

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу
Лютого Ростислава Володимировича
«Теоретичні та технологічні основи створення екологічних фосфатних зв'язувальних матеріалів для ливарного виробництва»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.16.04 – Ливарне виробництво

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Історичний розвиток процесів виготовлення ливарних форм і стрижнів призвів до того, що на початку XXI ст. провідне місце зайняли піщано-смоляні суміші. В багатьох країнах світу через великі екологічні загрози компонентів (фенол, формальдегід, фурфурол тощо) припинено виробництво смоляних зв'язувальних матеріалів. В Україні гостро стоїть проблема засилля (майже 50% від загальної кількості зв'язувальних матеріалів) фенольних смол для виготовлення холоднотвердних сумішей. При цьому гранично допустимий вміст фенолу в повітрі 0,003%, що є критичним для людського організму. Крім фенольних, використовують ряд інших синтетичних смол, які є не менш шкідливими для людей і довкілля.

На сьогодні приблизна вартість ливарної формувальної лінії – \$100 000, а вартість системи регенерації холоднотвердної суміші – \$300 000. Підприємства, які використовують холоднотвердні суміші на органічних зв'язувальних компонентах, мають ставити дуже дорогі очисні споруди і рідко на це йдуть. Тому зменшення кількості відходів та викидів не тільки забезпечить покращення санітарно-гігієнічних умов роботи, а й призведе до зниження виробничих витрат.

Тому наукові та практичні дослідження, спрямовані на усунення токсичних та небезпечних продуктів і створення замість них безпечних екологічних формувальних матеріалів, є актуальними.

Дисертаційна робота Лютого Р.В. є екологічно та економічно актуальною для ливарного виробництва України.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

В дисертаційній роботі Лютого Р.В. та в авторефераті наведено, що автор брав особисту участь у виконанні науково-дослідницьких робіт за державним замовленням, госпдоговірних та конкурсних робіт. По темі МОН України № 2632п «Розроблення методології прогнозування структури і властивостей металу у виливках із сплавів на основі заліза з високим вмістом хрому» (номер держреєстрації 0113U000649) – співвиконавець, по темі № 2851п «Технологічні особливості прогнозування властивостей розплавів і структури металу виливків для роботи в екстремальних умовах» (номер держреєстрації 0115U000406) –



співвиконавець, по договору № Н/1100/03 «Випробування бентоніту формувального» – керівник, по проєкту «Екологічний зв'язувальний матеріал для ливарного виробництва» для міжнародного конкурсу «Sikorsky Challenge 2020» – керівник.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, та їх достовірність.

В дисертації Лютого Р.В. повною мірою розкрито тему і поставлену мету досліджень. Наукові положення та висновки ґрунтуються на законах фундаментальних (математика, теплофізика, хімія, фізична хімія) та прикладних (теорія ливарних процесів, теплотехніка ливарного виробництва, теорія та технологія ливарної форми) наук, достатньою мірою корелюють із висновками інших дослідників та доповнюють їх. Достовірність наведених результатів підтверджено використанням сучасних методів досліджень: кількісний та якісний рентгенофазовий аналіз, диференційна сканувальна калориметрія, растрова електронна мікроскопія, а також стандартних загальноприйнятих та оригінальних методик.

Результати дисертації обговорено на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях «Нові матеріали і технології в машинобудуванні» (м. Київ), «Перспективні технології, матеріали і обладнання у ливарному виробництві» (м. Краматорськ), «Ливарне виробництво: технології, матеріали, обладнання, економіка екологія» (м. Київ), «Перспективні технології, матеріали і обладнання у ливарному виробництві» (м. Київ), «Литво, Металургія» (м. Запоріжжя, м. Харків), «Матеріали для роботи в екстремальних умовах» (м. Київ), «Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра» (м. Київ), «Прикладні науково-технічні дослідження» (м. Івано-Франківськ), «Перспективні технології на основі новітніх фізико-матеріалознавчих досліджень та комп'ютерного конструювання матеріалів» (м. Київ), «Неметалеві вкраплення і гази у ливарних сплавах» (м. Запоріжжя), «Perspectives of world science and education» (м. Осака, Японія), «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (м. Львів) в період з 2010 по 2022 рік.

Перспективність використання результатів дисертаційного дослідження, зокрема фосфатних зв'язувальних компонентів, підтверджено патентом на винахід, патентом на корисну модель, а також 4 актами впровадження в освітній процес КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4. Структура та зміст дисертації.

Загальний обсяг дисертації складає 446 сторінок, із яких основна частина представлена на 380 сторінках. Дисертація містить вступ, 7 розділів, список використаних джерел із 424 найменувань та додатки від

А до К. Наявні всі обов'язкові структурні елементи, регламентовані вимогами до оформлення докторських дисертацій.

У вступі представлено актуальність, мету, завдання дисертації, наукову новизну та практичне значення результатів. Показано важливість не тільки створення нових зв'язувальних матеріалів, а і фундаментальних досліджень процесів теплової взаємодії ливарної форми з металом. Наведено загальну інформацію про структуру і зміст дисертації та про апробацію її результатів.

У першому розділі представлено критичний огляд літературних джерел за напрямком створення і використання зв'язувальних матеріалів для ливарних форм і стрижнів. Розглянуто роботи найбільш відомих вчених, які займалися вирішенням проблем створення і використання фосфатних зв'язувальних матеріалів. Показано недоліки сучасних органічних матеріалів (синтетичних смол) та визначено загальну тенденцію до їх заміни на неорганічні матеріали, зокрема фосфати. Проаналізовано технологічні схеми утворення фосфатних зв'язувальних компонентів та визначено наукові питання, які залишаються невирішеними. Встановлено особливості застосування цих зв'язувальних компонентів у складі стрижневих сумішей, на основі чого визначено основні напрямки досліджень. Наведено інформацію щодо наявних методів розрахунків теплових полів ливарних форм і стрижнів, встановлено їх недоліки та шляхи удосконалення. Сформульовано мету дисертаційної роботи та поставлено завдання для її досягнення.

У другому розділі представлено опис використаних матеріалів і методик дослідження, серед яких створена автором комплексна математична методика розрахунку температурних полів у ливарних стрижнях, рентгенофазовий аналіз, диференційний термічний аналіз, растрова електронна і оптична мікроскопія, термодинамічні розрахунки, математичне планування експериментів та статистичне оброблення даних, визначення фізико-механічних властивостей зразків із використанням сучасних лабораторних приладів для випробування сумішей. Для отримання інформації про хімічний та фазовий склад створених фосфатних зв'язувальних компонентів та про їх вплив на властивості стрижневих сумішей використаних методів дослідження цілком достатньо.

У третьому розділі дисертації створено систему математичних методів для розрахунку теплових полів ливарних стрижнів. Вона базується на поєднанні раніше відомих аналітичних формул і власних розробок автора та відрізняється від попередніх методик тим, що практично не містить емпіричних коефіцієнтів і спрощень.

В цьому розділі вперше запропоновано методику розрахунку та представлено відповідну математичну залежність для визначення динаміки зміни температури поверхні вилівка в інтервалі від заливання до солідусу, яка полягає у вирішенні диференційного рівняння охолодження цієї поверхні в контакті з ливарною формою. Також розроблено методику

розрахунку динаміки просування фронту твердіння по перерізу вилівка з урахуванням його конфігурації, яка полягає у визначенні кількості теплоти, яка виділяється в процесі охолодження та кристалізації металу, віднесеної до одиниці об'єму вилівка, а не до його лінійних координат. Створено методику розрахунку розподілу теплових полів у затверділій і рідкій частинах вилівка, яка полягає в умовному розділенні вилівка на рідку та закристалізовану частини та визначенні теплових полів у цих частинах з урахуванням їх різних теплофізичних властивостей.

Створено систему розрахункових методів для визначення температурних полів ливарних стрижнів, для чого введено нове теплофізичне поняття «період теплової інерційності» стрижневої суміші, розраховано його значення та застосовано його як основу для визначення зміни температури поверхні стрижня під час її нагрівання, а також під час охолодження у контакті з вилівком.

Розраховано розподіл температурних полів у ливарних стрижнях, які виконують внутрішні порожнини у товстостінних та тонкостінних сталевих вилівках та показано, що максимальна температура наскрізного прогрівання стрижня – $950\text{ }^{\circ}\text{C}$, максимальна температура на поверхні близько $1580\text{ }^{\circ}\text{C}$. У тонкостінних вилівках температура наскрізного прогрівання стрижнів не перевищує $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, на поверхні – не більше $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Проведене порівняння результатів за створеним у дисертації та наявними до цього методами показали різницю в результатах більше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, при цьому експериментально підтверджено правильність розроблених в дисертації методів розрахунку.

У четвертому розділі представлено нові результати щодо синтезу фосфатних зв'язувальних компонентів із поширених у ливарному виробництві сполук кремнію, цирконію, алюмінію. Показано, що при взаємодії ортофосфорної кислоти з кварцовим наповнювачем при температурі $300\text{...}320\text{ }^{\circ}\text{C}$, з цирконовим наповнювачем при $320\text{...}350\text{ }^{\circ}\text{C}$, з алюмосилікатним наповнювачем при $280\text{...}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ – утворюються фосфати відповідних елементів, які мають зв'язувальну здатність по відношенню до наповнювача стрижневої суміші.

Досліджено кінетику утворення фосфатного зв'язувального компонента під час взаємодії ортофосфорної кислоти із дрібнодисперсною алюмінієвою пудрою. Установлено, що завдяки наявності оксидних плівок на поверхнях часток пудри інкубаційний період хімічної реакції складає близько $5\text{...}10$ хв, що забезпечує живучість суміші, після чого вона твердне при кімнатній температурі через утворення ортофосфату алюмінію та має міцність при стисканні через 1 год на рівні $1,5$ МПа.

Досліджено фазовий склад і фізико-хімічні перетворення у зв'язувальних компонентах, представлених фосфатами кремнію, цирконію та алюмінію і встановлено, що вони мають переважно кристалічну будову і при нагріванні до $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ не мають поліморфних перетворень, не

розпадаються і не плавляться, що забезпечує стабільність властивостей стрижневих сумішей.

У п'ятому розділі доведено термодинамічними розрахунками та підтверджено експериментально проходження хімічних реакцій синтезу зв'язувальних компонентів із ортофосфорної кислоти та неорганічних солей металів. Установлено, що подібні реакції взаємодії можливі не тільки із солями слабших за ортофосфорну кислот, а й із сульфатами, хлоридами, нітратами тощо, за умови, що серед продуктів реакції наявні нерозчинні або газоподібні сполуки. Розроблено схеми синтезу зв'язувальних компонентів при нагріванні до 200...300 °С.

Детально розглянуто процеси в системах ортофосфорної кислоти з кристалогідратними сульфатами алюмінію та марганцю, в яких утворення фосфатних зв'язувальних компонентів відбувається при нагріванні внаслідок двостадійного процесу: спершу відщеплення частини кристалогідратної води із утворенням побічного продукту – гідроксиду, який потім вступає у безпосередню хімічну взаємодію з кислотою, що призводить до утворення фосфатів.

Установлено особливості структуроутворення у суміші триполіфосфату натрію з ортофосфорною кислотою. Їх хімічна взаємодія при температурі 150...200 °С призводить до утворення нової сполуки – пірофосфату натрію $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$, схильної до утворення додаткових водневих зв'язків та підвищеної адгезії до вогнетривкого наповнювача, що забезпечує значне зростання міцності стрижневої суміші порівняно із сумішшю з триполіфосфатом натрію.

В шостому розділі представлено результати дослідження трьох різних способів приготування фосфатних сумішей: використання ортофосфорної кислоти та активної добавки як окремих компонентів, попередній синтез зв'язувального компонента з ортофосфорної кислоти та активної добавки у вигляді сухої композиції, використання розчину або суспензії активної добавки з ортофосфорною кислотою. Для кожної стрижневої суміші визначено найбільш придатний спосіб.

Стрижневі суміші містять термічно стабільні зв'язувальні компоненти без газотвірних та активних складових, тому забезпечують виготовлення дрібних виливків із залізобетонних сплавів без пригару з 11...13 ступенем чистоти поверхні за ДСТУ 8981:2020, що відповідає вимогам до таких виливків загальномашинобудівного призначення.

Мінімальною роботою вибивання характеризуються стрижні із сумішей, в яких зв'язувальні компоненти утворено із ортофосфорної кислоти та сульфатів алюмінію або марганцю. При цьому стрижні із сумішей з легкоплавкими фосфатами натрію і калію рекомендовано вилучати шляхом попередньої витримки виливків у воді.

Використання у складі сумішей поєднання пилоподібного алюмінію та ортофосфорної кислоти забезпечує її твердіння при кімнатній температурі, що надає сумішам у затверділому стані міцність не менше

1,5 МПа та обсипаємість не більше 0,2% за масою. Тобто ця суміш є представником алюмофосфатних ХТС.

Сьомий розділ дисертації об'єднує теоретичну та практичну інформацію, викладену в попередніх розділах, та підтверджує конкурентоспроможність розроблених фосфатних зв'язувальних матеріалів і сумішей на їх основі.

На основі аналізу усіх існуючих зв'язувальних компонентів і нових розробок, представлених в дисертації, удосконалено систему їх класифікації за природою, характером твердіння і питомою міцністю. Створено систему класифікації стрижневих сумішей за фізико-хімічними процесами твердіння, яка дає змогу прогнозувати межі застосування і властивості сумішей, а також можливі технології виготовлення стрижнів.

Представлено результати дослідження властивостей холоднотвердної вогнетривкої суміші з ортофосфорною кислотою і гідроксидом алюмінію для виготовлення керамічних оболонкових форм за моделями, що витоплюються. Установлено, що міцність при статичному вигині при нормальній температурі не менше 3,0 МПа, при 900...1000 °С – 2,0...5,0 МПа, після прожарювання і охолодження – 1,0...3,0 МПа.

Додатково доведено відсутність негативного впливу звороту в кількості до 30% розроблених стрижневих сумішей на комплекс властивостей оборотних піщано-бентонітових формувальних сумішей: додавання звороту не знижує технологічних (текучість, ущільнювальність, формувальність) та сприяє підвищенню фізико-механічних (міцність при стисканні, газопроникність) властивостей.

Наведено результати приблизних розрахунків економічної ефективності: 1 тонна розроблених стрижневих сумішей порівняно з піщано-смоляними забезпечує економію від 200 до 800 грн. Крім цього вказано, що розроблені суміші утворюють 600...1000 г газоподібних продуктів на тонну литва, тоді як традиційні піщано-смоляні ХТС і суміші для теплового твердіння – 3000...12000 г. Зменшення загальної кількості газових виділень і більш безпечний їх склад характеризують створені зв'язувальні компоненти та суміші на їх основі як дійсно екологічні формувальні матеріали.

Загальні висновки відображають всі наукові та прикладні положення, викладені в основних розділах дисертації та дають вичерпну інформацію щодо повноти розкриття теми та вирішення поставлених в роботі завдань.

Додатки А...К вміщують додаткову інформацію про використані методи планування експериментів та оброблення результатів, таблиці з розрахунками, профілограми, акти впровадження в освітній процес.

В цілому дисертація Лютого Р.В. являє собою завершену роботу, в якій вперше розроблено наукові основи створення екологічних фосфатних зв'язувальних компонентів з комплексом функціональних властивостей, необхідних для ливарного виробництва. Тема та зміст дисертації

відповідають паспорту спеціальності 05.16.04 – «Ливарне виробництво». За оформленням дисертація відповідає чинним вимогам.

5. Наукова новизна отриманих в роботі результатів, сформульованих положень і висновків.

Автор роботи вперше проаналізував фізико-хімічні процеси взаємодії ортофосфорної кислоти з вогнетривкими матеріалами, неорганічними солями металів та сполуками алюмінію різної хімічної природи, на основі чого створив наукові основи та реалізував синтез фосфатних зв'язувальних компонентів у вказаних системах.

В дисертації представлено вогнетривкі наповнювачі стрижневих сумішей не як інертну складову, а як активні добавки, які можуть брати участь у процесі синтезу зв'язувальних компонентів, який відбувається безпосередньо у складі суміші під час теплового зміцнення стрижня. Вперше реалізовано схему твердіння суміші через поверхнево-контактне утворення зв'язків за рахунок синтезу зв'язувальних компонентів безпосередньо із матеріалу наповнювача на поверхні його частинок.

Також вперше встановлено, що неорганічні солі сульфатної, соляної, азотної та деяких інших сильних кислот за певних умов здатні вступати у реакції з ортофосфорною кислотою та утворювати фосфатні зв'язувальні компоненти. Зокрема, термодинамічними розрахунками визначено та експериментально підтверджено синтез фосфатів із високою зв'язувальною здатністю по відношенню до кварцового піску із ряду неорганічних солей: нітрату алюмінію, хлориду натрію, хлориду та броміду калію.

На основі накопиченого досвіду із теорії і практики взаємних перетворень групи фосфатів натрію вперше розроблено схему синтезу зв'язувального компонента із підвищеною питомою міцністю. Пірофосфат натрію як продукт хімічної взаємодії ортофосфорної кислоти з триполіфосфатом натрію набуває зв'язувальних властивостей по відношенню до кварцового піску та забезпечує міцність при стисканні стрижневої суміші після затвердіння в межах 3,2...3,5 МПа.

Усі зв'язувальні матеріали, вперше створені в дисертаційній роботі Лютого Р.В., мають значний потенціал щодо їх використання у ливарному виробництві. Додатковими дослідженнями підтверджено, що всі стрижневі суміші мають високу міцність, забезпечують отримання дрібних виливків із залізобуглецевих сплавів з чистою поверхнею, мають незначну трудомісткість вилучення стрижнів із виливків. Вказані результати мають логічні теоретичні пояснення і підсилюють наукову цінність роботи.

Дисертація також містить інформацію щодо створення і практичного застосування методики розрахунку теплових полів у ливарних формах і стрижнях. Вперше у результаті аналітичних розрахунків із використанням базових формул Г.Ф. Баландіна, І. Стефана, С. Шварца, метода кінцевих різниць та ряду власних математичних і теплофізичних розробок автора,

визначено динаміку зміни температур поверхонь виливка і ливарного стрижня в процесі їх контакту, динаміку прогрівання стрижня під час кристалізації та охолодження виливка. Вказаний аналіз теплових полів є науковою основою для визначення області застосування сумішей з різними зв'язувальними компонентами залежно від розмірів виливка і типу сплаву.

6. Практичне значення одержаних результатів.

За результатами дисертаційних досліджень Лютого Р.В. створено нові фосфатні зв'язувальні компоненти для ливарного виробництва та стрижневі суміші на їх основі. Ці матеріали мають значні економічні та екологічні переваги перед промисловими аналогами, що підтверджено розрахунками, представленими в роботі.

Технології отримання фосфатних зв'язувальних компонентів передбачають використання загальновідомих, доступних і екологічних матеріалів та можуть бути реалізовані як на хімічних підприємствах, так і безпосередньо у ливарних цехах. Розроблені схеми їх приготування є новими не тільки для ливарного виробництва, а й для інших галузей техніки, у яких використовують зв'язувальні матеріали.

Вплив типу і гранулометричних характеристик вогнетривких кварцових наповнювачів на властивості сумішей є мінімальним, що дає змогу використовувати у складі сумішей менш кондиційні річкові або регенеровані піски.

Створено технології виготовлення ливарних стрижнів, які тверднуть при нормальній температурі (ортофосфорна кислота з алюмінієвою пудрою) та при нагріванні у межах 150...300 °С (всі інші). При цьому показано можливість використання фосфатів натрію із засобів побутової хімії в ливарне виробництво, що дасть змогу зменшити кількість фосфатних викидів та покращити екологічний стан водойм.

Окремим здобутком є розроблення суміші та технології її приготування для виготовлення керамічних оболонкових форм за моделями, що витоплюються, згідно якої усуваються пожежонебезпечні, токсичні матеріали, забезпечується виготовлення якісних виливків із вуглецевих та легованих сталей.

7. Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях.

Результати дисертації достатньо повно викладено у наукових виданнях. Загалом представлено 53 публікації, із них 2 розділи у колективних монографіях (розрахунок теплових полів та створення фосфатних зв'язувальних компонентів із ортофосфорної кислоти і неорганічних солей металів), 13 статей у фахових виданнях України, 8 статей у журналах, які входять до наукометричних баз Scopus і Web of Science, 25 матеріалів конференцій, 1 патент на винахід (холоднотвердна

алюмофосфатна суміш) і 1 патент на корисну модель (спосіб приготування алюмофосфатної суміші теплового твердіння).

Аналіз змісту публікацій призводить до висновку, що усі наукові положення і практичні рекомендації, представлені в дисертації, викладено у наукових виданнях.

8. Мова та стиль дисертації.

Текст дисертації представлено українською мовою, з дотриманням правил оформлення рисунків, таблиць, формул. Автор дотримався загальноновизнаної наукової термінології. Кожен розділ дисертації тематично представляє завершене наукове дослідження. Всі положення наукової новизни та висновки повною мірою розкрито в дисертації, підтверджено рисунками, розрахунковими та практичними даними.

В цілому представлена дисертація викладена в якісному науковому стилі.

9. Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи.

9.1. Автор надто звузив значення, актуальність, важливість одержаних результатів для вітчизняного ливарного виробництва, а тому варто було б зосередити свою увагу на кінцевому її результаті, такому як створення нового класу екологічно чистих фосфатних зв'язувальних матеріалів, що дає змогу відмовитись від високотоксичних імпортованих фенольних для ХТС і водночас забезпечити економічну безпеку вітчизняного ливарного виробництва шляхом широкомасштабного промислового впровадження фосфатних зв'язувальних компонентів для технологічних процесів одержання виливків із залізобуглецевих сплавів військового та цивільного призначення.

9.2. Мету роботи доцільно було б доповнити, а саме: «встановлення передумов та закономірностей виникнення неорганічних зв'язувальних речовин фосфатного класу в стрижневих сумішах під дією температури і дослідження впливу результату цього процесу на властивості ливарних стрижнів та якість виливків з послідуочим їх широкомасштабним впровадженням у вітчизняному ливарному виробництві взамін імпортованих аналогів».

9.3. Автор работ створив аналітичні та комп'ютерні методи моделювання динаміки теплообміну в системі «форма - метал - стрижень», що дало змогу в подальшому використовувати створені теплофізичні моделі для практичного використання при розробці нових фосфатних зв'язувальних матеріалів та одержання виливків у сумішах на їх основі. Однак в розділі 3 дисертації (початок – стор.106) явно не встановлено автором вплив «термічного зазору», що утворюється з початкового моменту твердіння вилівка в системі «форма - метал », а саме, за утворення такого зазору теплообмін зі сторони форми знижується у 10..15

разів, що не може не впливати на кінетику нагрівання стрижня і, відповідно, на температурне поле виливка, який твердне, в системі «метал - стрижень».

9.4. При оцінці впливу створених фосфатних зв'язувальних матеріалів для одержання виливків із залізобуглецевих сплавів відповідно до ДСТУ 8781:2018 «Виливки зі сталі. Загальні технічні умови» та ДСТУ 8833:2019 «Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови» дисертант повинен був визначитись із комплексом основних показників якості, що дають змогу встановити переваги використання фосфатних зв'язувальних матеріалів в порівнянні з аналогами промислового використання при одержанні однотипних виливків. Однак у розділах наведені лише данні щодо шорсткості та частково розмірної точності, яких недостатньо для достовірного аналізу щодо якості литих деталей чи конструкцій із залізобуглецевих сплавів, які виготовлено з використанням стрижневих і формувальних сумішей з фосфатними зв'язувальними матеріалами.

9.5. В дисертаційній роботі проведено масштабні дослідження впливу більше десятка зв'язувальних матеріалів формувальних і стрижневих сумішей широкого промислового використання, обсяги та різновиди газових викидів яких у 5...12 разів більше у порівнянні зі створеними фосфатними зв'язувальними матеріалами. Однак автор дисертації не використав одержані данні в якості доказової бази для заборони використання імпортованих аналогів з цілковитою їх заміною на вітчизняні фосфатні зв'язувальні матеріали.

9.6. Практична цінність в дисертації наведена як перелік наукових і технологічних досягнень дисертанта, але в ній не представлено кінцевого продукту у вигляді нормативно-технічної документації, що не дає змоги у подальшому використати одержані результати, або збільшує термін їх впровадження у промисловості. Тому дисертант повинен був розробити хоча б у вигляді проєктів кінцевого продукту:

- Технічні умови «Зв'язувальні матеріали на основі ортофосфорної кислоти для ливарного виробництва»;
- Керівні технічні матеріали «Технологічні процеси та організація виробництва зв'язувальних матеріалів на основі ортофосфорної кислоти»;
- Керівні технічні матеріали «Технологічні процеси та організація виробництва виливків з використанням стрижнів, що одержані на основі фосфатних зв'язувальних матеріалів».

9.7. Для оцінки економічної ефективності застосування фосфатних зв'язувальних матеріалів у ливарному виробництві автор використав спрощену методику її оцінки, яка базується лише на порівнянні собівартості з відомими промисловими аналогами, тож є не досконалою і не дає змоги об'єктивно оцінити перевагу, яка за даними розрахунків становить 200 до 800 грн. (чистий прибуток 130...500 грн.).

Водночас сучасні методи оцінки економічної ефективності, а саме, «Методичні рекомендації з комерціалізації наукових розробок створених в результаті науково-технічної діяльності» (Наказ Державного комітету України з питань науки, інновацій та інформатизації від 13.09.2010 р. №18), які враховують собівартість, додаткові капітальні витрати для системи екологічної безпеки, термін окупності та ставок по кредитах для інвестицій, що дало б можливість визначити доцільність щодо відмови від імпорту зв'язувальних матеріалів для ХТС та активного переходу до використання фосфатних зв'язувальних матеріалів. Для прикладу (довідково), розрахунок чистого прибутку за наведеною методикою для ливарного виробництва на 5000 тонн/рік чавунного литва може становити не менше, як 1000 грн/тону, що втричі більше, ніж визначено у дисертаційній роботі (середня величина чистого прибутку 300 грн./тону).

9.8. Мова та стиль дисертації цілком відповідає Правилам оформленням, але інколи з'являються в тексті посилання на вже не дійсні стандарти, так, для прикладу, в табл. 6.16 на стор. 271 дисертації наведено ГОСТ ССРСР 26645-85, хоча вже має статус діючого ДСТУ 8981:2020 «Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення».

Разом з тим, вважаю, що наведені недоліки та рекомендації не зменшують високої наукової та практичної цінності дисертаційної роботи.

10. Відповідність автореферату змісту дисертаційної роботи.

Автореферат складається із вступної частини, в якій представлено актуальність, мету та завдання роботи, наукову новизну та практичну значимість, особистий внесок здобувача та інформацію про структуру дисертації. Ця частина повністю відповідає вступній частині дисертації. В основному тексті автореферату представлено стислий огляд усіх розділів дисертації, в якому розкрито пояснення усіх положень наукової новизни. Висновки та перелік публікацій аналогічні тим, що представлені в дисертації.

За правилами оформлення, обсягом і змістом автореферат повною мірою відповідає дисертаційній роботі та чинним вимогам.

11. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам.

Дисертація Лютого Ростислава Володимировича «Теоретичні та технологічні основи створення екологічних фосфатних зв'язувальних матеріалів для ливарного виробництва» являє собою завершену наукову роботу, яка присвячена створенню наукових основ аналітичного розрахунку теплових процесів у ливарній формі, ґрунтовній систематизації фізико-хімічних процесів твердіння сумішей, розробленню та реалізації методів синтезу нових неорганічних зв'язувальних матеріалів фосфатного класу, розробленню екологічних технологій виготовлення ливарних

стрижнів. Мета, завдання, зміст наукових положень та представлених висновків свідчать про те, що дисертація повною мірою відповідає паспорту спеціальності 05.16.04 «Ливарне виробництво».

Дисертаційна робота Лютого Р.В. є актуальною, містить важливі вперше сформульовані наукові положення, що направлені на вирішення важливої наукової проблеми світового масштабу – створення екологічних зв'язувальних матеріалів на заміну продуктам органічного синтезу. Всі поставлені завдання в роботі вирішено, вона відповідає вимогам п.п. 7, 8, 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, а її автор Лютий Ростислав Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.04 «Ливарне виробництво».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук,
завідувач відділу фізико-хімії
ливарних процесів
Фізико-технологічного інституту
металів та сплавів НАН України,
професор

 Олег ШИНСЬКИЙ

Підпис д.т.н. проф. О.Й. Шинського
засвідчую.

Вчений секретар
Фізико-технологічного інституту
металів та сплавів НАН України



 Володимир ЛАХНЕНКО