



Силабус освітнього компонента

Програма навчальної дисципліни

Теплообмін у ливарній формі

Шифр та назва спеціальності

G10 – Металургія

Інститут

ННІ Механічної інженерії та транспорту

Спеціалізація

–

Кафедра

Ливарного виробництва (142)

Освітня програма

Технології та обладнання ливарного виробництва

Тип дисципліни

Вибіркова

Рівень освіти

Перший (бакалаврський)

Форма навчання

Денна

Семестр

5

Мова викладання

Українська

Викладачі, розробники



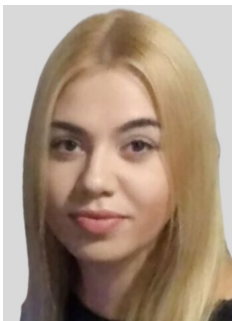
Акімов Олег Вікторович

Oleg.Akimov@khpi.edu.ua

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

Досвід роботи – 37 років. Автор та співавтор понад 200 наукових та методичних публікацій. Курси: «Сучасні комп'ютерні технології в металургії», «Моделювання та оптимізація металургійних процесів та оснащення» та інші.

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)



Масалітіна Олена Володимирівна

Olena.Masalitina@khpi.edu.ua

Старший викладач кафедри ливарного виробництва НТУ «ХПІ»

Досвід роботи – 5 років. Автор та співавтор 8 наукових та методичних публікацій. Курси: «Вступ до спеціальності. Ознайомча практика»

[Детальніше про викладача на сайті кафедри](#)

Загальна інформація

Анотація

Курс «Теплообмін у ливарній формі» спрямовано на надання студентам знань, вмінь та навичок в застосуванні основних положень теплотехніки та ливарного виробництва для раціонального

вибору сушильної, нагрівальної або плавильної печі, проведення аналізу техніко-економічних показників і теплової роботи печей.

Мета та цілі дисципліни

Дати студентам поняття про механізм твердіння виливків, про проявлення законів тепло- і масопереносу в період кристалізації і охолодження виливка, дати навички вживання інформаційних технологій для вирішення задач теплообміну

Формат занять

Лекції, практичні заняття, самостійна робота, консультації. Розрахункове завдання. Підсумковий контроль – залік.

Компетентності

Інтегральна компетентність – Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми металургії у професійній діяльності або у процесі навчання, що передбачає застосування теоретичних положень та методів інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов.

ЗК 5. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК 9. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

СК 5. Здатність застосовувати наукові і інженерні методи, а також комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення типових та комплексних завдань металургії за спеціалізацією, у тому числі в умовах невизначеності.

СК 10. Усвідомлення характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів відповідної спеціалізації.

СК 20. Здатність використовувати професійні знання властивостей металів та сплавів для конструювання продукції в ливарному виробництві з заданими властивостями.

Результати навчання

РН 01. Концептуальні знання і розуміння фундаментальних наук, що лежать в основі відповідної спеціалізації металургії, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів освітньої програми.

РН 02. Знання і розуміння інженерних наук, що лежать в основі спеціалізації, на рівні, необхідному для досягнення інших результатів програми, у тому числі достатня обізнаність в їх останніх досягненнях.

РН 04. Вміння виявляти, формулювати і вирішувати типові та складні й непередбачувані інженерні завдання і проблеми відповідно до спеціалізації, що включає збирання та інтерпретацію інформації (даних), вибір і використання відповідних обладнання, інструментів та методів, застосування інноваційних підходів.

РН 06. Вміння обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки.

РН 10. Розуміння особливостей матеріалів, що застосовуються, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів, а також їх обмежень відповідно до спеціалізації.

РН 11. Вміння поєднувати теорію і практику для вирішення інженерних завдань відповідної спеціалізації металургії.

РН 26. Вміння аналізувати і керувати факторами, які впливають на технологічні процеси виготовлення, структуру та властивості литих виробів.

РН 27. Розуміння властивостей і характеристик основних і допоміжних матеріалів ливарного виробництва, які впливають на процеси отримання готової продукції.

Обсяг дисципліни

Загальний обсяг дисципліни 120 год. (4 кредитів ECTS): лекції – 32 год., практичні заняття – 16 год., самостійна робота – 72 год.

Передумови вивчення дисципліни (пререквізити)

Для успішного проходження курсу необхідно мати знання та практичні навички з наступних дисциплін: «Теорія ливарних сплавів», «Сплави чорних металів», «Конструювання оснащення в ливарному виробництві».

Особливості дисципліни, методи та технології навчання

Лекції проводяться інтерактивно з використанням мультимедійних технологій. На практичних заняттях використовується проектний підхід до навчання, ігрові методи, акцентується увага на застосуванні інформаційних технологій в розрахунку теплообміну в ливарній формі.

Програма навчальної дисципліни

Навчальні заняття

Лекції

| Теми лекцій | Кількість годин |
|---|-----------------|
| Тема 1. Загальні питання теплообміну. Історія розвитку теплопереносу у ливарній формі (видатні вчені). | 4 |
| Тема 2. Теорія кристалізації виливка | 4 |
| Тема 3. Основні поняття та закони теорії теплообміну (рівняння Фур'є). | 4 |
| Тема 4. Закон Стефана – Больцмана. | 4 |
| Тема 5. Диференційне рівняння теплопровідності для відливок прямокутного, квадратного та круглого зрізу. | 4 |
| Тема 6. Рішення методом інтегрального теплового балансу (метод Вейніка). | 4 |
| Тема 7. Застосування методів кінцевих елементів та кінцевих різностей для розрахунку ливарної форми. | 4 |
| Тема 8. Огляд сучасних CAE систем моделювання теплових процесів у ливарній формі | 4 |
| Загальна кількість годин | 32 |

Практичні заняття

| Теми практичних/семінарських занять | Кількість годин | Вагові коефіцієнти а |
|---|-----------------|----------------------|
| Тема 1. Основні види теплопередачі. | 2 | 1 |
| Тема 2. Розрахунки кристалізації виливка на ПЕОМ. | 2 | 1 |
| Тема 3. Крайові умови | 2 | 1 |
| Тема 4. Рішення Стефана. | 4 | 1 |
| Тема 5. Розрахунки кристалізації різних типів відливок за методом Вейніка на ПЕОМ. | 4 | 1 |
| Тема 6. Прилади контролю теплових процесів у виливку. | 2 | 1 |

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

Теми лабораторних робіт

Лабораторні роботи в рамках дисципліни не передбачені.

Контрольні роботи

Контрольні роботи з теплообміну у ливарній формі

Вагові коефіцієнти b

Модульна контрольна робота № 1

1

1. Загальні тези теорії теплообміну в ливарному виробництві.
2. Засновники теорії формування виливка.
3. Основи кристалізації виливка.
4. Ближній та далекий порядок атомів.
5. Швидкість росту кристалів та від чого вона залежить.
6. Швидкість росту центрів кристалізації та від чого вона залежить.
7. Структурні зони виливка.
8. Фазовий перехід.
9. Основні поняття та закони теорії теплообміну.
10. Рівняння теплопровідності Фур'є.
11. Закон тепловіддачі Ньютона.
12. Закон теплового випромінювання Стефана-Больцмана.
13. Диференціальне рівняння теплопровідності для відливачів.

Модульна контрольна робота № 2

1

1. Рішення Стефана.
2. Закон квадратного кореня.
3. Розрахунок охолодження відливання числовим методом Дюзинбера при коефіцієнті тепловіддачі від поверхні рівному нескінченності.
4. Нанесення сітки на перетин виливка.
5. Рішення рівняння теплового балансу.
6. Використання модуля M .
7. Застосування зважених коефіцієнтів.
8. Знаходження шагу сітки та шагу по часу.
9. Розрахунок охолодження відливання числовим методом Дюзинбера при коефіцієнті тепловіддачі від поверхні не рівному нескінченності.
10. Складання рівняння тепловіддачі від граничної поверхні.
11. Контрольні точки сітки a та 1 .
12. Розрахунок прихованої теплоти плавлення.
13. Крайові умови.

Загалом

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

Самостійна робота

Курс передбачає виконання розрахункового завдання по теплообміну в ливарній формі. Результат оформлюється у письмовий звіт. Студентам також рекомендуються додаткові матеріали для самостійного вивчення та аналізу.

| | |
|---|---|
| Тема 1. Залежність вільної енергії рідкої і твердої фаз в залежності від температури сплаву. | 4 |
| Для початку кристалізації в розчині після переохолодження повинні з'явитися зародки кристалів. Якщо вони не з'являться, розплав буде в метастабільному стані (відносно стабільний), що не відповідає мінімуму для цих умов значенню вільної енергії системи. | |
| Тема 2. Залежність швидкості походження центрів кристалізації від величини переохолодження. | 4 |
| Виходячи з теорії народження і росту кристалів, збільшення швидкості походження кристалізаційних центрів (при невеликому переохолодженні) під впливом розчинних і нерозчинних домішок можливе тільки тоді, коли ці домішки допоможуть зменшити енергію утворення кристалічних центрів. | |
| Тема 3. Основні поняття, визначення, закони теорії теплообміну та виведення рівняння теплопровідності Фур'є | 4 |
| Теорія теплообміну - це вчення про процеси розподілу (перекошу) тепла в просторі. У теорії теплообміну весь простір умовно ділиться між об'єктом дослідження і навколишнім середовищем. Об'єктом дослідження є фізичне середовище, як правило, у вигляді одного тіла (твердого або рідкого) або системи таких тіл. Поверхня, що відокремлює об'єкт від навколишнього середовища і через яку проходить теплова взаємодія об'єкта з навколишнім середовищем, є граничною поверхнею. | |
| Тема 4. Закон теплопровідності Ньютона. | 4 |
| Тепловий потік, заданий одиницею граничної поверхні тіла навколишньому середовищу, називається щільністю поверхні теплового потоку. У конвективному теплообміні щільність поверхні теплового потоку апроксимована законом Ньютона. | |
| Тема 5. Закон теплового випромінювання Стефана-Больцмана. | 4 |
| При променистому теплообміні тепло з граничної поверхні тіла переноситься в навколишній простір електромагнітними хвилями, які виникають в результаті перетворення частини внутрішньої енергії електромагнітних вібрацій. | |
| Тема 6. Рівняння теплопровідності для виливків прямокутних, квадратних, круглих перерізів і крайові умови. | 4 |
| У реальних виливків повний час затвердіння (один з найважливіших параметрів) визначається в основному відстанню від ливарної поверхні до її центру. Наприклад, для лиття прямокутної форми буде визначатися розмір квадрата, круглий - радіусом. | |
| Тема 7. Рішення Стефана. | 4 |
| В результаті точного розрахунку ми отримуємо температурні поля в твердій і рідкій фазах і закон руху з часом межі фазного переходу. У приблизних значеннях встановлюються температурні поля в твердій і рідкій фазах і знаходять закон переміщення межі фази переходу і навпаки. Одним з небагатьох точних рішень в математичній теорії затвердіння є рішення Стефана, названого на честь австрійського математика, який в 1689 році проаналізував процес утворення льоду. | |
| Тема 8. Розрахунок охолодження лиття за чисельним методом Дюзінбера при тепловій віддачі від поверхні, що дорівнює нескінченності. | 4 |
| Метод Дюзінбера полягає в накладці сітки на тіло, через яку проходить тепловий потік, і застосування рівнянь для стаціонарних умов до теплового | |

поток, що йде від однієї клітини (сітчастої комірки) до сусідньої протягом невеликих кінцевих інтервалів часу, так що прийняті припущення досить виправдані. Тепловий потік протягом тривалого періоду часу підсумовується в ряд невеликих інтервалів.

Тема 9. Розрахунок охолодження лиття за чисельним методом Дюзінбера при тепловій віддачі від поверхні, що НЕ дорівнює нескінченності.

4

У попередній темі наведено приклад застосування методу Дюзінбера для простого випадку, коли коефіцієнт тепловіддачі дорівнює нескінченності. У цій темі буде розглянуто більш реальне завдання, коли коефіцієнт тепловіддачі дорівнює кінцевій величині, наприклад, у випадку, коли є поверхня розділу між формою і виливкою у разі утворення повітряного зазору.

Загальна кількість годин

36

Тематика індивідуальних завдань

Виконання розрахункового завдання передбачає завдання з розрахунку по теплообміну в ливарній формі за наведеним описом тем до мети навчальної дисципліни. Здобувач обирає конкретну тему в межах загальної тематики за погодженням з викладачем. Обсяг звіту: 8–12 сторінок основного тексту. Звіт має бути оформлений відповідно до вимог, наведених у літературному джерелі [3]. Завдання виконується протягом навчальних тижнів і подається на перевірку до екзамену.

Теми індивідуального завдання

Тема 1. Рівняння теплопровідності Фур'є.

Теплопровідність тіла характеризує фізичну властивість цього тіла до проведення тепла, чисельно визначає кількість тепла, що проходить через одиницю ізотермічної поверхні тіла в часі при значенні температурного градієнта, рівного одній одиниці.

Тема 2. Закон тепловіддачі Ньютона.

Коефіцієнт температури за конвекцією залежить від щільності, в'язкості, теплопровідності, інтенсивності нагрівання рідини, швидкості і характеру її руху біля граничної поверхні тіла, форми цієї поверхні, її положення в просторі, а також величини температурного тиску, в теорії теплообміну коефіцієнт розраховується за емпіричними формулами.

Тема 3. Закон теплового випромінювання Стефана-Больцмана.

Закон Стефана-Больцмана вірний абсолютно чорному тілу, яке випромінює тепло у вакуум. Однак експерименти показали, що цей закон також справедливий для так званих сірих тіл.

Тема 4. Рівняння теплопровідності для виливків прямокутних, квадратних, круглих перерізів і крайові умови.

Диференціальні рівняння теплопровідності відносяться до ненульового невеликого елемента температурного поля і, взяті самі по собі, нічого не говорять про межі тіла по всьому простору і за весь час, протягом якого протікає процес. При його постановці необхідно зафіксувати певну геометричну форму перерізу виливки, його фізичні властивості (коефіцієнти температуропровідності) і, крім того, встановити так звані крайові умови.

Тема 5. Розрахунок охолодження відливання числовим методом Дюзінбера при коефіцієнті тепловіддачі від поверхні рівному нескінченності.

Однією з найпростіших схем чисельного математичного аналізу є схема розрахунку Дюзінбера, заснована на методі послідовних повторень для вирішення задач нестійкого теплового потоку.

Тема 6. Розрахунок охолодження відливання числовим методом Дюзінбера при коефіцієнті тепловіддачі від поверхні не рівному нескінченності.

Подальшим розвитком методу Дюзінбера є застосування його до багаточарових тіл. Спочатку допустимо, що з-поміж них забезпечується досконалий контакт. При розгляді двох дотичних матеріалів можна або розташовувати контрольні точки сітки з кожного боку контактної поверхні або поміщати одну з точок - нульову в середині комірки.

Література та навчальні матеріали та інформаційні ресурси

Основна література

1. Амоша О.І., Нікіфорова В.А. Розвиток металургійної смарт промисловості в Україні: передумови, проблеми, особливості, наслідки: науково-аналітична доповідь; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2019. 67 с. <https://iie.org.ua/monografiyi/rozvitok-metalurgijnoi-smart-promislovosti-v-ukraini-peredumovi-problemi-osoblivosti-naslidki/>
2. Методичні вказівки з виконання практичних занять з навчальної дисципліни "Моделювання та оптимізація металургійних процесів та оснащення" [Електронний ресурс] : для студентів другого рівня вищої освіти за спец. G10 Металургія / уклад. Акімов О. В. ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – 1-ше вид., перероб. і доп. – Електрон. текст. дані. – Харків : НТУ "ХПІ", 2025. – 34 с. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/91677>
3. Методичні вказівки з виконання практичних робіт з навчальної дисципліни "Теплообмін у ливарній формі" [Електронний ресурс] : для студентів ден. та заочн. форми спец. G10 Металургія та G9 Прикладна механіка / уклад. Акімов О. В. ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – 2-ге вид., перероб. та доп. – Електрон. текст. дані. – Харків : НТУ "ХПІ", 2025. – 16 с. – URI: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/87103>.
4. Профспілка металургів і гірників України. Стратегічні гравці бачать інвестиційний потенціал в українській металургії (2023). URL: <http://pmguinfo.dp.ua/ukraina/6404-strategichni-gravtsi-bachat-investitsijnij-potentsial-v-ukrajinskij-metalurgiji>
5. Filho, W. L. R. (2025). The Role of Zero Trust Architecture in Modern Cybersecurity: Integration with IAM and Emerging Technologies. Brazilian Journal of Development, 11(1), e76836. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n1-060>
6. Delci, C. A. M. (2025). THE EFFECTIVENESS OF LAST PLANNER SYSTEM (LPS) IN INFRASTRUCTURE PROJECT MANAGEMENT. Revista Sistemática, 15(2), 133–139. <https://doi.org/10.56238/rcsv15n2-009>
7. Filho, W. L. R. (2025). THE ROLE OF AI IN ENHANCING IDENTITY AND ACCESS MANAGEMENT SYSTEMS. International Seven Journal of Multidisciplinary, 1(2). <https://doi.org/10.56238/isevmjv1n2-011>
8. Larsen and Küspert (2024), "Regulating General-Purpose AI: Areas of Convergence and Divergence Across the EU and the US", Brookings, <https://www.brookings.edu/articles/regulating-general-purpose-ai-areas-of-convergence-and-divergence-across-the-eu-and-the-us/>
9. Determining rational complex modifying and alloying additives to improve the mechanical characteristics of gray cast iron Klymenko, S., Verkhovliuk, A., Sevoian, A., Akimov O., Ponomarenko, O., Penziev, P. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2024, 6(12(132)), pp. 15–23 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85215359624&origin=resultslist>
10. New Complex Treatment to Ensure the Operational Properties of the Surface Layers of Machine Parts, Kostyk, K., Chen, X., Kostyk, V., Akimov, O., Shyrokyi, Y. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2023, pp. 284–293 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85138770252&origin=resultslist>
11. Ensuring the High Strength Characteristics of the Surface Layers of Steel Products Kostyk, K., Kostyk, V., Akimov, O., Kamchatna-Stepanova, K., Shyrokyi, Y. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2022, pp. 292–301 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85120627938&origin=resultslist>
12. Ensuring the Technological Parameters of Cast Block Crankcase of Automobile's Diesel Engine, Akimov, O., Kostyk, K., Klymenko, S., Penzev, P., Saltykov, L. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 2021, pp. 3–11 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85110614958&origin=resultslist>
13. Ponomarenko, O., Yevtushenko, N., Akimov, O., Vasilets, V., & Lopes, H. (2025, June). Study of the Laws of Random Fluctuations in the Parameters of Foundry Processes and the Quality of Castings. In International Conference Innovation in Engineering (pp. 402-411). Cham: Springer Nature Switzerland. <https://www.scopus.com/pages/publications/105008993312>

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 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.

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

де: a_i - ваговий коефіцієнт за практичне 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 розрахованої O 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

Здобувач вищої освіти 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

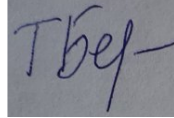
30.06.2025

Дата погодження, підпис



Завідувач кафедри
Ольга ПОНОМАРЕНКО

30.06.2025 Дата погодження,
підпис



Гарант ОП
Тетяна Берлізева