



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

Адаптивні і оптимальні системи автоматичного керування

Шифр та назва спеціальності

G10 – Металургія

Інститут

ННІ Механічної інженерії та транспорту

Спеціалізація

–

Кафедра

Ливарного виробництва (142)

Освітня програма

Металургія

Тип дисципліни

Вибіркова.

Рівень освіти

Третій (доктор філософії)

Форма навчання

Денна

Семестр

3

Мова викладання

Українська

Викладачі, розробники



Дьомін Дмитро Олександрович

Dmytro.Domin@khp.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 розширені відомості про системи автоматичного керування у ливарному виробництві, які або сьогодні активно використовуються в промисловості для виробництва виливків, або є перспективними. Наведено відомості про системи керування процесами по усіх складових ливарної технології, системи керування обладнанням ліній для виготовлення виливків, принципальні схеми керування, теоретичні основи розрахунків оптимального керування, математичне моделювання об'єктів керування, адаптивне моделювання ливарних процесів для розробки систем керування.

Мета та цілі дисципліни

Мета курсу: Виробити у аспіранта здатність застосовувати знання і розуміння принципів математичного моделювання, зокрема адаптивного моделювання, для розробки моделей процесів металургічного виробництва; здатність до науково – методичного обґрунтування, розробки та впровадження інноваційних систем керування виробничими процесів отримання виливків, фізико-хімічними процесами в рідких сплавах задля отримання якісного литва.

В результаті вивчення курсу аспірант повинен знати:

сучасні системи керування у ливарному виробництві; уміти кратко описувати роботу різних систем та порівнювати їх, будувати математичні моделі технологічних процесів, розраховувати оптимальні параметри процесів для вибору найкращих технологічних режимів; виконувати основні операції по розрахунку оптимального та адаптивного керування залежно від конкретного технологічного об'єкту ливарного цеху. Демонструвати знання теоретичних основ математичного моделювання, що базується на методах активного та пасивного експерименту. Розробляти оптимальні технологічні режими по окремих технологічних процесах виготовлення виливків; демонструвати знання методики пошуку оптимальних рішень відносно процесів структуроутворення; встановлювати взаємозв'язок між структурними параметрами та властивостями матеріалів ливарного виробництва, з метою подальшої розробки оптимального керування за обраними критеріями якості.

Формат занять

Лекції, лабораторні роботи, самостійна робота, консультації. Підсумковий контроль – іспит.

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 проекти в металургії та дотичні до неї міждисциплінарні проекти з урахуванням технічних, економічних, правих, 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 напрямків з використанням сучасних обладнання та методик, аналізувати результати експериментів у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.



PH06. 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.

PH07. 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., лабораторні заняття 10 год., самостійна робота –80 год.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Для успішного проходження курсу необхідно мати знання та практичні навички з наступних дисциплін: «Автоматизація ливарного виробництва», «Технічні засоби автоматизації», «Проектування та експлуатація систем керування», «Приводи ливарних машин», «Обладнання ливарного виробництва», «Ресурсозберігаючі технології в ливарному виробництві».

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

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

Програма навчальної дисципліни

Навчальні заняття

Лекції

Теми лекцій	Кількість годин
Вступ. Значення та задачі дисципліни. Література.	1
Тема 1. Системи автоматизації змішувачів. Вимоги до обладнання. Приводи змішувачів. Схеми автоматизації.	2
Тема 2. Системи автоматизації процесів формовки. Схеми автоматизації процесу ущільнення суміші пресуванням. Схеми автоматизації процесу ущільнення суміші струшуванням. Схеми автоматизації процесу ущільнення суміші імпульсним впливом.	2
Тема 3. Системи автоматизації плавки. Фізико-хімічні основи металургійних процесів плавки як об'єкту керування. Схеми автоматизації індукційний печей. Схеми автоматизації електродугових печей.	2
Тема 4. Системи автоматизації процесів виготовлення стрижнів. Схеми автоматизації процесів виготовлення стрижнів на окремих стрижневих машинах. Схеми автоматизації процесів виготовлення стрижнів в автоматизованому та автоматичному виробництві.	2
Тема 5. Автоматичні лінії та моделювання функціонування окремих ділянок ливарного цеху. Ливарний цех як система масового обслуговування. Розрахунки показників функціонування обладнання цеху.	2



Тема 6. Синтез систем керування технологічними процесами ливарного виробництва. Логічний синтез систем керування формувальним обладнанням. Логічний синтез систем керування сумішеприготовчим обладнанням.	3
Тема 7. Побудова математичних моделей технологічних процесів на основі активного експерименту. Вибір структури моделей. Принципи вибору вхідних та вихідних змінних процесів.	2
Тема №8. Побудова математичних моделей технологічних процесів на основі пасивного експерименту. Вибір структури моделей. Принципи вибору вхідних та вихідних змінних процесів.	2
Тема №9. Експериментальні методи оптимізації Метод Бокса-Уілсона. Канонічне перетворення поверхні відгуку.	3
Тема №10. Методи адаптивного математичного моделювання Аддитивний та неаддитивний дрейф технологічних об'єктів.	3
Тема №11. Принцип максимуму Понтрягіна Сутність принципу максимуму Понтрягіна. Пошук оптимального керування за швидкодією.	3
Тема №12. Синтез оптимальних регуляторів з використанням принципу максимуму Сутність принципу синтезу оптимальних регуляторів з використанням принципу максимуму.	3
Загальна кількість годин	30

Лабораторні заняття

Теми лабораторних занять

Кількість годин Вагові коефіцієнти a

Теми лабораторних занять	Кількість годин	Вагові коефіцієнти a
Тема №1. Моделювання процесу виготовлення суміші для виготовлення разових ливарних форм за даними активного експерименту	2	1
Тема №2. Моделювання процесу виготовлення суміші для виготовлення разових ливарних форм за даними пасивного експерименту	2	1
Тема №3. Побудова моделі «Склад – властивості» сплаву за даними активного експерименту	2	1
Тема №4. Побудова моделі «Склад – властивості» сплаву за даними пасивного експерименту	2	1
Тема №5. Визначення оптимальних режимів підготовки формувальних матеріалів методом Бокса-Уілсона	1	1
Тема №6. Синтез оптимального керування процесом термочасової бробки розплаву в печі	1	1
Загальна кількість годин	10	$\sum_{i=1}^n a_i = 6$

Практичні заняття



Практичні заняття в рамках ОК не передбачені.

Контрольні роботи

Контрольні роботи з курсу «Адаптивні і оптимальні системи автоматичного керування»

Вагові коефіцієнти b

Модульна контрольна робота № 1

1

1. Які вимоги до обладнання як об'єктів керування?
2. Які бувають приводи змішувачів?
3. Що включає в себе схема автоматизації процесу ущільнення суміші?
4. Які фізико-хімічні основи металургійних процесів плавки як об'єкту керування?
5. Що включає в себе схема автоматизації процесів виготовлення стрижнів на окремих стрижневих машинах?
6. Що включає в себе схема автоматизації процесів виготовлення стрижнів в автоматизованому та автоматичному виробництві?
7. Що таке система масового обслуговування?
8. Як можна формалізувати опис ливарного цеху як системи масового обслуговування?
9. Які бувають автоматичні лінії ливарного виробництва?
10. В чому полягає суть логічного синтезу систем керування формувальним обладнанням?
11. В чому полягає суть логічного синтезу систем керування сумішеприготовчим обладнанням?
12. В чому полягає суть логічного синтезу систем керування стрижньовим обладнанням?

Модульна контрольна робота № 2

1

1. Як обирається структура моделей для систем керування ливарними процесами?
2. Що таке плани повного факторного експерименту?
3. Що таке плани дробового факторного експерименту?
4. В чому полягає суть активного експерименту?
5. В чому полягає суть пасивного експерименту?
6. В чому полягає суть методу найменших квадратів?
7. Як перевіряється адекватність моделей для систем та процесів керування ливарними процесами?
8. В чому полягає суть Метод Бокса-Уілсона?
9. Для чого здійснюється канонічне перетворення поверхні відгуку?
10. Для чого здійснюється гребеневий аналіз?
11. Що таке дрейф технологічних об'єктів?
12. В чому полягає суть принципу максимуму Понтрягіна?

Загалом

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

Самостійна робота

Курс передбачає синтез системи керування в рамках тематики дисертації. Аспіранту також рекомендуються додаткові матеріали для самостійного вивчення та аналізу.

Опрацювання теоретичного матеріалу

Теми для самостійного вивчення

Кількість годин



Тема 1. Системи автоматизації змішувачів. Вхідні та вихідні змінні для побудови математичних моделей процесів виготовлення формувальних та стрижньових сумішей.	2
Тема 2. Системи автоматизації процесів формовки. Пневматичний привід формувальних машин. Гідравлічний привід формувальних машин. Пневмогідравлічний привод формувальних машин. Вхідні та вихідні змінні для побудови математичних моделей процесів ущільнення сумішей	4
Тема 3. Системи автоматизації плавки. Схеми автоматизації ваграночного процесу. Схеми автоматизації дуплекс-процесів плавки. Вхідні та вихідні змінні для побудови математичних моделей процесів плавки та позапічної обробки.	4
Тема 4. Системи автоматизації процесів виготовлення стрижнів. Вхідні та вихідні змінні для побудови математичних моделей процесів виготовлення стрижнів.	4
Тема 5. Автоматичні лінії та моделювання функціонування окремих ділянок ливарного цеху. Автоматичні лінії ливарного виробництва	4
Тема 6. Синтез систем керування технологічними процесами ливарного виробництва. Логічний синтез систем керування стрижньовим обладнанням. Логічний синтез систем керування плавильним обладнанням.	4
Тема 7. Побудова математичних моделей технологічних процесів на основі активного експерименту. Плани повного факторного експерименту. Принципи розрахунку параметрів моделей.	4
Тема №8. Побудова математичних моделей технологічних процесів на основі пасивного експерименту. Метод найменших квадратів. Статистичний аналіз точності та перевірка адекватності моделей.	4
Тема №9. Експериментальні методи оптимізації Гребеневий аналіз	4
Тема №10. Методи адаптивного математичного моделювання Побудова адаптивних математичних моделей за умови неаддитивного неконтрольованого дрейфу	2
Тема №11. Принцип максимуму Понтрягіна Приклади використання принципу максимуму для пошуку оптимального керування процесами електродугової та індукційної плавки	2
Тема №12. Синтез оптимальних регуляторів з використанням принципу максимуму Уніфікація математичних моделей технологічних процесів ливарного виробництва для синтезу оптимальних регуляторів	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. Системи автоматизації змішувачів. Навести схему автоматизації змішувачів періодичної дії. Навести список використаної літератури.

Тема 2. Системи автоматизації процесів формовки.

Навести схему автоматизації процесу ущільнення суміші пресуванням. Навести список використаної літератури.

Тема 3. Системи автоматизації плавки.

Навести схему автоматизації індукційний та електродугових печей. Навести список використаної літератури.

Тема 4. Системи автоматизації процесів виготовлення стрижнів.

Навести схему автоматизації процесів виготовлення стрижнів. Навести список використаної літератури.

Тема 5. Автоматичні лінії та моделювання функціонування окремих ділянок ливарного цеху.

Представити опис ливарного цеху як системи масового обслуговування. Навести список використаної літератури.

Тема 6. Синтез систем керування технологічними процесами ливарного виробництва.

Виконати логічний синтез системи керування струшуючо-пресовою формувальною машиною. Навести список використаної літератури.

Тема 7. Побудова математичних моделей технологічних процесів.

По даних пасивного експерименту для заданого технологічного процесу побудувати його математичну модель та виконати оптимізацію. Навести список використаної літератури.

Тема №8. Принцип максимуму Понтрягіна

Вирішити задачу оптимального керування за швидкодією процесу нагріву розплаву в електропечі. Навести список використаної літератури.

Загальна кількість годин

40

Література та навчальні матеріали

Основна література

1. 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>
2. 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>
3. Автоматизовані системи управління: навч. посіб. / Д. О. Дьомін, П. С. Пензєв. – Харків : ТОВ «ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР ГРУП», 2024. – 130 с.
4. Dymko, I. (2018). Choice of the optimal control strategy for the duplex-process of induction melting of constructional iron. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 3–13. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00669>
5. Demin, D., Domin, O. (2021). Adaptive technology for constructing the kinetic equations of reduction reactions under conditions of a priori uncertainty. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 14–29. doi: <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001959>
6. Demin, D. (2023). Experimental and industrial method of synthesis of optimal control of the temperature region of cupola melting. *EUREKA: Physics and Engineering*, 2, 68–82. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002804>



7. 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>
8. Demin, D. (2012). Synthesis process control elektrodugovoy smelting iron. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (10 (56)), 4–9. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2012.3881>
9. 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>

Додаткова література

1. 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>
2. 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>
3. 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:

$$O = П \cdot k_1 + K \cdot k_2 + I \cdot k_3 + Пк \cdot k_4,$$

де: $П$ – середньозважена середня оцінка за поточний контроль,
 I – оцінка за виконання індивідуального завдання,
 K – середньозважена оцінка за контрольні роботи,
 $Пк$ – оцінка за підсумковий контроль.

$$П = \frac{П_1 \cdot a_1 + П_2 \cdot a_2 + \dots + П_n \cdot a_n}{\sum_{i=1}^5 a_i},$$

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 ($П, K, I, \dots$) 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

Шкала оцінювання

Сума балів	Національна оцінка	ECTS
90–100	Відмінно	A
82–89	Добре	B
75–81	Добре	C



розрахованої О з округленням до найближчого цілого числа в більшу сторону.

64-74	Задовільно	D
60-63	Задовільно	E
35-59	Незадовільно (потрібне додаткове ви- вчення)	FX
1-34	Незадовільно (потрібне повторне ви- вчення)	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 АКІМОВ

