



ТЕПЛОТЕХНІКА ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>136 Металургія</i>
Освітня програма	<i>Комп'ютеризовані процеси лиття</i>
Статус дисципліни	<i>нормативний освітній компонент, обов'язковий компонент циклу професійної підготовки</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредити (150 годин)), лекції – 36 год., лабораторні роботи – 18 год., практичні заняття – 18 годин, СРС – 78 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен/МКР</i>
Розклад занять	<i>http://rozklad.kpi.ua/Schedules/ScheduleGroupSelection.aspx</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: Іванченко Дмитро Вікторович, 050-99-88-615, cortdm77@gmail.com Лабораторні: Іванченко Дмитро Вікторович, 050-99-88-615, cortdm77@gmail.com Практичні: Іванченко Дмитро Вікторович, 050-99-88-615, cortdm77@gmail.com
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/NTM3Mjg1NzU4Mjc1

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Процеси виробництва чавуну, сталі, інших металів та сплавів, а також виливок і поковок супроводжуються при високих температурах зі значними витратами теплової енергії. Тому необхідно проводити ці процеси таким чином, щоб отримати високоякісні метали, сплави, виливки або поковки при оптимальних теплових режимах з мінімальними витратами джерел теплової енергії. Задовольнити вказаним вимогам і провести технологічний процес за оптимальними параметрами можна знаючи основи теплової роботи сушильної, нагрівальної або плавильної печі і установки. Розкрити теплову роботу печі допомагає металургійна теплотехніка. Ця дисципліна є самостійною наукою, яка у сукупності з теорією і технологією металургійного виробництва та фізичним металознавством призначена сформувати теоретичний базис металурга.

В результаті вивчення цієї дисципліни студент набуває інженерні знання, які дозволяють визначити тепловий режим, вибрати джерело теплової енергії в залежності від призначення та умов експлуатації нагрівальної установки або печі.

Вивчення дисципліни базується на знанні студентом основних законів фізики, хімії, фізичної хімії, металознавства, застосуванні математичного апарату або обчислювальної техніки.

Теоретичний матеріал викладається на лекціях. Практичні заняття присвячені аеродинамічному розрахунку печі, вибору режиму та розрахунку нагріву відливок під термічну обробку, розрахунку спалювання палива та електронагрівачів, розрахунку термічної, плавильної та сушильної печей. Під час лабораторного практикуму студенти оволодівають методикою та технікою високотемпературного експерименту.

Для підвищення творчої активності та самостійності у роботі студентів при вивченні дисципліни передбачено виконання курсової роботи (див. окремий силабус).

Мета дисципліни – прищеплення 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.

Предметом вивчення дисципліни є методи отримання, перетворення, передачі і використання теплоти, а також принципи дії та конструктивні особливості теплових машин, апаратів і пристроїв.

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у студентів компетентностей, передбачених освітньою програмою «Комп'ютеризовані процеси лиття», яка розроблена із урахуванням Стандарту вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 13 – Механічна інженерія, спеціальність 136 – Металургія. Затверджено і введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 04.10.2018 р. № 1072:

Загальні компетентності:

- ЗК 03. Здатність самостійно вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК 05. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

Фахові компетентності:

- ФК 02. Здатність вирішувати типові інженерні завдання відповідно до спеціалізації;
- ФК 04. Здатність застосовувати і інтегрувати знання на основі розуміння інших інженерних спеціальностей;
- ФК 08. Усвідомлення контекстів, в яких можуть бути застосовані знання металургії (наприклад, управління процесами та обладнанням, менеджмент, розробка технології тощо);
- ФК 14. Здатність забезпечувати якість продукції.

Результати навчання дисципліни деталізують такі програмні результати навчання, передбачені відповідним Стандартом вищої освіти України та освітньою програмою «Комп'ютеризовані процеси лиття»:

- ПР 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;
- ПР 06. Вміння обирати і застосовувати придатні типові методи досліджень (аналітичні, розрахункові, моделювання, експериментальні); правильно інтерпретувати результати таких досліджень та робити висновки;
- ПР 10. Розуміння особливостей матеріалів, що застосовуються, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів, а також їх обмежень відповідно до спеціалізації;
- ПР 13. Вміння застосовувати стандарти інженерної діяльності відповідно до спеціалізації;
- ПР 16. Розуміння широкого міждисциплінарного контексту металургії.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Навчальна дисципліна є обов'язковим компонентом освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» і належить до циклу професійної підготовки. Для вивчення даного кредитного модуля необхідне успішне засвоєння навчального матеріалу, з таких дисциплін, як «Вища математика», «Фізика», «Хімія елементів», «Структура, властивості та обробка матеріалів», «Теорія металургійних процесів», «Первинні матеріали для ливарного виробництва». Знання, отримані при вивченні цієї дисципліни використовуються студентами при подальшому вивченні таких дисциплін як «Устаткування ливарних цехів», «Теоретичні основи ливарного виробництва», «Формувальні матеріали», «Технологія ливарної форми», в тому числі при підготовці курсових проектів, під час переддипломної практики і для дипломного проектування - атестаційних робіт першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, а також для дисциплін другого (магістерського) рівня вищої освіти.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ 1. Механіка газів.

Розділ 2. Тепло- і масообмін.

Розділ 3. Матеріали для спорудження печей.

Розділ 4. Елементи печей.

Розділ 5. Теплогенерація за рахунок хімічної енергії палива та електроенергії.

Розділ 6. Основи теорії горіння та конструкції паливоспалювальних пристроїв.

Розділ 7. Теплообмін у робочому просторі.

Розділ 8. Технологія нагріву металу.

Розділ 9. Розрахунок та проектування печей.

Розділ 10. Основи загальної теорії печей.

Розділ 11. Теорія сушіння та тепловий розрахунок сушарок.

Розділ 12. Конструкція металургійних печей та пристроїв.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Драганов Б. Х. Теплотехніка: підручник / Драганов Б. Х., Бессараб О. С., Долінський А. А., Лазоренко В. О., Міщенко А. В., Шеліманова О. В.; за ред. Драганова Б. Х.; 2-е вид., перероб. і доп. – К.: ІНКОС, 2005. - 400 с.
2. Константинов С. М. Теплообмін: Підручник / Константинов С. М. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2005. - 304 с.
3. Обертюх Р. Р. Теоретичні основи теплотехніки: навч. посібник / Р. Р.Обертюх. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. - 165 с.
4. Коновалова С. О. Курс лекцій з дисциплін «Теплотехніка» та «Теплоенергетика» для студентів металургійних спеціальностей / Коновалова С. О., Авдєєнко А. П. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – 408 с.
5. Власенко М. М. Конспект лекцій з дисципліни «Вогнетриви та ізоляційні матеріали» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 144 «Теплоенергетика» та заочної форм навчання спеціальності 144 «Теплоенергетика» / Власенко М. М. – Покровськ, ДонНТУ, 2017 р. – 91 с.

Додаткова література

6. Сабірзянов Т.Г. Теплотехніка ливарних процесів: навч. посібник / Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропівний. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402 с.

Література є вільному доступні в бібліотеці КПІ ім. Ігоря Сікорського та Методичному кабінеті кафедри ливарного виробництва. Додатково можна опрацьовувати літературу з інтернет джерел: <https://foundry.kpi.ua>; <http://bookash.pro>; <http://techlib.org/lite>.

Студенти можуть самостійно шукати матеріали за окремими питаннями дисципліни, що забезпечує розвиток здатності до пошукової та дослідницької діяльності, критичного аналізу інформації.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Назви змістовних модулів (розділів) і тем	Кількість годин				
	Всього	В тому числі			
		Лекції	Практ.	Лабор.	СРС
Вступ	2,6	2			0,6
Розділ 1. Механіка газів.	17,2	4	2	4	7,2
Розділ 2. Тепло- і масообмін.	21,2	4	2	6	9,2
Розділ 3. Матеріали для спорудження печей.	6,6	2		2	2,6
Розділ 4. Елементи печей.	2,6	2			0,6
Розділ 5. Теплогенерація за рахунок хімічної енергії палива та електроенергії.	6,6	2	2		2,6
Розділ 6. Основи теорії горіння та конструкції паливоспалювальних пристроїв.	14,6	2	4	2	6,6
Контрольна робота №1	2	1			1
Розділ 7. Теплообмін у робочому просторі.	10,6	2	2	2	4,6
Розділ 8. Технологія нагріву металу.	9,2	4	2		3,2
Розділ 9. Розрахунок та проектування печей	6,6	2	2		2,6
Розділ 10. Основи загальної теорії печей.	13,2	4	2	2	5,2
Розділ 11. Теорія сушіння та тепловий розрахунок сушарок.	2,6	2			0,6
Розділ 12. Конструкція металургійних печей та пристроїв.	2,6	2			0,6
Контрольна робота №2	2	1			1
Підготовка до екзамену	30				30
Всього годин	150	36	18	18	78

5.1 Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Лекція 1. Вступ. Мета і задачі дисципліни. Історичний огляд розвитку та сучасне становище металургійної теплотехніки в Україні і за її межами. Роль науки та вчених в підвищенні ефективності теплової роботи печей металургійного виробництва.
2.	Лекція 2. Загальні відомості із законів газового стану, які використовуються в металургійній теплотехніці. Властивості газів. Рівняння Ейлера, Нав'є-Стокса, теорія імпульсів. Сили, які діють в газах. Види тиску, вимірювання та розрахунок їх значення.. Рівняння Бернуллі. Зв'язок між натисками. <u>Дидактичний матеріал:</u> слайди.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
	<u>Завдання СРС: опрацювання лекції.</u>
3.	Лекція 3. Характер руху газів. Режим руху газових потоків. Вільний та обмежений струмінь газів. Опір руху газів в печах та способи їх розрахунку. Оптимальна швидкість руху потоку в повітряпроводах і газопроводах., мазутопроводах, димових каналах. Рух газів у робочому просторі печі. Рециркуляція газів. Природна та штучна тяга в печах. Димова труба. Вентилятори. Димососи. Способи регулювання тяги в печах. <u>Дидактичний матеріал: слайди.</u>
4.	Лекція 4. Види тепло- і масопередачі. Температурне поле. Градієнт температури та концентрації. Стаціонарні та нестаціонарні процеси. Коефіцієнти теплопровідності та концентрації. Теплопровідність тіл. Стаціонарна та нестаціонарна теплопровідність. Диференційне рівняння теплопровідності та крайові умови. <u>Дидактичний матеріал: слайди.</u> <u>Завдання СРС: опрацювання лекції</u>
5.	Лекція 5. Конвективний теплообмін та масообмін. Теплообмін випромінюванням. Випромінювання газів. Складний теплообмін. Нагрів «масивних» та «тонких» тіл. Нагрів тіл при граничних умовах 1, 2 та 3 роду. <u>Дидактичний матеріал: слайди.</u> <u>Завдання СРС: опрацювання лекції.</u>
6.	Лекція 6. Призначення вогнетривких матеріалів. Класифікація вогнетривких матеріалів та виробів. Властивості вогнетривких матеріалів. Технології виробництва, властивості та застосування вогнетривких матеріалів і виробів. Теплоізоляційні матеріали та вироби: класифікація, технологія виробництва, властивості та застосування. Вогнетривкі розчини та обмазки. Будівельні матеріали. Метали та сплави у якості будівельних матеріалів. <u>Дидактичний матеріал: слайди.</u> <u>Завдання СРС: опрацювання лекції, підготовка до написання контрольної роботи.</u>
7.	Лекція 7. Фундамент. Каркас. Футеровка печей. Пічні вікна, заслонки та механізми їх підіймання. Охолодження елементів печі. <u>Дидактичний матеріал: слайди.</u> <u>Завдання СРС: опрацювання лекції.</u>
8.	Лекція 8. Загальні уявлення про паливо. Загальні характеристики палива. Класифікація палива. Хімічний склад палива. Теплота згоряння палива. Температури горіння. Умове паливо. Характеристики твердого, рідкого, та газоподібного палива. Вибір палива для печей. Розрахунок горіння палива. Фізичні основи теплогенерації за рахунок електроенергії. <u>Дидактичний матеріал: слайди.</u> <u>Завдання СРС: опрацювання лекції</u>
9.	Лекція 9. Суть процесу горіння. Спалювання газоподібного палива. Класифікація, конструкції та розрахунок газових пальників. Спалювання рідкого палива. Класифікація, конструкції та розрахунок форсунок. Спалювання твердого палива. Топки. Пристрої для спалювання двох або трьох видів палива. <u>Завдання СРС: опрацювання лекції.</u>
10.	Лекція 10. Значення окремих видів теплопередачі та режимів нагріву і плавлення матеріалів в плавильних та електричних печах. Поняття про температуру печі. Зовнішній та внутрішній теплообмін у робочому просторі печі. Вплив висоти печі на інтенсивність теплообміну і теплову економічність роботи печі. <u>Дидактичний матеріал: слайди.</u> <u>Завдання СРС: опрацювання лекції.</u>

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
11.	Лекція 11. Загальні поняття про швидкість нагріву металу. Теорія нагріву металу. Вплив зовнішніх факторів на швидкість нагріву. Режими нагріву при термообробці. <u>Дидактичний матеріал:</u> слайди. <u>Завдання СРС:</u> опрацювання лекції.
12.	Лекція 12. Теплові процеси плавки металів та сплавів. <u>Дидактичний матеріал:</u> слайди. <u>Завдання СРС:</u> опрацювання лекції.
13.	Лекція 13. Основи розрахунку та проектування печей. Визначення основних розмірів робочого простору паливних печей. Визначення основних розмірів електричних печей. Визначення габаритних розмірів печей. <u>Дидактичний матеріал:</u> слайди. <u>Завдання СРС:</u> опрацювання лекції.
14.	Лекція 14. Тепловий та температурний режими роботи печей. Класифікація типових теплових режимів. <u>Дидактичний матеріал:</u> слайди. <u>Завдання СРС:</u> опрацювання лекції.
15.	Лекція 15. Складання теплового балансу металургійних печей. Теплова потужність паливної печі. Теплова потужність електричної печі. Основні показники роботи печей. <u>Дидактичний матеріал:</u> слайди. <u>Завдання СРС:</u> опрацювання лекції.
16.	Лекція 16. Поняття про форми зв'язку вологи з матеріалом. Вологість матеріалу. Основи теорії сушіння. Матеріальний баланс сушіння. Параметри сушільного агенту. Теплообмін та масообмін вологих матеріалів з навколишнім середовищем. Рух вологи в середині матеріалу. Методика теплового розрахунку сушарок при допомозі <i>i-d</i> діаграми. <u>Дидактичний матеріал:</u> слайди. <u>Завдання СРС:</u> опрацювання лекції.
17.	Лекція 17. Класифікація та конструкція плавильних печей. Міркування по вибору печей для заданого технологічного процесу. <u>Дидактичний матеріал:</u> слайди. <u>Завдання СРС:</u> опрацювання лекції.
18.	Лекція 18. Класифікація та конструкція нагрівальних печей. Міркування по вибору нагрівальних печей для заданого технологічного процесу. Класифікація та конструкція сушарок. <u>Дидактичний матеріал:</u> слайди. <u>Завдання СРС:</u> опрацювання лекції, підготовка до написання контрольної роботи.

5.2 Практичні заняття

З метою поглибленого засвоєння та подальшого використання набутих компетентностей та програмних результатів навчання при вивченні спеціальних дисциплін теоретичний матеріал з теплотехніки ливарного виробництва розглядається на практичних заняттях загальним обсягом 18 годин.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	<u>Заняття 1. Властивості робочого тіла. Обчислення тиску у системі при певній температурі суміші газів. Визначення кількості підведеної теплоти при нагріванні.</u>
2	<u>Заняття 2. . Теплообмін. Конвективний теплообмін. Теплообмін випромінюванням. Теорія нагріву металу. Теплопровідність. Температурне поле. Рівняння теплопровідності.</u>

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
3	<u>Заняття 3. Режими нагріву виливок та деталей при термообробці. Комбіновані режими нагріву.</u>
4	<u>Заняття 4. Паливо. Горіння. Паливо та його характеристики. Розрахунок горіння палива.</u>
5	<u>Заняття 5. Статика димової труби. Розрахунок димаря.</u>
6	<u>Заняття 6. Час підігріву твердої шихти. Розрахунок часу підігріву твердої шихти в мартенівської печі.</u>
7	<u>Заняття 7. Паливо-спалюючі пристрої. Визначення швидкості витікання природного газу з пальника мартенівської печі.</u>
8	<u>Заняття 8. Визначення теплових втрат електросталеплавильної печі. Визначення теплових втрат електросталеплавильної печі в навколишнє середовище.</u>
9	<u>Заняття 9. Плавлення тіл. Визначення часу повного розплавлення тіла.</u>

5.3 Лабораторні роботи.

Метою лабораторних робіт є закріплення знань та набуття умінь і навичок в проведенні високотемпературного експерименту. Роботи виконуються в лабораторії кафедри на спеціальних установках. Отримані експериментальні дані, розрахунки та висновки оформлюються у вигляді звіту. Загальний обсяг лабораторних робіт складає 18 годин.

№ з/п	Назва теми заняття та перелік основних питань
1	<u>Лабораторна робота №1. Витрати енергії газу при його русі в газопроводі.</u>
2	<u>Лабораторна робота №2. Робота струменевого приладу – ежектора.</u>
3	<u>Лабораторна робота №3. Визначення коефіцієнта тепловіддачі від тіла, що охолоджується.</u>
4	<u>Лабораторна робота №4. Нагрівання та охолодження теплотехнічно «тонких» тіл.</u>
5	<u>Лабораторна робота №5. Нагрівання та охолодження теплотехнічно «масивних» тіл.</u>
6	<u>Лабораторна робота №6. Визначення пористості вогнетривів.</u>
7	<u>Лабораторна робота №7. Визначення теплоти згоряння газоподібного палива.</u>
8	<u>Лабораторна робота №8. Дослідження теплообміну у робочому просторі камерної електропечі опору.</u>
9	<u>Лабораторна робота №9. Тепловий баланс камерної електропечі опору.</u>

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студента у обсязі 78 годин полягає у підготовці до лекційних, практичних та лабораторних занять шляхом опрацювання рекомендованої літератури і підготовці відповідей на контрольні запитання для кожного виду занять. Самостійне опрацювання студентами окремих розділів теоретичного матеріалу не передбачено.

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
Розділ 1. Механіка газів.		
1.	Загальні відомості із законів газового стану, які використовуються в металургійній теплотехніці. Властивості газів. Рівняння Ейлера, Нав'є-Стокса, теорія імпульсів. Сили, які діють в газах. Види тиску, вимірювання та розрахунок їх значення.. Рівняння Бернуллі. Зв'язок між натисками. Засвоїти: Рух газів в печах і їх елементах.	7,2
Розділ 2. Тепло- і масообмін.		
2.	Види тепло- та масопередачі. Теплопровідність. Засвоїти: - Розрахунок коефіцієнтів теплопровідності. Проаналізувати: - Диференційне рівняння теплопровідності.	9,2
Розділ 3. Матеріали для спорудження печей.		
3.	Класифікація, технологія виробництва та властивості вогнетривких та теплоізоляційних матеріалів. Засвоїти: - Методи визначення властивостей вогнетривких матеріалів. - Призначення вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів та виробів. - Використання вогнетривких розчинів та обмазок у футеровці печі. Проаналізувати: - Роботу вогнетривких виробів в паливних та електричних печах.	2,6
Розділ 4. Елементи печей.		
4.	Фундамент. Каркас. Футеровка печей. Пічні вікна, заслонки та механізми їх підймання. Охолодження елементів печі. Засвоїти: - Призначення та конструкцію окремих елементів печей.	0,6
Розділ 5. Теплогенерація за рахунок хімічної енергії палива та електроенергії.		
5.	Загальні характеристики палива. Хімічний склад палива. Класифікація палива. Теплота згоряння палива. Засвоїти: - Розрахунок теплоти згорання палива. - Визначення температур горіння. - Склад газоподібного рідкого та твердого палива. Проаналізувати: - Вибір палива для печей. - Розрахунок горіння палива. - Визначення ролі умовного палива в печах. Розглянути: - Спалювання твердого палива в шахтних печах.	2,6
Розділ 6. Основи теорії горіння та конструкції паливоспалювальних пристроїв.		
6.	Класифікація, конструкції та розрахунок газових пальників, форсунок і топок. Розглянути: - Класифікацію конструкції та розрахунок пальників, форсунок.	6,6
Контрольна (модульна) робота за розділами 1-6		1

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
Розділ 7. Теплообмін у робочому просторі.		
7.	Конвективний теплообмін. Теплообмін випромінюванням. Складний теплообмін. Засвоїти: - Крайові умови нагріву тіл. Проаналізувати: - Випромінювання твердих тіл. - Випромінювання газового середовища. - Вільну конвекцію при охолодженні тіл. Розглянути: - Нагрів масивних тіл. - Нагрів тонких тіл.	4,6
Розділ 8. Технологія нагріву металу.		
8.	Теорія нагріву металу. Режимы нагріву виливок та деталей при термообробці. Засвоїти: - Розрахунок швидкості нагріву металу. - Розрахунок часу нагріву масивних та тонких тіл. Проаналізувати: - Вплив зовнішніх факторів на швидкість нагріву тіл. - Вибір режиму нагріву тіл в залежності від їх розмірів Розглянути: - Вплив зовнішніх факторів на швидкість нагріву тіл. - Вплив газового середовища печі на режим нагріву тіла.	3,2
Розділ 9. Розрахунок та проектування печей		
9.	Основи розрахунку та проектування печей. Визначення основних розмірів робочого простору паливних печей. Визначення основних розмірів електричних печей. Визначення габаритних розмірів печей. Засвоїти: - Методику розрахунку робочого простору нагрівальних та плавильних печей.	2,6
Розділ 10. Основи загальної теорії печей.		
10.	Тепловий та температурний режимы роботи печей. Складання теплового балансу печей. Теплова потужність паливних та електричних печей. Основні показники роботи. Засвоїти: - Методику розрахунку теплового балансу паливних та електричних печей. - Визначення теплової потужності печей. Проаналізувати: - Тепловий режим та основні показники роботи паливних та електричних печей. Розглянути: - Вплив теплообмінників на показники роботи паливної печі.	5,2
Розділ 11. Теорія сушіння та тепловий розрахунок сушарок.		
11.	Основи теорії сушіння. Тепло- та масообмін вологих матеріалів з навколишнім середовищем. Методика теплового розрахунку сушарок при допомозі i-d діаграми. Засвоїти: - Параметри сушильного агента. - Форми зв'язку вологи з матеріалом. - Рух вологи всередині матеріалу. - Основи технології сушіння. Проаналізувати: - Матеріальний баланс сушіння. Розглянути: - Вплив сушильного агента на теплообмін та масообмін вологих матеріалів. - Побудову процесу теоретичного та дійсного сушіння матеріалу.	0,6

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
Розділ 12. Конструкція металургійних печей та пристроїв.		
12.	Класифікація, будова та принцип роботи металургійних печей та пристроїв. Засвоїти: - Конструкції і принцип дії сушарок, термічних та плавильних печей. - Розрахунок печей. Проаналізувати: - Техніко-економічні показники роботи печей. Розглянути: - Вибір конструкції печі для заданого технологічного процесу.	0,6
Контрольна (модульна) робота за розділами 7-12.		1
13.	Екзамен Питання до розгляду: Головні теми розділів освітнього компоненту, які були засвоєні теоретично під час лекцій та опановані під час практичних занять та лабораторних занять.	30

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Правила відвідування занять

Вивчення навчальної дисципліни відбувається згідно графіку навчального процесу. Відвідування всіх видів занять рекомендовано для успішного засвоєння навчальних матеріалів.

Для студентів, які беруть на себе відповідальність за організацію і планування свого часу для навчання, є можливість опановувати дисципліну у змішаному режимі: ознайомлення з теоретичним матеріалом лекцій і розв'язування практичних завдань – самостійно, за необхідності проведення консультацій викладачем згідно графіку консультацій і відведеного на них часу, у відповідності до педагогічного навантаження викладача. Відпрацювання та захист лабораторних робіт здійснюється виключно очно, у відповідності до розкладу занять. Студент, що не захистив попередню лабораторну роботу не допускається до відпрацювання наступної.

Правила поведінки на заняттях.

Правила поведінки на заняттях регламентуються етичними нормами: всі учасники освітнього процесу в університеті повинні дотримуватись вимог чинного законодавства України, Статуту і Правил внутрішнього розпорядку НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», загальноприйнятих моральних принципів, підтримувати атмосферу доброзичливості, відповідальності, порядності й толерантності, дбайливо ставитися до університетського майна. Під час аудиторних занять студенти повинні дотримуватись діючих правил охорони праці, безпеки життєдіяльності і правил пожежної безпеки, а у разі навчання за дистанційною формою виконувати вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я під час роботи з екранними пристроями.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів

Студенти зобов'язані дотримуватися термінів виконання усіх видів робіт, передбачених курсом. Порушення термінів виконання певного виду робіт враховується згідно рейтингової системи оцінювання.

Політика дедлайнів та перескладань

Пропущені контрольні заходи та/або завдання, які виконані студентом із незадовільною оцінкою, можуть додатково складатися для виконання та/або отримання задовільної оцінки (для підвищення оцінки) під час навчання до завершення термінів графіку освітнього процесу.

В разі порушення термінів і невиконання завдання з неповажних причин, студент не допускається до складання екзамену в основну сесію.

Політика щодо академічної доброчесності докладно описана у Кодексі Честі КПІ ім. Ігоря

Сікорського (<https://kpi.ua/code>) і передбачає повну відповідальність студента за те, що всі виконані ним завдання відповідають принципам академічної доброчесності.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

з кредитного модуля (дисципліни): Теплотехніка ливарного виробництва

для спеціальності: 136 Металургія

інституту: матеріалознавства та зварювання імені Є. О. Патона

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин				Контрольні заходи	
	кредити	академічних годин	Лекції	Практика	Лаб. заняття	СРС	МКР	Семестрова атестація
5	4,5	135	36	18	18	78	1	екзамен

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує на:

- письмове питання, що кожен студент отримує у кінці кожного практичного заняття (час відповіді 15 хвилин);
- виконання та захист 9 лабораторних робіт;
- двох контрольних робіт (на базі 1 МКР)¹;
- відповідь на іспиті.

Система рейтингових (вагових) балів та критерії оцінювання

1. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів на всіх практичних заняттях дорівнює $2 \cdot 9 = 18$ балів (1 бал - відповідь на питання, 0 балів - відсутність відповіді на питання)

2. Лабораторні роботи

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів за всі лабораторні роботи дорівнює $2 \cdot 9 = 18$ бали. Бали нараховується за повністю оформлену та вчасно здану лабораторну роботу. У іншому випадку нараховуються штрафні бали.

3. Модульний контроль

¹ див. додаток А

Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота поділена на 2 частини.

Модульна контрольна робота. Частина 1.

Проводиться на лекційному занятті безпосередньо перед початком першої атестації весняного семестру.

Ваговий бал 7. Максимальна кількість балів за МКР. Ч.1 складає 7 балів. МКР. Ч.1 складається з 3 питань (2 теоретичних та 1 практичного). Теоретичні питання максимально оцінюються по 2 бал кожне. Практичне оцінюється у 3 бали. Перелік питань наведено у додатку А.

Модульна контрольна робота. Частина 2.

Проводиться на лекційному занятті безпосередньо перед початком другої атестації весняного семестру.

Ваговий бал 7. Максимальна кількість балів за МКР. Ч.2 складає 7 балів. МКР. Ч.2 складається з 3 питань (2 теоретичних та 1 практичного). Теоретичні питання максимально оцінюються по 2 бал кожне. Практичне оцінюється у 3 бали. Перелік питань наведено у додатку А.

Система оцінювання питань МКР. Ч.1 та МКР. Ч.2 наступна:

Критерії оцінювання теоретичних питань	Бали
правильна відповідь, можливо з несуттєвими зауваженнями, повнота відповіді більша 90%	2
є принципові зауваження, але можна вважати що суть питання розкрито, повнота відповіді не менша 60%	1
суть питання не розкрито та/або повнота відповіді менша 60%	0

Критерії оцінювання практичного питання	Бали
правильно розраховане завдання	3
правильна методика розрахунків але є помилки у розрахунковій частині	2
є помилки к методиці розрахунків	1
відсутність розрахунку	0

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$R_c=18+18+14=50 \text{ балів}$$

Умовою допуску до екзамену є виконання всіх практичних робіт, виконання та захист усіх лабораторних робіт, здані 2 частини МКР та сумарний семестровий рейтинг від 30 балів.

На іспиті студенти виконують письмову контрольну роботу. Кожне завдання містить чотири теоретичних і одне практичне питання. Перелік питань наведено у додатку Б. Кожне питання оцінюється у 10 балів.

Система оцінювання питань:

- «відмінно» - повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 10 балів;

- «дуже добре» - повне розв'язування завдання з несуттєвими неточностями (Відповідь має містити не менше 85% потрібної інформації, або незначні неточності) – 9 балів;
- «добре» - достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації) – 8 балів;
- «задовільно» - неповна відповідь (не менше 65% потрібної інформації та деякі помилки) – 7 балів;
- «достатньо» - завдання виконано зі значними недоліками (методика правильна але розрахунок має грубі помилки. Окрім того відповідь має містити не менше 60% потрібної інформації) – 6 балів;
- «незадовільно» - загалом неправильна відповідь, або її відсутність – 0 балів.

Сума стартових балів і балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до іспитової оцінки згідно з таблицею:

Рейтингова оцінка здобувача (бали) $R_D = R_C + R_E$	Універсальна шкала оцінок рівня здобутих компетентностей (результатів навчання)
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- Результати навчання за даною дисципліною здобуті у неформальній/інформальній освіті, зокрема із використанням відкритих навчальних он-лайн курсів (Prometeus, Coursera тощо), визнаються за умови одержання відповідних сертифікатів. При цьому може бути перезарахований як освітній компонент повністю, так і його окремі складові (змістовні модулі, окремі теми, окремі практичні заняття). Можливість перезарахування (відповідність змісту дисципліни) та обсяг навчальних годин визначається викладачем для кожного конкретного випадку і здійснюється за процедурою, яка відповідає «Положенню про визнання в КПІ ім. Ігоря Сікорського результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті».
- Студенти можуть отримати 10 балів за сертифікати проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено: кандидат технічних наук, асистент, Іванченко Дмитро Вікторович

Ухвалено кафедрою ливарного виробництва (протокол № 9 від 24.06.2026 р.)

Погоджено Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 8/26 від 25.06 2026 р.)

Перелік питань модульної контрольної роботи.

Проводиться у вигляді двох одногодинних контрольних робіт перед 1 та 2 атестаціями.

1. Визначити загальні характеристики металургійного палива.
2. Проаналізувати зовнішній теплообмін у робочому просторі печі.
3. Визначити розміри робочого простору паливної штовхальної прохідної печі та дати оцінку техніко-економічним показникам її роботи.
4. Обґрунтувати вибір інжекційних пальників для спалювання газоподібного палива.
5. Визначити спосіб регулювання руху пічної атмосфери в робочому просторі електропечі опору.
6. Проаналізувати теплову роботу паливної конвеєрної печі.
7. Визначити фізичний зміст умовного палива.
8. Проаналізувати внутрішній теплообмін у робочому просторі печі.
9. Визначити розміри робочого простору паливної камерної печі з стаціонарним подом та дати оцінку техніко-економічним показникам її роботи.
10. Проаналізувати властивості природного газоподібного палива.
11. Визначити вплив зовнішніх факторів на швидкість нагріву металу.
12. Проаналізувати теплову роботу тигельної електропечі опору для плавки алюмінієвих сплавів.
13. Визначити область застосування шамотних вогнетривів у металургії.
14. Проаналізувати нагрів металу при граничних умовах.
15. Визначити розміри робочого простору прохідної штовхальної електропечі опору та дати оцінку техніко-економічним показникам її роботи.
16. Визначити практичну кількість повітря для спалення газоподібного палива.
17. Визначити особливості теплообміну випромінюванням у паливних печах.
18. Проаналізувати теплову роботу дугової сталеплавильної печі.
19. Визначити область застосування диносових вогнетривів в металургії.
20. Визначити значення конвекційного теплообміну при нагріві металу в печах.
21. Визначити розміри робочого простору паливної камерної печі з висувним візком та дати оцінку техніко-економічним показникам її роботи.
22. Проаналізувати властивості твердого палива.
23. Визначити фізичний зміст критерію ВІО.
24. Обґрунтувати вибір плоскополум'яних пальників для спалювання природного газоподібного палива.
25. Проаналізувати стаціонарну теплопровідність.
26. Визначити розміри робочого простору конвеєрної електропечі опору та дати оцінку техніко-економічним показникам її роботи.
27. Визначити область застосування вуглецевих вогнетривів у металургії.
28. Проаналізувати штучну тягу в печах.
29. Проаналізувати теплову роботу паливної прохідної штовхальної печі.
30. Проаналізувати властивості рідкого палива.
31. Визначити фізичний зміст критерію Фур'є.
32. Проаналізувати теплову роботу камерної електропечі опору з стаціонарним подом.
33. Визначити область застосування вогнетривких бетонів.
34. Визначити особливості теплообміну випромінюванням в електропечах опору.
35. Визначити розміри робочого простору паливної шахтної печі та дати оцінку техніко-економічним показникам її роботи.
36. Обґрунтувати вибір форсунок для спалювання рідкого палива в залежності від типу печі.
37. Проаналізувати нестаціонарну теплопровідність.

38. Визначити склад димових газів при спалюванні газоподібного палива.
39. Дати оцінку опору руху газів в печах.
40. Проаналізувати теплову роботу шахтної електропечі опору.
41. Визначити область застосування штучних теплоізоляційних вогнетривких матеріалів.
42. Проаналізувати нагрів металу при граничних умовах 2-го роду.
43. Проаналізувати теплову роботу паливної камерної печі з висувним візком.
44. Визначити область застосування магнезитових вогнетривів в металургії.
45. Визначити теплоту спалювання газоподібного палива.
46. Проаналізувати теплову роботу паливної камерної печі з стаціонарним подом.
47. Визначити характер руху газів в робочому просторі паливної печі.
48. Проаналізувати нагрів металу при граничних умовах 3-го роду.
49. Проаналізувати теплову роботу паливної шахтної печі.
50. Визначити склад вогнетривких розчинів для футеровки печі шамотними вогнетривами.
51. Проаналізувати роботу димової труби.
52. Визначити тепловий режим нагріву відливок в конвеєрній паливній печі.
53. Визначити склад димових газів при спалюванні рідкого палива.
54. Визначити значення вільної конвекції при охолодженні відливок.
55. Визначити розміри робочого простору камерної електропечі опору та дати оцінку техніко-економічним показникам її роботи.
56. Проаналізувати спалювання газоподібного палива в печах.
57. Проаналізувати витрати тепла через футерівку печі.
58. Визначити область застосування хромомагнезитових вогнетривів у металургії.
59. Обґрунтувати вибір турбулентних пальників для спалювання газоподібного палива у печах.
60. Проаналізувати теплову роботу індукційної тигельної печі.
61. Визначити область застосування відцентрових вентиляторів.
62. Обґрунтувати вибір режиму нагріву металу.
63. Проаналізувати теплову роботу паливної тигельної печі для плавки алюмінієвих сплавів.
64. Визначити область застосування магнезитохромітових вогнетривів у металургії.
65. Визначити вплив пічної атмосфери на теплообмін випромінюванням в паливних печах.
66. Проаналізувати теплову роботу індукційної каналної печі.
67. Проаналізувати спалювання рідкого палива в металургійних печах.
68. Визначити умови переносу теплоти у робочому просторі печі.
69. Проаналізувати газифікацію твердого палива.
70. Визначити вплив висоти робочого простору на інтенсивність теплообміну.
71. Визначити тепловий потік через бетонну стіну будівлі товщиною 200 мм, висотою 2,5 м і довжиною 2 м, якщо температури на її поверхнях $t_{cm1} = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{cm2} = -10^{\circ}\text{C}$, а коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.
72. Визначити коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки завтовшки 50 мм, якщо щільність теплового потоку через неї $100 \text{ Вт}/\text{м}^2$, а різниця температур на поверхнях $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$.
73. Обчислити втрати теплоти через одиницю поверхні цегляної обмурівки парового котла в зоні розміщення водяного економайзера, якщо товщина стінки $\delta = 250 \text{ мм}$, температура газів $t_{p1} = 700^{\circ}\text{C}$ і повітря в котельні $t_{p2} = 30^{\circ}\text{C}$. Коефіцієнт тепловіддачі від газів до поверхні стінки $\alpha_1 = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ і від стінки до повітря $\alpha_2 = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$. Коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$.
74. Піч парового котла виконана зі сталі, а всередині облицьована кремнеземовою цеглою. Яка температура зовнішньої стінки печі, якщо щільність теплового потоку через стіну $q = 1,38 \text{ кВт}/\text{м}^2$, а цегла з боку полум'я нагрівається до $t_{cm1} = 950^{\circ}\text{C}$. Візьмемо для цегляної стіни $\delta_1 = 150 \text{ мм}$ і $\lambda_1 = 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, для сталеві стіни $\delta_2 = 20 \text{ мм}$ $\lambda_2 = 18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

75. Визначити теоретичний і дійсний об'єми збагаченого повітря, об'єм і склад продуктів згоряння при спалюванні доменного газу у повітронагрівачі доменної печі. Склад газу %: $H_2=4$; $CO=29,3$; $CH_4=0,6$; $CO_2=9,1$; $N_2=52,1$; $H_2O=4,9$. Вміст кисню в збагаченому повітрі $O_2^B = 24\%$ коефіцієнт витрати повітря $\alpha = 1,08$. Повітря допускається вважати сухим.
76. Визначте теплові втрати через футерівку металургійної печі, що складається з шарів:

- хромомagneзит $\delta_1=200$ мм, $\lambda_1=2,1$ Вт/(м·К);
- шамот $\delta_2=200$ мм, $\lambda_2=1,02$ Вт/(м·К);
- піношамот $\delta_3=130$ мм, $\lambda_3=0,12$ Вт/(м·К).

Площа поверхні футерівки $F=230$ м². Коефіцієнти тепловіддачі на гарячій поверхні футерівки $\alpha_1=170$ Вт/(м²·К) на холодній поверхні $\alpha_2=17$ Вт/(м²·К). Температура робочого простору печі $t_{cp,1}=1410$ °С, зовнішнього середовища $t_{cp,2}=25$ °С. Визначте також температури на поверхнях футерування і на стиках шарів.

77. Суміш метану та азоту, що знаходиться в балоні автогазозаправника, має масовий склад $g_{CH_4}=0,8$ і $g_{N_2}=0,2$. Об'єм балона 500 літрів. При температурі газової суміші $t=12$ °С тиск в балоні дорівнює 250 бар. Обчислити тиск в балоні, якщо суміш газів нагрілася до $t_2=23$ °С. Визначити кількість підведеної теплоти при нагріванні.

78. Покришка автомобіля закачується з ресивера компресора повітрям до абсолютного тиску 3,6 бар. Об'єм покришки 20 літрів, внутрішній діаметр штуцера для подачі повітря 3 мм. Тиск повітря в ресивері 1,4 МПа, температура 18 °С. Визначити час закачування покришки, прийнявши середню температуру повітря в ній 28 °С.

79. Визначте швидкість витікання ($\varphi=0,96$) природного газу з пальника мартенівської печі і вихідний діаметр газового сопла пальника для умов:

- тиск газу перед пальником $p_H=465$ мм. в. ст. ;
- температура газу $t_T=145$ °С ;
- тиск в робочій камері печі $p_K=35$ Па ;
- витрата газу $V_{г.0}=4600 \frac{м^3}{год.}$;
- склад газу $CH_4=92\%$; $C_3H_8=4\%$; $N_2=4\%$
- атмосферні умови $B=745$ мм. рт. ст.

80. Визначити необхідний тиск повітря на виході з вентилятора p_H , що подає повітря до пальника металургійної печі через систему, яка складається з холодного повітропроводу діаметром $D_1=480$ мм і довжиною $l_1=4$ м, повітропідігрівача (рекуператора) з коефіцієнтом опору $k_{рек}=3,1$ (віднести до динамічного тиску в холодному повітропроводі), гарячого повітропроводу довжиною $l_2=11$ м з двома плавними поворотами на 90°. Тиск повітря перед пальником $p_K=355$ мм. в. ст., температура холодного повітря $t_1=12$ °С, гарячого $t_2=360$ °С, швидкість повітря (н.ф.у.) в холодному повітропроводі $w_{1.0}=18$ м/с, в гарячому $w_{2.0}=9$ м/с. Скласти схему системи. Розрахувати витрату повітря.

81. Провести розрахунок часу плавлення за такими параметрами:

- плавиться пластина, $\delta=200$ мм;
- підведення тепла – одностороннє;
- температура плавлення $t_{пл}=1540$ °С;
- початкова температура тіла $t_{mv}=1120$ °С;
- теплота плавлення – 270 кДж/кг;
- температуропровідність – $8 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Розрахувати час розплавлення для

$$\xi = 0,25 \cdot \delta; 0,5 \cdot \delta; 0,75 \cdot \delta; 1,0 \cdot \delta$$

82. Визначити орієнтовні розміри димової труби мартенівської печі для умов: газодинамічний опір печі $\Delta p_1=29$ мм.в.ст.; котла утилізатора $\Delta p_2=15$ мм.в.ст.;

електрофільтру $\Delta p_3 = 16$ мм.в.ст.; температура диму перед димарем $t_d = 380$ °C; температура атмосферного повітря влітку $t_{л} = 35$ °C взимку $t_3 = -15$ °C; атмосферний тиск $B=750$ мм. рт. ст.; склад димових газів $CO_2=8\%$; $H_2O=15\%$; $O_2=6\%$; $N_2=71\%$. Витрата газів $V_0 = 150000$ м³/год., швидкість в гирлі $w_y = 5$ м/с. Визначити також, яким повинен бути опір димового шибера у зимовий час.

83. Визначити тепловий потік через бетонну стіну будівлі товщиною 200 мм, висотою 2,5 м і довжиною 2 м, якщо температури на її поверхнях $t_{cm1} = 20$ °C, $t_{cm2} = -10$ °C, а коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 1$ Вт/(м·K).

84. Розподіл температури по товщині плоскої стінки з $\lambda = 2$ Вт/(м·K) має вигляд $t_x = 100 + 150 \cdot x$, де температура t виражена в градусах Цельсія, а координата x - в метрах і вимірюється від однієї поверхні стінки. Знайти щільність теплового потоку через стінку. Намалювати розподіл температур в стінці завтовшки $\delta = 20$ см. В який бік спрямований тепловий потік?

85. Визначити орієнтовні розміри димової труби мартенівської печі для умов: газодинамічний опір печі $\Delta p_1 = 27$ мм.в.ст.; котла утилізатора $\Delta p_2 = 18$ мм.в.ст.; електрофільтру $\Delta p_3 = 17$ мм.в.ст.; температура диму перед димарем $t_d = 420$ °C; температура атмосферного повітря влітку $t_{л} = 25$ °C взимку $t_3 = -5$ °C; атмосферний тиск $B=755$ мм. рт. ст.; склад димових газів $CO_2=9\%$; $H_2O=17\%$; $O_2=3\%$; $N_2=71\%$. Витрата газів $V_0 = 155000$ м³/год., швидкість в гирлі $w_y = 5$ м/с.

Перелік питань екзаменаційної контрольної роботи

1. Механіка газу. Формули втрат тиску на тертя. Розрахунок витрати повітря.
2. Теплообмін. Конвективний теплообмін.
3. Класифікації вогнетривів.
4. Основні переваги електротермічних методів нагрівання. Теплогенерація в робочому тілі при прикладенні до нього різниці потенціалів.
5. Класифікація палива. Хімічний склад палива.
6. Теплообмін. Теплообмін випромінюванням.
7. Алюмосилікатні вогнетривкі матеріали.
8. Електрична дуга. Схема та розподіл напруги дуги, опис схеми.
9. Теплота згоряння палива. Розрахунок горіння палива.
10. Теплопередача через плоску стінку.
11. Області застосування вогнетривів.
12. Потік плазми. Області розподілу температур у відкритій та стислій дугах.
13. Паливо-спалюючі пристрої. Кінетичні пальники.
14. Теплопередача через циліндричну стінку.
15. Кремнеземисті вогнетривкі матеріали.
16. Вплив механічних домішок на роботу вентилятора.
17. Конструкція і робота пальників.
18. Інтенсифікація теплопередачі.
19. Робочі властивості вогнетривів.
20. Печі для виробництва сталі. Кисневий конвертор.
21. Дифузійні пальники. Двопровідні пальники.
22. Теплова ізоляція.
23. Магnezіальні і хромисті вогнетриви.
24. Печі для виробництва сталі. Дугові сталеплавильні печі (ДСП)
25. Методика розрахунку діаметра газового сопла пальника.
26. Теплопровідність. Температурне поле. Рівняння теплопровідності.
27. Фізичні властивості вогнетривів.
28. Печі для виробництва сталі. Піч-ківш.
29. Методика розрахунку плавлення тіл по критеріальним графікам.
30. Стаціонарна теплопровідність через плоску стінку.
31. Легковагові вогнетривкі вироби.
32. Конструкція сталерозливного ковша ємністю 90 тон та схеми футерування. Опис схеми.
33. Димова труба. Методика розрахунку розміру димової труби.
34. Стаціонарна теплопровідність через циліндричну стінку.
35. Призначення і класифікація теплоізоляційних матеріалів.
36. Окислювання і зневуглицювання сталі. Основні хімічні реакції процесу.
37. Властивості робочого тіла.
38. Стаціонарна теплопровідність через кульову стінку.
39. Вуглецеві і цирконисті вогнетриви.
40. Основні характеристики нагріву.
41. Методика визначення кількості підведеної теплоти при нагріванні.
42. Комбіновані режими нагріву. Вісім етапів розрахунку.
43. Високоглиноземисті вогнетривкі вироби.
44. Технологія нагрівання сталі.
45. Суміш пропану та азоту, що знаходиться в балоні автогазозаправника, має масовий склад $g_{C_3H_8} = 0,85$ і $g_{N_2} = 0,15$. Об'єм балона 300 літрів. При температурі газової суміші $t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ тиск в балоні дорівнює 220 бар. Обчислити тиск в балоні, якщо суміш газів нагрілася до $t_2 = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Визначити кількість підведеної теплоти при нагріванні.

46. Суміш метану та азоту, що знаходиться в балоні автогазозаправника, має масовий склад $g_{CH_4} = 0,8$ і $g_{N_2} = 0,2$. Об'єм балона 250 літрів. При температурі газової суміші $t = 8^\circ C$ тиск в балоні дорівнює 210 бар. Обчислити тиск в балоні, якщо суміш газів нагрілася до $t_2 = 27^\circ C$. Визначити кількість підведеної теплоти при нагріванні.
47. Визначити орієнтовні розміри димової труби мартенівської печі для умов: газодинамічний опір печі $\Delta p_1 = 26$ мм.в.ст.; котла утилізатора $\Delta p_2 = 16$ мм.в.ст.; електрофільтру $\Delta p_3 = 15$ мм.в.ст.; температура диму перед димарем $t_d = 350^\circ C$; температура атмосферного повітря влітку $t_{л} = 35^\circ C$ взимку $t_3 = -10^\circ C$; атмосферний тиск $B=742$ мм. рт. ст.; склад димових газів $CO_2=9\%$; $H_2O=16\%$; $O_2=5\%$; $N_2=70\%$. Витрата газів $V_0 = 155000$ м³/год., швидкість в гирлі $w_y = 5$ м/с. Визначити також, яким повинен бути опір димового шиберу у зимовий час.
48. Розрахувати час плавлення пластини:
 плавиться пластина, $\delta = 200$ мм;
 підведення тепла – одностороннє;
 температура плавлення $t_{пл} = 1490^\circ C$;
 початкова температура тіла $t_{тв} = 1145^\circ C$;
 теплота плавлення – 260 кДж/кг;
 температуропровідність – $7,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с.
 Розрахувати час розплавлення для $\xi = 0,25 \cdot \delta$; $0,6 \cdot \delta$; $0,8 \cdot \delta$; $1,0 \cdot \delta$.
49. Визначити необхідний тиск повітря на виході з вентилятора p_H , що подає повітря до пальника металургійної печі через систему, яка складається з холодного повітропроводу діаметром $D_1 = 400$ мм і довжиною $l_1 = 4$ м, повітропідігрівача (рекуператора) з коефіцієнтом опору $k_{рек} = 3,1$ (віднести до динамічного тиску в холодному повітропроводі), гарячого повітропроводу довжиною $l_2 = 12$ м з двома плавними поворотами на 90° . Тиск повітря перед пальником $p_K = 355$ мм. в. ст., температура холодного повітря $t_1 = 7^\circ C$, гарячого $t_2 = 340^\circ C$, швидкість повітря (н.ф.у.) в холодному повітропроводі $w_{1,0} = 20$ м/с, в гарячому $w_{2,0} = 10$ м/с. Скласти схему системи. Розрахувати витрату повітря.
50. Визначте швидкість витікання ($\varphi = 0,96$) природного газу з пальника мартенівської печі і вихідний діаметр газового сопла пальника для умов:
 тиск газу перед пальником $p_H = 465$ мм. в. ст. ;
 температура газу $t_r = 145^\circ C$;
 тиск в робочій камері печі $p_K = 35$ Па ;
 витрата газу $V_{г.0} = 4600 \frac{м^3}{год.}$;
 склад газу $CH_4=92\%$; $C_3H_8=4\%$; $N_2=4\%$;
 атмосферні умови $B=745$ мм. рт. ст.
51. Визначити необхідний тиск повітря на виході з вентилятора p_H , що подає повітря до пальника металургійної печі через систему, яка складається з холодного повітропроводу діаметром $D_1 = 450$ мм і довжиною $l_1 = 6$ м, повітропідігрівача (рекуператора) з коефіцієнтом опору $k_{рек} = 3,1$ (віднести до динамічного тиску в холодному повітропроводі), гарячого повітропроводу довжиною $l_2 = 12$ м з двома плавними поворотами на 90° . Тиск повітря перед пальником $p_K = 370$ мм. в. ст., температура холодного повітря $t_1 = 10^\circ C$, гарячого $t_2 = 320^\circ C$, швидкість повітря (н.ф.у.) в холодному повітропроводі $w_{1,0} = 19$ м/с, в гарячому $w_{2,0} = 10$ м/с. Скласти схему системи. Розрахувати витрату повітря.
52. Визначити теоретичний і дійсний об'єми збагаченого повітря, об'єм і склад продуктів згоряння при спалюванні доменного газу у повітронагрівачі доменної печі. Склад газу %: $H_2=3$; $CO=26,5$; $CH_4=0,5$; $CO_2=10,1$; $N_2=56,2$; $H_2O=3,7$. Вміст кисню в збагаченому повітрі $O_2^B = 26\%$ коефіцієнт витрати повітря $\alpha = 1,07$. Повітря допускається вважати сухим.

53. Визначте теплові втрати електросталеплавильної печі в навколишнє середовище, якщо температура кожуха $t_k = 60^\circ\text{C}$, навколишнього середовища $t_{cp} = 20^\circ\text{C}$, ступінь чорноти поверхні кожуха $\varepsilon_k = 0,87$, площа зовнішньої поверхні кожуха $F_k = 300 \text{ м}^2$. Як зміняться втрати, якщо температура поверхні вдасться знизити за рахунок ізоляції до 40°C (норма безпеки). Розрахуйте також річний економічний ефект при ціні електроенергії 130 коп. за 1 кВт·год. Час роботи електropечі – 6000 годин на рік.
54. Визначити теоретичний і дійсний об'єми збагаченого повітря, об'єм і склад продуктів згоряння при спалюванні доменного газу у повітронагрівачі доменної печі. Склад газу %: $\text{H}_2=2$; $\text{CO}=30,5$; $\text{CH}_4=0,4$; $\text{CO}_2=9,6$; $\text{N}_2=53,2$; $\text{H}_2\text{O}=4,3$. Вміст кисню в збагаченому повітрі $\text{O}_2^B = 27\%$ коефіцієнт витрати повітря $\alpha = 1,08$. Повітря допускається вважати сухим.
55. Визначте теплові втрати електросталеплавильної печі в навколишнє середовище, якщо температура кожуха $t_k = 60^\circ\text{C}$, навколишнього середовища $t_{cp} = 16^\circ\text{C}$, ступінь чорноти поверхні кожуха $\varepsilon_k = 0,86$, площа зовнішньої поверхні кожуха $F_k = 300 \text{ м}^2$. Як зміняться втрати, якщо температура поверхні вдасться знизити за рахунок ізоляції до 40°C (норма безпеки). Розрахуйте також річний економічний ефект при ціні електроенергії 169 коп. за кВт·год. Час роботи електropечі – 6200 годин на рік.