

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
кораблебудування

імені адмірала Макарова
д-р техн. наук, професор



Геннадій ПАВЛОВ

«25» 04 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 13 розширеного засідання кафедри програмованої електроніки, електротехніки та телекомунікацій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

від 23 квітня 2025 року

Присутні:

Завідувач кафедри ПЕЕТ, д.т.н., професор Володимир РЯБЕНЬКИЙ, д.т.н., професор Олександр ЧЕРНО, Сергій НОВОГРЕЦЬКИЙ, к.т.н., с.н.с. Артем ІВАНОВ (ІПТТ НАН України), к.т.н., доцент, пров. н.с. Володимир ЦУРКІН (ІПТТ НАН України), к.т.н., доцент Олександр ЖУК, к.т.н., доцент Віталій КОСТЮЧЕНКО, к.т.н., доцент Марина ТУРТИ, к.т.н., доцент Олександр ГЕРАСІН, к.т.н., Олексій ДЬЯКОНОВ, к.т.н., доцент Андрій ТОПАЛОВ, к.т.н., с.н.с. Дмитро ВІННИЧЕНКО (ІЕД НАН України), к.т.н., доцент Ірина ВІННИЧЕНКО, к.т.н., доцент Олексій САДОВИЙ (МНАУ), аспіранти Сергій РОБОТЬКО, Андрій ЄРЕМЕНКО, Максим ДЖАНГІРОВ, Максим КОЗЛОВ, Микола ЧЕСТНИХ (не брав участі у голосуванні), студентка 3-го курсу Олена МЕЛЬНИКОВА, інженер Максим МАЗУРА (АТ НВКГ “Зоря” – “Машпроект”).

З присутніх: 2 доктори наук та 11 кандидатів наук, з них 6 кандидатів наук – фахівці за профілем представленої дисертації.

Порядок денний:

Обговорення дисертації аспіранта Честних Миколи Володимировича на тему "Матрична формалізація розподілу характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при протіканні електричного струму", представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, галузь знань 14 – Електрична інженерія.

Науковий керівник – завідувач кафедри комп'ютеризованих систем управління, д.т.н., проф. Олександр ЧЕРНО.

Тему дисертації затверджено 29.10.2021 на засіданні Вченої ради Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова,

протокол №9. Роботу виконано на кафедрі комп'ютеризованих систем управління Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Слухали: доповідь аспіранта Честних Миколи Володимировича за матеріалами дисертації: "Матрична формалізація розподілу характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при протіканні електричного струму".

По доповіді було задано близько 25 запитань, на більшість з яких було надано ґрунтовні відповіді. Питання задавали: д.т.н., професор Володимир РЯБЕНЬКИЙ, к.т.н., доцент Сергій НОВОГРЕЦЬКИЙ, к.т.н., доцент Олександр ЖУК, к.т.н., доцент Марина ТУРТИ, к.т.н., Дмитро ВІННИЧЕНКО.

Виступи присутніх:

Завідувач кафедри комп'ютеризованих систем управління, доктор технічних наук, професор Олександр ЧЕРНО дав позитивну характеристику науковій зрілості свого аспіранта. Він доповів про успішне виконання індивідуальних планів навчання та наукової діяльності. Особливу увагу було приділено дисертації, яка, за словами професора, є результатом самостійного дослідження, являє собою цілісну наукову працю, має елементи наукової новизни та відповідає належному науковому рівню. Керівник також підкреслив, що аспірант продемонстрував здатність вирішувати складні наукові задачі, проводити як експериментальне, так і теоретичне дослідження. Професор Олександр ЧЕРНО відзначив високу кваліфікацію аспіранта як спеціаліста в області електротехніки, електроенергетики та електромеханіки, а також його особисті якості – сумлінність, дисциплінованість, цілеспрямованість.

В обговоренні взяли участь д.т.н., професор Володимир РЯБЕНЬКИЙ, к.т.н., доцент Сергій НОВОГРЕЦЬКИЙ, к.т.н., доцент Марина ТУРТИ, к.т.н., доцент Олександр ЖУК, к.т.н., с.н.с. Дмитро ВІННИЧЕНКО, які дали позитивну оцінку дисертації. Разом з тим, були зазначені зауваження, які аспіранту слід врахувати під час підготовки до захисту.

Ухвалили: прийняти такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Честних Миколи Володимировича "Матрична формалізація розподілу характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при протіканні електричного струму":

1. Актуальність вибраної теми досліджень. Останніми роками провідні наукові школи, які працюють у галузі електротехнологій для ливарного виробництва, проводять активний пошук технологічних методів та регламентів, які спроможні забезпечити підвищення якості литого металу, враховуючи дуалізм показників системи "ціна-якість". З цього приводу або виявляються ефективні резерви для оптимізації цих показників у таких традиційних технологічних методах обробки розплавів, як електромагнітне перемішування, магнітно-

гідродинамічна обробка, ультразвукова обробка тощо, або ж ведеться пошук нових електротехнологічних методів, як, наприклад кондукційна електрострумова обробка. Виконані дослідження цього методу показали його інноваційну перспективу. Значний внесок у розвиток наукових основ методу кондукційної електрострумової обробки вносять Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, ряд провідних наукових шкіл Китаю Республіки Корея, Австралії та США.

Важливо відмітити, що ефективність електрострумової обробки залежить не тільки від параметрів джерел струму, а й від електрофізичних характеристик об'єкта обробки, типів електродних систем, температурних інтервалів обробки та топології і характеристик первинного електромагнітного поля.

Експериментальні результати свідчать, що характеристики якості виливка, отриманого при використанні КЕСО, можуть мати високі показники. Але для цього потрібно організовувати технологічні регламенти обробки на підставі наукових даних, які, нажаль, поки що не дозволяють назвати їх такими, що враховують будь-які умови металургійного перероблення будь-якого підприємства ливарного виробництва. Річ у тім, що воно характеризується як багатоваріантне, багатофакторне та багатопараметричне з рознесеними у просторі і часі ланками, для яких традиційно використовують здебільшого емпіричні принципи побудови відповідних технологічних регламентів. Тому актуальною постає проблема їх проектування на основі наукового обґрунтування парадигми, яка базується на сучасних методах досліджень. Щодо електрострумової обробки, що для цього наукові школи і лабораторії все більш активно використовують методи математичного моделювання, для яких застосовують здебільшого розрахункові принципи методу скінченних елементів, методу скінченних різниць або методу інтегральних рівнянь. Кожен з них має свої позитивні риси, але й труднощі при застосуванні, крім того, слід враховувати багатофакторність ливарного виробництва, тому вони не є універсальними. Для розширення функціональних можливостей методів математичного моделювання процесів при КЕСО та задля отримання верифікованих результатів пропонується у даній роботі використовувати метод розбиття масивних провідників на елементарні комірки, загальні принципи якого добре відомі. Але стосовно кондукційної електрострумової обробки вони потребують відповідної адаптації, що враховує специфіку об'єкта обробки та досліджень. Крім того, актуальною постає задача визначення відповідних умов та факторів, які для кондукційної електрострумової обробки забезпечать ефективне керування технологічними регламентами, починаючи від етапу проектування технології і закінчуючи етапом аналізу якості кінцевого продукту – виливка.

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

Основні результати дисертаційної роботи отримано в рамках Пріоритетних напрямків розвитку науки й техніки в Україні: напрямок 3 «Енергетика та енергоефективність». Результати роботи були використані при виконанні НДР «Дослідження процесів, що супроводжують одночасну обробку розплаву силумінів різними типами струмів, та визначення умов і параметрів

електромагнітного навантаження розплаву, яке забезпечує підвищення показників якості литого металу”. (№ДР 0121U109433), “Дослідження процесів електрострумової обробки ливарних сплавів на основі алюмінію під час плавлення та кристалізації, які забезпечують сприятливу морфологію залізовмісної фази та підвищення службових характеристик виливків” (№ДР 0118U000341), тема НДР “Розробка гібридного методу кондукційної електрострумової та індукційної магнітно-імпульсної обробки розплаву, який забезпечить підвищення показників якості литого сплаву” (№ДР 0124U000815), що виконувались за бюджетним фінансуванням, де автор був виконавцем.

3. Достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій забезпечується: коректністю постановки та проведення досліджень; коректністю прийнятих у математичних моделях припущень і підтверджується збігом теоретичних результатів з результатами експериментів.

4. Наукова новизна основних результатів дисертації.

1. Здійснено розвиток методу розбиття масивних провідників на елементарні комірки (М-К) в частині формалізації розподілу характеристик електромагнітного поля, що дозволило досліджувати процеси електрострумової обробки металевих розплавів з урахуванням особливостей їх енергетичного навантаження для визначення ефективних режимів обробки.

2. Вперше запропоновано спрощену концепцію наскрізного енергетичного керування інтенсивністю електротехнологічних процесів навантаження об'єкта обробки задля отримання виливків високої якості.

3. Визначено умови та фактори, за яких застосування удосконаленого М-К забезпечує достатній рівень верифікації отриманих результатів, що дає можливість ефективного використання даного методу при моделюванні процесів електрострумової обробки розплавів.

5. Перелік наукових праць, які відображають основні наукові результати дисертації.

Публікації, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. Честних М.В., Цуркін В.М., Іванов А.В., Черно О.О. Моделювання розподілу електричного поля в металевому розплаві методом розбиття провідника на елементарні комірки. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. Випуск 4/2021 (56). С. 35-45. DOI: 10.30929/2072-2052.2021.4.56.35-45. Режим доступу: https://ees.kdu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/04/04_35_45_%d7%e5%f1%f2%ed%e8%f5_%d6%f3%f0%ea%b3%ed_%b2%e2%e0%ed%ee%e2_%d7%e5%f0%ed%ee.pdf (Журнал входить до переліку наукових фахових видань України).

2. Tsurkin V.M., Ivanov A.V., Zaporozhets Yu.M., Zhdanov O.O., Chestnykh M.V. (2024). Multivariant Method of Conductive Electric Current Treatment of Molten Metal. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. Vol. 60, pp. 31-41. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068375524010150> (Журнал входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

3. Chestnykh N.V., Ivanov A.V. (2024). Simulation Modeling of the Characteristics of the Primary Electric Field at the Boundaries of a Liquid Metal Object

Treated by Passing an Electric Current. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. Vol. 60, №4. pp. 626–632. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068375524700224> (Журнал входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

4. Іванов А.В., Честних М.В. (2024). Тривимірне моделювання особливостей розподілу електромагнітних полів та характеристик силової дії під час кондукційної електрострумової обробки розплавів у частотних режимах. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. №2 (65), с. 8-13. DOI: <https://doi.org/10.32782/2072-2052.2024.2.65.1> (Журнал входить до переліку наукових фахових видань України).

5. Tsurkin V.M., Chestnykh M.V., Ivanov A.V., Cherny O.O. (2025) The paradigm for building a simplified end-to-end quality management system for technical innovation in foundry production. *Science and innovation*. Vol. 2, pp. 54-63. DOI: <https://doi.org/10.15407/scine21.02.054> (Журнал входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

6. Tsurkin V.M., Ivanov A.V., Zhdanov O.O., Chestnykh M.V., Degtev Yu.N., Kharytonova T.G. (2023). Experimental study of the effect on the quality indicators of castings of the simultaneous treatment of the melt with different currents. *Metal and Casting of Ukraine*. №3, pp. 21-28. DOI: <https://doi.org/10.15407/steelcast2023.03.021>

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Честних М.В. (2022). Результати моделювання розподілу електричного поля в металевому розплаві методом розбиття провідника на елементарні комірки. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці, матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції, 27-28 жовтня 2022 року (форма участі – дистанційна). https://www.nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2022/10/Innovation_2022_print_23_10_2022.pdf

8. Честних М.В. (2023). Фізичне моделювання розподілу електричного поля в металевому провіднику. Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Автоматика та електротехніка”, 13-14 листопада 2023 року (форма участі – дистанційна). https://www.researchgate.net/publication/375715743_Conference_AE_2023

9. Честних М.В., Іванов А.В. (2024). Особливості розподілу електромагнітних полів у розплаві при обробці електричним струмом у частотних режимах та використанні різних електродних систем. Інновації в суднобудуванні та океанотехніці, матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції, 25-26 вересня 2024 року (форма участі – дистанційна). <https://nuos.edu.ua/wp-content/uploads/2024/10/Materiali-konferencii.pdf>

6. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

В опублікованих у співавторстві роботах автору належить: у [1] – двовимірна та спрощена тривимірна модель для моделювання розподілу характеристик електричного поля у розплаві, загальний алгоритм моделювання із застосуванням методу М-К; у [2] – алгоритми застосування методу М-К для моделювання електромагнітних полів, що генеруються при КЕСО одним типом струму та суперпозицією електричних струмів, проведено чисельні дослідження

характеристик електричного поля для випрямленого пульсуючого та змінного струмів, а також їх суперпозиції; у [3] – розрахункові алгоритми та чисельні розрахунки особливостей розподілу базового електричного поля на границях металевого розплаву при пропусканні електричного струму; у [4, 8] – методика сумісного застосування М-К та МСЕ, проведено чисельне моделювання граничних умов для МСЕ шляхом використання М-К; у [5] – алгоритм регулювання, який названо електромагнітним, результати моделювання із застосуванням М-К, що свідчать про те, що зони активації флуктуацій зосереджуються біля електродів, тому поліваріантний метод КЕСО є більш ефективним аніж метод обробки одним струмом для генерування в окремих зонах РМС більш активних флуктуацій; у [6] – розробка методик та проведення експериментальних досліджень щодо впливу обробки сплаву системи Al-Si трьома типами електричних струмів на ступінь покращення структури виливків.

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

Основні положення роботи викладено та обговорено на науково-практичних конференціях: XIII міжнародна науково-технічна конференція “Інновації в суднобудуванні та океанотехніці”, (Миколаїв, 27-28 жовтня 2022 року), Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених “Автоматика та електротехніка”, (Миколаїв, 13-14 листопада 2023 року), міжнародна науково-технічна конференція “Інновації в суднобудуванні та океанотехніці”, (Миколаїв, 25-26 вересня 2024 року).

Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень доповідались на засіданнях постійно діючого наукового семінару “Проблеми сучасної електротехнічної інженерії” Навчально-наукового інституту автоматики та електротехніки Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова 28.10.2022 р., 27.12.2023 р. і 31.10.2024 р.

9. Теоретичне та практичне значення результатів дослідження.

Розроблено науково обґрунтовані рекомендації щодо проектування технологічних процесів електрострумової обробки масивних провідників у технологіях ливарного виробництва.

Спрощена система наскрізного енергетичного керування ефективністю технологічних регламентів, яку розроблену в дисертаційній роботі, дозволяє визначати умови та фактори, за яких метод електрофізичної обробки рідкого сплаву надає можливість отримувати високу якість виливків (тимчасовий опір σ_v виріс на 13%, відносні видовження δ збільшено у 1,5 рази, а відносне звуження ψ – отримано на рівні 4,4%).

Удосконалено програмну реалізацію матричної формалізації розподілу електричних характеристик у металевому провіднику при застосуванні методу розбиття масивних провідників на елементарні комірки для 2D та 3D форматів. Показано, що метод розбиття масивних провідників на елементарні комірки надає можливість суттєво доповнити функціональні можливості методу скінчених елементів та методу інтегральних рівнянь, а також скоротити витрати часу,

фінансових та матеріальних ресурсів на розробку і впровадження нових технологій обробки розплавів.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладання.

Дисертаційна робота викладена складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 113 сторінок друкованого тексту. Робота ілюстрована 3 таблицями та 81 рисунком. Список використаних джерел містить 83 найменування.

11. Дотримання принципів академічної доброчесності.

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Честних М.В. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

Ухвалили:

1. Дисертація Честних Миколи Володимировича "Матрична формалізація розподілу характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при протіканні електричного струму" є завершеною науковою працею, в якій розв'язано конкретне наукове завдання – удосконалення методу розбиття масивних провідників на елементарні комірки для матричної 2D/3D формалізації характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при його обробці електричним струмом; розробка відповідних алгоритмів керування інтенсивністю електротехнологічних процесів навантаження об'єкта обробки, що має важливе значення для галузі знань 14 – Електрична інженерія, а саме спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка:

а) основні положення та результати досліджень відображено в 5 друкованих наукових працях, одна стаття у періодичному науковому виданні України, проіндексованому у базі даних Scopus, дві статті у закордонному періодичному виданні, проіндексованому у базі даних Scopus і дві статті у науковому фаховому виданні України; за темою дисертації також опубліковано два дайджести доповідей на Міжнародній науково-технічній конференції, та один дайджест доповіді на Всеукраїнській науково-технічній конференції;

б) дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. "Про затвердження вимог до оформлення дисертації", Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. "Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії";

в) з урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Честних Миколи Володимировича дисертація "Матрична формалізація розподілу характеристик електромагнітного поля у металевому розплаві при протіканні електричного струму" рекомендується до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Пропонувати Вченій раді НУК імені адмірала Макарова утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова ради: доктор технічних наук, доцент, в. о. завідувача кафедри суднових електроенергетичних систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова Обрубов Андрій Валерійович.

Члени ради:

Рецензенти:

– кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова Вінниченко Ірина Леонідівна;

– кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова Турти Марина Валентинівна.

Опоненти:

– кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник, в. о. завідувача відділу імпульсних електротехнічних систем Інституту імпульсних процесів і технологій Національної академії наук України Петриченко Сергій Вікторович;

– кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Миколаївського національного аграрного університету Садовий Олексій Степанович.

За ухвалу проголосували:

"За" – 20

"Проти" – немає

"Утримались" – немає

Голова розширеного засідання кафедри
програмованої електроніки,
електротехніки та телекомунікацій,
завідувач кафедри
д-р. техн. наук, професор

Володимир РЯБЕНЬКИЙ

Гарант освітньо-наукової програми
"Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка", зав. кафедри
комп'ютеризованих систем управління
д-р. техн. наук, професор

Олександр ЧЕРНО