



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

Сучасний математичний апарат для проведення наукових досліджень

Шифр та назва спеціальності
G10 – Металургія

Спеціалізація
–

Освітня програма
Металургія

Рівень освіти
Третій (доктор філософії)

Семестр
3

Інститут
ННІ Механічної інженерії та транспорту

Кафедра
Ливарного виробництва (142)

Тип дисципліни
Вибіркова.

Форма навчання
Денна

Мова викладання
Українська

Викладачі, розробники



Дьомін Дмитро Олександрович

Dmytro.Domin@khpi.edu.ua

Доктор технічних наук, професор кафедри ливарного виробництва НТУ «ХПІ»

Досвід роботи – 29 років. Автор понад 200 наукових та навчально-методичних праць. Курси: «Адаптивні і оптимальні системи автоматичного керування», «Методи обробки наукового експерименту», «Основи наукових досліджень та організація НДР у ливарному виробництві», «Педагогічно-інформаційні технології у вищій освіті та наукових дослідженнях механічної інженерії», «Сучасний математичний апарат для проведення наукових досліджень».

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

Загальна інформація

Анотація

Курс лекцій містить матеріали з математичного апарату, який орієнтований на проведення експериментально-промислових досліджень в ливарних цехах. Наведено відомості про регресійний аналіз, дисперсійний аналіз, адаптивне математичне моделювання в умовах аддитивного та неаддитивного дрейфу, методи пошуку оптимальних рішень, моделювання систем масового обслуговування, основи статистичної теорії ігор в проектування технології ливарної форми, розпізнавання образів.

Мета та цілі дисципліни

Мета курсу: Виробити у аспіранта здатність застосовувати знання і розуміння принципів побудови математичних моделей процесів ливарного виробництва, що сприятимуть отриманню нових уявлень про закономірності формування якості продукції ливарного виробництва, зокрема процесів формування сплавів; здатність до науково-методичного обґрунтування, розробки та впровадження нових конструкторських та технологічних рішень, що можуть сприяти оптимізації технологічних процесів по усіх ділянках ливарного цеху по обраних критеріях оптимізації залежно від вимог до виливків чи функціонування об'єктів ливарного цеху.

В результаті вивчення курсу аспірант повинен знати:

основні положення теорії ймовірності, теорії множин, математичної статистики; уміти обробляти первинні експериментальні дані, будувати лінійні та нелінійні рівняння регресії; оцінювати вплив технологічних факторів на вихідні змінні процесу на основі дисперсійного аналізу; аналізувати математичні моделі процесів задля визначення оптимальних рішень з удосконалення технологічних процесів. Демонструвати знання теоретичних основ математичного моделювання на основі експериментальної роботи; адаптивного математичного моделювання за умов дрейфу характеристик об'єктів. Розраховувати оптимальні технологічні режими по окремих технологічних процесах ливарного виробництва; демонструвати знання методики моделювання функціонування ливарних цехів як систем масового обслуговування, використовувати теорію статистичних ігор для проєктування технології ливарних форм та методи розпізнавання образів для визначення етапів технологічного процесу виготовлення виливків, на яких формується брак виливків чи з'являється параметрична відмова.

Формат занять

Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – екзамен.

Компетентності

ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність розв'язувати комплексні проблеми металургії на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням принципів професійної етики та академічної доброчесності.

СК01. Здатність ініціювати та реалізовувати інноваційні комплексні проєкти в металургії та дотичні до неї міждисциплінарні проєкти з урахуванням технічних, економічних, правових, екологічних та етичних аспектів, лідерство під час їх реалізації.

СК02. Здатність планувати і виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання в металургії і дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з металургії та суміжних галузей.

СК04. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері металургії, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК05. Здатність застосовувати сучасні методи та інструменти експериментальних і теоретичних досліджень, а також методи моделювання металургійних процесів та/або обладнання для розв'язання комплексних проблем металургії

Результати навчання

РН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з металургії та на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

РН02. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми металургії державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях в провідних наукових виданнях.

РН03. Використовувати необхідні для обґрунтування висновків докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні емпіричні дані.



РН05. Планувати і виконувати експериментальні дослідження з металургії та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних обладнання та методик, аналізувати результати експериментів у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН06. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, бази даних та інформаційні системи.

РН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми металургії з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, екологічних та правових аспектів.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредита ECTS): лекції – 30 год., практичні заняття 10 год., самостійна робота – 80 год.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Для успішного проходження курсу необхідно мати знання та практичні навички з наступних дисциплін: «Вища математика», «Ресурсозберігаючі технології ливарного виробництва», «Сплави та плавка», «Моделювання та оптимізація металургійних процесів та оснащення», «Експериментальні дослідження, обробка результатів експерименту».

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Лекції проводяться дистанційно з використанням інфо-комунікаційних засобів. На заняттях використовується проектний підхід до навчання, ігрові методи з моделюванням різних ситуацій. Навчальні матеріали доступні аспірантам через OneNote Class Notebook.

Навчальні заняття

Лекції

Теми лекцій	Кількість годин
Вступ. Значення та задачі дисципліни. Література.	2
Тема 1. Технологічні процеси ливарного виробництва як об'єкти математичного моделювання. Основні процеси ливарного виробництва, вхідні та вихідні змінні по окремих технологічних процесах та ділянках ливарного цеху. Основи обробки експериментальних даних.	2
Тема 2. Ливарні цехи як організаційно-технічні системи. Ділянки ливарного цеху як об'єкти моделювання. Формалізація представлення функціонування ливарного цеху. Системи масового обслуговування з відмовами. Системи масового обслуговування з очікуванням.	2
Тема 3. Регресійний аналіз. Структура рівнянь регресії. Оцінювання коефіцієнтів рівнянь регресії	2
Тема 4. Аналіз рівнянь регресії. Статистичний аналіз точності рівнянь регресії. Визначення значущості факторів. Перевірка адекватності рівнянь регресії.	3
Тема 5. Дослідження рівнянь регресії на предмет виявлення стаціонарної області досліджуваного процесу. Методи аналізу поверхонь відгуку. Побудова поверхонь відгуку. Побудова номограм як інструмента технолога ливарного цеху	3



Тема 6. Методи оптимізації. Гradientні методи. Канонічне перетворення поверхні відгуку.	2
Тема 7. Адаптивне моделювання за умов дрейфу об'єкту. Принцип побудови математичних моделей об'єкту за умов дрейфу його характеристик. Оцінювання дрейфуючих коефіцієнтів рівнянь. Використання методів адаптивного моделювання у визначенні фізико-хімічних процесів в плавильних системах.	3
Тема №8. Штучна ортогоналізація. Принципи штучної ортогоналізації. Використання штучної ортогоналізації при побудові математичних моделей процесів ливарного виробництва по малій виборці даних.	2
Тема №9. Нечіткий регресійний аналіз в процесах моделювання функціонування об'єктів ливарного виробництва Основні поняття нечітких величин. Функції належності. Оцінювання коефіцієнтів регресійних рівнянь по малій виборці нечітких даних	2
Тема №10. Розпізнавання образів Принципи розпізнавання. Параметричні та непараметричні методи	2
Тема №11. Математичне моделювання послідовних технологічних процесів ливарного виробництва та виявлення вузьких місць. Особливості моделювання послідовних процесів. Параметричні та функціональні відмови.	3
Тема №12. Основи теорії статистичних ігор Статистичні ігри без експерименту: принципи вибору найкращих варіантів. Функції ризику	2
Загальна кількість годин	30

Лабораторні заняття

Лабораторні заняття в рамках ОК не передбачені.

Практичні заняття

Теми практичних занять

Теми практичних занять	Кількість годин	Вагові коефіцієнти a_i
Тема №1. Оцінювання коефіцієнтів рівнянь регресії по даних пасивного експерименту	2	1
Тема №2. Проведення аналізу заданого рівняння регресії на основі заданих експериментальних даних	2	1
Тема №3. Визначення області допустимих значень вхідних змінних задля забезпечення вимог по кількох вихідних змінних	2	1
Тема №4. Визначення оптимальних рішень по обраному критерію оптимізації за відсутності та наявності обмежень	2	1
Тема №5. Проведення процедури штучної ортогоналізації для побудови рівняння регресії по малій виборці даних в двомірному факторному просторі вхідних змінних	1	1
Тема №6. Визначення оптимальної стратегії в статистичній грі	1	1
Загальна кількість годин	10	

$$\sum_{i=1}^n a_i = 6$$



Контрольні роботи

Контрольні роботи з курсу «Сучасний математичний апарат для проведення наукових досліджень»

Вагові коефіцієнти b

Модульна контрольна робота № 1

1

1. Що передбачає первинна обробка експериментальних даних?
2. Які особливості ділянок ливарного цеху як об'єктів моделювання?
3. Як формально описати функціонування ливарного цеху з позиції систем масового обслуговування?
4. Які особливості системи масового обслуговування з відмовами?
5. Які особливості системи масового обслуговування з очікуванням?
6. Якою буває структура рівнянь регресії?
7. Як оцінюються коефіцієнти рівнянь регресії?
8. Як проводиться статистичний аналіз точності рівнянь регресії?
9. Як визначається значущість факторів?
10. Як проводиться перевірка адекватності рівнянь регресії?
11. Які існують методи аналізу поверхонь відгуку?
14. Як визначається форма поверхонь відгуку?
15. Що таке номограми та який принцип їх побудови?
16. В чому полягає суть градієнтних методів пошуку оптимуму?
17. З якою метою проводиться канонічне перетворення поверхні відгуку?

1

Модульна контрольна робота № 2

1. В чому полягає принцип побудови математичних моделей об'єкту за умов дрейфу його характеристик?
2. Як здійснюється оцінювання дрейфуючих коефіцієнтів рівнянь, що описують досліджуваний об'єкт?
3. Що є метою використання методів адаптивного моделювання у визначенні фізико-хімічних процесів в плавильних системах?
4. В чому полягає принцип штучної ортогоналізації?
5. З якою метою використовується штучна ортогоналізація?
6. Що таке нечітка величина?
7. Як визначається функції належності?
8. Як оцінюються коефіцієнти регресійних рівнянь по виборці нечітких даних?
9. В чому полягає суть принципів розпізнавання образів?
10. Які бувають методи класифікації об'єктів методами?
11. В чому полягають особливості моделювання послідовних технологічних процесів?
12. В чому різниця між параметричними та функціональними відмовами?
13. В чому полягає різниця між стратегічними та статистичними іграми?
14. Як визначається функція ризику в статистичних іграх?

Загалом

$$\sum_{i=1}^n b_i = 2$$

Самостійна робота

Курс передбачає побудову математичної моделі та оптимізацію технологічних режимів заданого технологічного процесу за індивідуальною темою в рамках тематики дисертації. Аспіранту також рекомендуються додаткові матеріали для самостійного вивчення та аналізу.

Опрацювання теоретичного матеріалу



Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Теми для самостійного вивчення	Кількість годин
Тема 1. Особливості формалізації опису металургійних процесів. Основи теорії ймовірності. Основи математичної статистики	2
Тема 2. Формалізація представлення ливарних цехів як організаційно-технічних систем. Рівняння Колмогорова. Ланцюги Маркова. Задачі на складання розкладів	4
Тема 3. Кореляційний аналіз. Призначення кореляційного аналізу. Приклади використання кореляційного аналізу	4
Тема 4. Дисперсійний аналіз. Призначення дисперсійного аналізу. Приклади використання дисперсійного аналізу.	4
Тема 5. Дослідження рівнянь регресії на предмет виявлення стаціонарної області досліджуваного процесу. Гребеневий аналіз – призначення та суть. Методи визначення обмежень в технологічних процесах металургійного виробництва	4
Тема 6. Методи експериментальної оптимізації. Послідовний симплекс-метод – призначення та суть. Переваги та недоліки основних методів експериментальної оптимізації, що використовуються в ливарному виробництві	4
Тема 7. Адаптивне моделювання за умов дрейфу об'єкту. Суть перевірки наявності чи відсутності дрейфу характеристик технологічного об'єкту. Кінетичні рівняння фізико-хімічних процесів – призначення та принципи побудови.	4
Тема №8. Штучна ортогоналізація. Ортогоналізація Грама-Шмідта. Фундаментальні системи рішень лінійних та диференціальних рівнянь	4
Тема №9. Нечіткий регресійний аналіз в процесах моделювання функціонування об'єктів ливарного виробництва Нечітка кластеризація. Критерії оптимізації при визначенні параметрів технологічних процесів металургійного виробництва як нечітких величин	4
Тема №10. Розпізнавання образів Визначення відстані від точки до прямої та до площини. Нормальне рівняння прямої та нормальне рівняння площини	2
Тема №11. Математичне моделювання послідовних технологічних процесів ливарного виробництва та виявлення вузьких місць. Приклади послідовних процесів металургійного виробництва. Діагностика несправного обладнання в послідовних процесах металургійного виробництва	2
Тема №12. Основи теорії статистичних ігор Стратегічні ігри. Лінійне програмування.	2
Загальна кількість годин	40

Тематика індивідуальних завдань

Виконання розрахункового завдання передбачає виконання індивідуального розрахункового завдання з наведенням використання різних методів побудови систем керування відповідно до мети навчальної дисципліни. Здобувач обирає конкретну тему в межах загальної тематики за



погодженням з викладачем. Обсяг звіту: 8–12 сторінок основного тексту. Завдання виконується протягом навчальних тижнів і подається на перевірку до екзамену.

Теми індивідуального завдання

Тема 1. Описати формально функціонування обраних ділянок ливарного цеху з позиції систем масового обслуговування

Тема 2. Визначити по заданих експериментальних даних двох змінних їх залежність одна від одної та побудувати рівняння регресії, обравши одну з них за вихідну в разі наявності кореляції

Тема 3. Визначити впливовість фактору в технологічному процесі по заданому набору даних

Тема 4. Побудувати рівняння регресії на основі виборки експериментальних даних для двофакторного простору вхідних змінних, отриманих реалізацією пасивного експерименту

Тема 5. Побудувати центральний ортогональний композиційний план другого порядку для трифакторного простору вхідних змінних та розрахувати оцінки коефіцієнтів рівняння регресії

Тема 6. Визначити координати руху в двофакторному просторі вхідних змінних в напрямку оптимуму, маючи за початкове лінійне рівняння регресії

Тема 7. Провести канонічне перетворення поверхні відгуку та визначити її тип

Тема 8. Провести класифікацію об'єктів, що розрізняються відповідно до режимів технологічного процесу, по заданій вибірці даних

Загальна кількість годин

40

Література та навчальні матеріали

Основна література

1. Demin, D. (2019). Development of «whole» evaluation algorithm of the control quality of «cupola – mixer» melting duplex process. Technology Audit and Production Reserves, 3 (1 (47)), 4–24. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.174449>
2. Demin, D. (2017). Synthesis of optimal control of technological processes based on a multialternative parametric description of the final state. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (4 (87)), 51–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.105294>
3. Demin, D., Frolova, L. (2024). Construction of a logical-probabilistic model of casting quality formation for managing technological operations in foundry production. EUREKA: Physics and Engineering, 6, 104–118. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003518>
4. Baskakov, D. (2025). Definition of the rational technological mode of low-pressure casting. ScienceRise, 1, 50–56. <http://doi.org/10.21303/2313-8416.2025.003799>
5. Aouati, M. (2016). Localization of vectors-patterns in the problems of parametric classification with the purpose of increasing its accuracy. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (4 (82)), 10–20. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.76171>
6. Aouati, M. (2017). Parametric identification in the problem of determining the quality of desulfuration and dephosphoration processes of Fe-C alloy. Technology Audit and Production Reserves, 2 (1 (34)), 9–15. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.99130>
7. Aouati, M. (2017). Selection of state variables and algorithms of parametric identification of the object by its kinematic characteristics. ScienceRise, 4 (2), 37–41. doi: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.99049>
8. Aouati, M. (2017). Improvement of accuracy of parametric classification in the space of $n \times 2$ factors-attributes on the basis of preliminary obtained linear discriminant function. EUREKA: Physics and Engineering, 3, 55–68. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2017.00362>



9. Aouati, M. (2018). Improving the accuracy of classifying rules for controlling the processes of deculphurization and dephosphorization of Fe–C melt. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (3 (46)), 10–18. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.169696>
10. Demin, D. (2020). Constructing the parametric failure function of the temperature control system of induction crucible furnaces. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 19–32. doi: <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001489>

Додаткова література

- Chibichik, O., Sil'chenko, K., Zemliachenko, D., Korchaka, I., Makarenko, D. (2017). Investigation of the response surface describing the mathematical model of the effects of the Al/Mg rate and temperature on the Al-Mg alloy castability. *ScienceRise*, 5 (2), 42–45. doi: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2017.101923>
- Makarenko, D. (2017). Investigation of the response surfaces describing the mathematical model of the influence of temperature and BeO content in the composite materials on the yield and ultimate strength. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (3 (35)), 13–17. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.104895>
- Frolova, L., Barsuk, A., Nikolaiev, D. (2022). Revealing the significance of the influence of vanadium on the mechanical properties of cast iron for castings for machine-building purpose. *Technology Audit and Production Reserves*, 4 (1 (66)), 6–10. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.263428>
- Demin, D. (2025). Optimization of parameters of the cupola melting by the criterion of the maximum cast iron temperature. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 00–00. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003712>
- Demin, D. (2025). Determination of the heat-loaded zone of the cupola furnace and the level of the idle charge based on the construction of an analytical description of the physical and chemical parameters of the melting. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 166–174. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2025.003771>
- Demin, D. (2025). Optimization of technological modes of cupola melting according to the criterion of maximum combustion temperature. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (1 (83)), 36–40. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.328992>

Система оцінювання

Підсумкова оцінка з освітнього компонента визначається відповідальним лектором за темами, видами занять, тощо відповідно до силабусу і є інтегральною оцінкою результатів усіх вид навчальної діяльності здобувача вищої освіти. Підсумкова оцінка повинна відображати всі оцінки за складовими навчального процесу з урахуванням їх вагових показників k :

Поточний контроль (практичні та лабораторні роботи), k_1	Контрольні роботи (за наявності), k_2	Індивідуальне завдання (за наявності), k_3	Підсумковий контроль (для ОК з заліком), k_4
0,2	0,4	0,3	0,1

Сума коефіцієнтів повинна складати одиницю: $k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1$. Підбір вагових коефіцієнтів підсумкової оцінки здійснює розробник курсу.

Розрахунок підсумкової оцінки проводиться за формулою:

$$O = \Pi \cdot k_1 + K \cdot k_2 + I \cdot k_3 + \Pi k \cdot k_4,$$

де: Π – середньозважена середня оцінка за поточний контроль,
 I – оцінка за виконання індивідуального завдання,
 K – середньозважена оцінка за контрольні роботи,
 Πk – оцінка за підсумковий контроль.

$$\Pi = \frac{\Pi_1 \cdot a_1 + \Pi_2 \cdot a_2 + \dots + \Pi_n \cdot a_n}{\sum_{i=1}^n a_i},$$

де: a_i – ваговий коефіцієнт за практичне або лабораторне заняття.



$$K = \frac{K_1 \cdot b_1}{\sum_{i=1}^2 b_i},$$

де: b_i - ваговий коефіцієнт за контрольну роботу.

Поточні оцінки за кожну складову (П, К, І, ...) виставляються за 100-бальною шкалою згідно з положенням «Про критерії та систему оцінювання знань та вмінь і про рейтинг здобувачів вищої освіти» НТУ «ХПІ».

Підсумкова оцінка виставляється відповідно до розрахованої О з округленням до найближчого цілого числа в більшу сторону.

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C
64–74	Задовільно	D
60–63	Задовільно	E
35–59	Незадовільно (потрібне додаткове вивчення)	FX
1–34	Незадовільно (потрібне повторне вивчення)	F

Норми академічної етики і політика курсу

Аспірант повинен дотримуватися «Кодексу етики академічних взаємовідносин та доброчесності НТУ «ХПІ»: виявляти дисциплінованість, вихованість, доброзичливість, чесність, відповідальність. Конфліктні ситуації повинні відкрито обговорюватися в навчальних групах з викладачем, а при неможливості вирішення конфлікту – доводитися до відома співробітників дирекції інституту. Нормативно-правове забезпечення впровадження принципів академічної доброчесності НТУ «ХПІ» розміщено на сайті: <http://blogs.kpi.kharkov.ua/v2/nv/akademichna-dobrochesnist/>

Погодження

Силабус погоджено

30.06.2025

Дата погодження, підпис



Завідувач кафедри

Ольга ПОНОМАРЕНКО

30.06.2025 Дата погодження,
підпис



Гарант ОП

Олег АКИМОВ

