

**Рішення спеціалізованої вченої ради  
про присудження ступеня доктора філософії**

Спеціалізована вчена рада PhD 7744 Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України (м. Дніпро) прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія на підставі прилюдного захисту дисертації «Розробка технологічних засад окислювальної продувки в сталерозливному ковші при виробництві сталі з низьким вмістом вуглецю» за спеціальністю 136 – Металургія Арендач Наталії Анатоліївни 1 квітня 2025 року.

Арендач Наталія Анатоліївна 1996 року народження, громадянка України, закінчила у 2019 році Національну металургійну академію України за спеціальністю «Металургія».

Дисертацію виконано у відділі фізико-технічних проблем металургії сталі Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України.

Науковий керівник Молчанов Лавр Сергійович, кандидат технічних наук, завідуючий відділом Фізико-технічних проблем металургії сталі Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України.

Здобувач має 15 наукових публікацій за темою дисертації, з них 1 патент на корисну модель:

1. Патент України на корисну модель 126453. Опубл. 25.06.2018, Бюл. № 12., 5 статей –у фахових виданнях України:

2. Молчанов Л.С., **Шеремета Н.А. (Арендач Н.А.)**, Синегін Є.В. Дослідження ефективності гомогенізації рідкої сталі при продувці через блоки різної конструкції. *Теорія і практика металургії*. 2018. № 6, С. 76 – 80.  
<https://doi.org/10.34185/tpm.6.2018.10>

[https://nmetau.edu.ua/file/zh2018\\_6\\_s10.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/zh2018_6_s10.pdf)

3. Molchanov L., **Arendach N.**, Synehin Y. Study of the design of bottom blowing devices for oxidative blowing in teeming ladles. *Сучасні проблеми металургії*. 2021. № 24, С. 81-89

<https://doi.org/10.34185/1991-7848.2021.01.08>

4. Молчанов Л.С., Голуб Т.С., **Арендач Н.А.** Комплексне дослідження особливостей перебігу окиснення вуглецю в сталюковші при донному бульбашковому продуванні сумішшю газів системи «кисень — нейтральний газ». *Збірник наукових праць ДДТУ Технічні науки*. 2024. Вип..2. С. 19-28

<https://doi.org/10.31319/2519-2884.45.2024.2>

<http://sj.dstu.dp.ua/article/view/318225>

5. Молчанов Л.С., **Арендач Н.А.**, Голуб Т.С. Лабораторне дослідження особливості змішування газових струменів технологічних газів. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2024. №38, С.222-231

<https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38>

6. Голуб Т.С., **Арендач Н.А.** Термодинамічне дослідження процесів окислення домішок розплаву Fe-C за рахунок взаємодії з бульбашкою системи «нейтральний газ - кисень». *Метал та лиття України*, 2024. Вип. 32. № 3-4. С. 50-61.

<https://doi.org/10.15407/steelcast2024.03-04.007>

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради та інші фахівці:

1. Чернятевич Анатолій Григорович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник відділу фізико-технічних проблем металургії сталі Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України

Зауваження:

- як і в якій мірі високотемпературна зона, що формується під час вдування в розплав суміші «кисень-нейтральний газ», впливає на технологічне устаткування?
- не зрозуміло який час потрібен на обробку розплаву сумішшю «кисень-нейтральний газ» в промислових умовах та як за цей час змінюється температура розплаву під час обробки?

2. Піптюк Віталій Петрович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу фізико-технічних проблем металургії сталі Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України.

Зауваження:

- в п. 1.3 «Наукова новизна» та у висновках розділу 4 зроблені посилання на сталерозливний ківш ємністю 250-т, який в експлуатаційних умовах обладнаний двома фурмами в продувному блоці, проте в дослідженнях використано лише одну фурму в продувному блоці. Це потребує пояснення.
- необхідно також пояснити, звідки з'явилася вимога стосовно співвідношення висоти до діаметру (1:1) у змішувача газів.
- п.5 «Загальні висновки» потребує доповнення фрази «...час змішування на 20-40 відсотків (збільшується чи зменшується?) у порівнянні...».

3. Кисляков Володимир Геннадійович, кандидат технічних наук, завідувач відділу позапічної обробки чавуну Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України.

Зауваження:

- в анотації дисертаційної роботи приведені аббревіатури – ГКР, АОД, без розшифровки, доцільно при першому згадуванні проводити розшифровку.
- У таблиці 2.2 для кращого візуального сприйняття доцільно змінити розрядність даних тиску з Па на кПа.
- У таблиці 4.2 наведені данні, які отримані за допомогою програми CorelDraw, доцільно привести методику оцінки частини ванни, що є потоком бульбашок з використанням програми CorelDraw.

- При опису рисунка 5.3 висновок про кращий варіант продувки ґрунтується на візуальному оцінюванні, доцільно вказати критерій, за яким зроблено висновок.
- На рисунку 5.7 приведено зниження вмісту вуглецю за час продувки при різних частках кисню, а саме 5%, 30% 50%, але в описі методики згадується, що продувний газ складається із суміші кисню та азоту у пропорції 10% до 90%, 30% на 70% та 50% на 50%.

4. Смірнов Олексій Миколайович, доктор технічних наук, професор, завідувач відділом магнітної гідродинаміки Фізико-технологічного інституту металів та сплавів.

Зауваження:

- При проведенні низькотемпературного моделювання незрозуміло, чи враховувався вплив температури та тиску на щільність і витрату продувного газу в модельних та реальних умовах;
- За матеріалами дисертаційної роботи незрозуміло, чи була оцінена економічна ефективність розробленої технології виробництва сталей з вмістом вуглецю менше 0,1 %;
- Не вказано, чи буде запропонований варіант технології впливати на тривалість загального циклу виробництва сталі;
- З матеріалів дисертаційної роботи незрозуміло чим саме обґрунтовано продувку через один донний продувний блок, хоча з практики металургійного виробництва відомо, що для ковшів великої ємності використовується продувка через два донних продувних блоки;
- У 3п. наукової новизни вказано, що рекомендована інтенсивність продувки для умов сталерозливного ковша ємністю 250-т складає  $1\text{ м}^3/\text{год}$ , проте в матеріалах дисертаційної роботи зазначається, що вказана інтенсивність стосується низькотемпературної моделі, а для реального ковша вона складає  $0,268\text{ м}^3/\text{год}$ .

5. Жаданос Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика Дніпровського металургійного інституту Українського державного університету науки і технологій МОН України.

Зауваження:

- У розділі 2 дисертаційної роботи “Термодинамічна оцінка можливості перебігу реакцій при донному продуванні металу в ковші” для аналізу можливості протікання було обрано 26 реакцій (табл. 2.1). На жаль, сама процедура обрання реакцій, які досліджувалися на предмет ймовірності протікання під час продування киснем, залишилася поза межами роботи. Вочевидь, було використано сучасний пакет термодинамічного моделювання HSC Chemistry Outokumpu для визначення всіх можливих реакцій, що можуть мати місце під час кисневої продувки. Для визначення ймовірності протікання зазначених реакцій виконані розрахунки енергій Гіббса в двох варіантах: з урахуванням лише температури металу, та з додатковим урахуванням гідростатичного тиску в ковші, який змінюється під час підйому бульбашки. Результати розрахунків представлено на 18 рисунках та систематизовано у таблиці 2.3. З урахуванням великої кількості математичних обчислень варто було б вказати, який саме комп’ютерний пакет було використано при розрахунках.
- У розділі 3 дисертаційної роботи “Вдосконалення конструкції донного продувального блоку для забезпечення продувки сумішшю газів, що містить кисень” у першій частині експериментальних досліджень вивчався вплив характерного розміру прохідного каналу донного продувального блоку (модель продувального блоку з щілинним прохідним перетином, розроблена за участю дисертантки) на час гомогенізації металеві ванни. На основі обробки даних за методикою автотемпературності вдалося визначити раціональні розміри щілин, які повинні складати 1-2 мм. На жаль, в роботі не наведено детального розрахунку похідної логарифма критерію гомохронності, що дещо ускладнює сприйняття матеріалу і не дає можливість оцінити коректність виконаних розрахунків.
- У розділі 4 дисертаційної роботи досліджено особливості перемішування рідкої ванни при донній бульбашковій продувці за різних параметрів

дугтя. Важливою частиною створеної для досліджень лабораторної установки є датчики контролю електропровідності. На жаль, в роботі не вказані їх технічні параметри і, який тип датчиків електропровідності було використано.

- У четвертому розділі з використанням критеріїв подібності гідродинамічних систем, а саме: критеріїв Вебера, Фруда, Рейнольдса, Архімеда, модифікованого критерію Фруда, обґрунтовано параметри проведення експериментальних досліджень з метою найбільшої відповідності промислому об'єкту – ківшу місткістю 250 т підприємства Камет-сталь. При цьому твердження “відповідно до рівняння (4.6) встановлено, що витрата продувного газу на моделі повинна бути у 2,85 рази більша за витрату продувного газу на реальному промислому об'єкті” потребує додаткового обґрунтування, оскільки в роботі не наведено відповідні розрахунки, що не дає можливість оцінити їх коректність.
- У розділі 4 дисертаційної роботи отримані рівні електропровідності в кінці продувки за всіма датчиками при різних витратах продувного газу (рис. 4.17-4.21), що дозволило зробити висновки щодо ступеню рівномірності розповсюдження модельної присадки солі. При описі даного параметру в роботі приводиться його оцінка на якісному рівні (“краще рівномірне розповсюдження”, “найбільша неоднорідність показників”) без конкретних кількісних характеристик. Слід зазначити, що подальша обробка експериментальних даних з електропровідності, які поступають від датчиків, методом “Швидкого перетворення Фур'є” (Fast Fourier transformer) або вейвлет-аналізу (wavelet) дозволить отримати кількісні оцінки рівня гомогенізації та нові данні щодо перебігу гідродинамічних процесів в ванні ковша.
- У розділі 5 дисертаційної роботи “Високотемпературне дослідження можливості окислення вуглецю при донному бульбашковому продуванні залізовуглецевого розплаву сумішшю кисень – інертний газ” за результатами експериментальних досліджень отримані три регресійні моделі у вигляді поліномів другого ступеню (рис. 5.7, стор. 134), які описують зниження вмісту вуглецю в залежності від часу продування (60-240 с) при вмісті кисню у суміші газу 10%, 30% та 50% відповідно. Самі моделі мають високий коефіцієнт детермінованості (від 0,96 до 0,99) та

використані автором роботи для прогнозування вмісту вуглецю у розплаві через 8-10 хвилин продування. Позитивно оцінюючи отримані результати, слід зазначити, що моделі побудовані лише по 4-ох експериментальних точках і мають три складових (першого ступеня, другого ступеня, вільний коефіцієнт). Тобто ступінь свободи (різниця між кількістю експериментальних точок і кількістю коефіцієнтів регресійного рівняння) складає лише одиницю. Тому для використання отриманих моделей для прогнозування вмісту вуглецю необхідно додатково провести дисперсійний аналіз, зокрема, обчислити стандартні помилки для коефіцієнтів, а також здійснити перевірку значимості коефіцієнтів рівнянь за критерієм Стьюдента. Додатково вирішенню проблеми надійності отриманих рівнянь може сприяти збільшення кількості експериментальних точок або проведення декількох експериментів і усереднення отриманих результатів.

Результат відкритого (онлайн) голосування:

«За» 5 членів ради,  
«Проти» 0 членів ради

1. Дисертація Арендач Наталії Анатоліївни на тему: «Розробка технологічних засад окислювальної продувки в сталерозливному ковші при виробництві сталі з низьким вмістом вуглецю», що подана для здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 136 – Металургія, є завершеним самостійним науковим дослідженням і відповідає вимогам відповідно до наказу Міністерства освіти науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій (zareєстрованому в Міністерстві юстиції України 03 лютого 2017 р. за № 155/30023), а також відповідає вимогам, передбаченим пунктам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової

установи про присудження ступеня доктора філософії» (затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р.).

2. На підставі результатів відкритого (онлайн) голосування спеціалізована вчена рада PhD 7744 присуджує Арендач Наталії Анатоліївні ступінь доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 136 - Металургія.

Голова спеціалізованої вченої ради



Анатолій ЧЕРНЯТЕВИЧ

(підпис)