгодити параметри механічного впливу з властивостями матеріалу та технологічними вимогами до процесу, що створює передумови для зменшення непродуктивних енергетичних витрат і підвищення ефективності дроблення.

Розроблено практичні рекомендації щодо встановлення раціональних параметрів робочого процесу з урахуванням характеру силового навантаження, фізико-механічних характеристик матеріалу та особливостей його руху в робочій камері. Запропоновані рекомендації орієнтовані на забезпечення такого режиму функціонування дробильної машини, за якого необхідний результат подрібнення досягається без надмірного силового та енергетичного навантаження на обладнання. Для практичної апробації запропонованого підходу наведено приклад визначення параметрів механічного режиму дробильного обладнання.

У висновках сформульовано основні результати дисертації.

ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЇ

1. У першому розділі достатньо уваги приділено аналізу конструкцій дробарок та загальних методів їхнього розрахунку. Проте, не повною мірою відображено сучасний стан наукових результатів, недостатність яких було закладено у формування наукової проблеми.

2. У другому розділі розглянуто низку енергетичних та силових критеріїв руйнування матеріалів під час їхнього дроблення, а також моделі реологічних середовищ та їх програмна реалізація. Втім, не здійснено чіткого порівняння розглянутих критеріїв та моделей, а також можливості формування узагальненого критерію руйнування, що має місце під час неперервного процесу дроблення та зміни фізико-механічних характеристик середовища.

3. Автор пропонує системне моделювання процесу дроблення з урахування рівняння руху мас (розділ 3). Проте, узагальненої математичної моделі у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь не наведено. Це

дало б можливість отримати більший спектр кінематичних, силових і динамічних характеристик та провести більш ефективний аналіз процесу дроблення. Хоча варто зауважити, що автор, при цьому основну увагу приділив енергетичним характеристикам процесу.

4. Автор розглядає моделі вібраційних дробарок та спираючись на визначену ним методику не здійснює порівняльного аналізу енергетичної ефективності, порівняно з класичними конструкціями дробарок, зокрема на основі зведеної формули (3.129).

5. Підрозділ 4.7 розглядається з метою оптимізації процесу проєктування дробарок. Втім, чіткого формулювання завдання оптимізації з відповідними обмеженнями на конструктивні і технологічні параметри не наведено.

6. Автор не обумовив, який саме критерій використовувався для оцінювання відповідності стохастичної моделі отриманим експериментальним результатам.

7. Потребує додаткового пояснення процедура вдосконалення режимів роботи машин для подрібнення матеріалів, зокрема з точки зору реалізації змінних режимів безпосередньо під час дроблення.

Вказані недоліки не мають суттєвого впливу на наукове значення та практичну цінність виконаної роботи.

ВИСНОВОК

1. Дисертаційна робота містить нові науково обґрунтовані положення, які покладено в основу методів розрахунку та удосконалення режимів роботи машин для подрібнення матеріалів з урахуванням енергетичних, статичних і динамічних характеристик процесу подрібнення та функціонування машин.

2. За актуальністю, науковою новизною отриманих результатів, їх практичною цінністю, обґрунтованістю основних положень та висновків дисертаційна робота Міщука Євгена Олександровича на тему «Наукові основи синергетичного процесу подрібнення матеріалів робочими органами машин статичними та динамічними навантаженнями» повністю відповідає

спеціальності 05.05.02 – «Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій» та вимогам п. 7–9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197.

3. Опубліковані наукові роботи і реферат у повній мірі відображають основні результати досліджень.

4. Дисертаційна робота «Наукові основи синергетичного процесу подрібнення матеріалів робочими органами машин статичними та динамічними навантаженнями» є завершеною науковою працею, а її автор – Міщук Євген Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.02 – «Машини для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій».

Офіційний опонент

професор кафедри робототехніки та
інтегрованих технологій машинобудування
Національного університету
«Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

 Володимир ГУРСЬКИЙ

Підпис д-ра техн. наук, професора Володимира ГУРСЬКОГО
ЗАСВІДЧУЮ:

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»



 Юрій ЯТЧИШИН