



Комбіноване виробництво енергії

робоча програма навчальної дисципліни (силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>другий (магістерський)</i>
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	<i>142 Енергетичне машинобудування</i>
Освітня програма	<i>Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	5,0 кредити ЄКТС/90 год: лекційні заняття – 36 год, практичні заняття – 18 год, самостійна робота – 96 год
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, модульна контрольна робота, розрахункова робота</i>
Розклад занять	http://rozklad.kpi.ua
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>д.т.н., ст.н.с., Сорокова Н.М., n.sorokova@ukr.net</i> Практичні: <i>д.т.н., ст.н.с., Сорокова Н.М., n.sorokova@ukr.net</i> Лабораторні: <i>не передбачено</i>
Розміщення курсу	https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=5089

Програма навчальної дисципліни

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

Предмет навчальної дисципліни *процеси комбінованого виробництва електричної та теплової енергії*

передбачає ознайомлення студентів з основним підходом раціонального використання енергоресурсів Землі і захисту довкілля від забруднення шляхом застосування комбінованого виробництва електричної та теплової енергії.

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів з датностей (фахових компетентностей):

Здатність аналізувати та комплексно інтегрувати сучасні знання з природничих, інженерних, суспільно-економічних та інших наук для розв'язання складних задач і проблем, пов'язаних з проектуванням та експлуатацією енергетичного і теплотехнологічного обладнання. ФК 3

Здатність розробляти та впроваджувати інноваційні проекти і програми, забезпечувати конкурентоздатність продукції, здійснювати техніко-економічне обґрунтування проектів у галузі енергетичного машинобудування. ФК 5

Здатність приймати ефективні рішення з виробництва і експлуатації енергетичного та теплотехнологічного обладнання з урахуванням вимог щодо якості, екологічності, надійності, конкурентоздатності та охорони праці. ФК 7

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми здобувачі після засвоєння дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

Формулювати і розв'язувати складні інженерні, виробничі та/або дослідницькі задачі під час проектування, виготовлення і експлуатації енергетичного обладнання та створення конкурентоспроможних розробок, втілення результатів у інноваційних проектах. ПРН 3

ПРН 5

Створювати новітні технології та процеси і обґрунтовувати вибір обладнання та інструментів, з урахуванням обмежень в енергетичному машинобудуванні на основі сучасних знань в енергетичній та суміжних галузях.

ПРН 9

Формулювати та вирішувати інноваційні задачі галузі енергетичного машинобудування з урахуванням вимог до результатів, технічних стандартів, а також нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, інтелектуальна власність, навколишнє середовище, економіка і виробництво) аспектів.

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

Пререквізити навчальної дисципліни: для опанування матеріалу дисципліни необхідні знання з теорії тепломасообміну і гідродинаміки в елементах енергетичного обладнання, структури і принципу дії енергетичного обладнання теплових і атомних станцій.

Постреквізитами є дисципліна Енерго- та ресурсозбереження в енергетиці.

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. Оцінка ефективності комбінованого виробництва енергії

Тема 1.1. Нормативно-правові умови розвитку комбінованого виробництва в ЄС та Україні.

Тема 1.2. Показники ефективності комбінованого виробництва.

Тема 1.3. Методи розподілу витрат на виробництво електричної та теплової енергії.

РОЗДІЛ 2. Особливості споживання електричної та теплової енергії.

Тема 2.1. Споживання теплоти на опалення, вентиляцію і гаряче водоопостачання.

Тема 2.2. Коефіцієнт теплофікації.

РОЗДІЛ 3. Перспективні технології генерації для ТЕЦ, теплофікаційні парові турбіни.

Тема 3.1. Види сучасних технологій когенерації.

Тема 3.2. Теплофікаційне устаткування ТЕЦ.

РОЗДІЛ 4. Газотурбінні та парогазові установки ТЕЦ.

Тема 4.1. Газотурбінні установки ТЕЦ.

Тема 4.2. Парогазові установки ТЕЦ.

РОЗДІЛ 5. Двигуни внутрішнього згоряння на ТЕЦ, мікро-ТЕЦ та тригенерація.

Тема 5.1. Двигуни внутрішнього згоряння.

Тема 5.2. Мікро-ТЕЦ та розподілена генерація.

Тема 5.3. Тригенерація.

Тема 5.4. Екологічні аспекти експлуатації ТЕЦ.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова (підручники, навчальні посібники, документи) література.

1. Борисенко А. В., Пешко В. А.. Основи теплової енергетики: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 149 с.
2. Когенераційні технології в малій енергетиці : монографія / В. А. Маляренко, О. Л. Шубенко, С. Ю. Андреев, М. Ю. Бабак, О. В. Сенецький / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А. М. Підгорного. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 454 с. ISBN 978-966-695-448-3 <https://core.ac.uk/download/pdf/162019489.pdf>.
3. Горобець В.Г., Богдан Ю.О., Троханяк В.І. Теплообмінне обладнання для когенераційних установок [Монографія]. – К.: «ЦП «Компринт», 2017. – 198 с. ISBN 978-966-929-674-0
4. Ковальчук В.А., Мацнева Т.С. Теплопостачання [Навчальний посібник]. – Рівне : НУВГП, 2013. – 300 с. <http://ep3.nuwm.edu.ua/1878/1/735210%20zah.pdf>
5. Гічов Ю.О. Теплові електростанції і проблеми перетворення енергії. Частина І. [Навчальний посібник]. – Дніпро : НМетАУ, 2017. – 59 с.

https://nmetau.edu.ua/file/24_gichov_yu.o._teplovi_elektrstantsiyi_i_problemi_peretvorenniya_energiyi._c_hastina_i.pdf

6. Гічов Ю.О. Джерела теплопостачання промислових підприємств. Частина 2. [Конспект лекцій]. – Дніпро: НМетАУ, 2011. – 49 с.

https://nmetau.edu.ua/file/12_gichov_yu.o._dzhherela_teplopостachannya_promislovih_pidpriemstv._chasti_na_ii.pdf

7. https://itf.snau.edu.ua/wp-content/uploads/2020/10/%D0%9E%D0%9A-17-%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD_%D0%BA%D0%B0-%D0%9C%D0%92-%D0%9A%D0%9F.pdf

8. Теплові електричні станції: Навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 6.050601 «Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання / О.Є.Машанова. – Запоріжжя, ЗДІА. 2011. –166 с.

https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php?file=/616009/mod_resource/content/1/TES.pdf

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література.

9. Закон України Про енергозбереження № 74/94-ВР від 01.07.1994.
https://kodeksy.com.ua/pro_energozberezhennya.htm

10. Закон України від 05.04.2005 № 2509-IV «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу».

11. Директива 2004/8/ЄС від 11.02.2004р. «Про заохочення когенерації, основаної на попиті на корисне тепло, що існує на внутрішньому енергетичному ринку».

12. Клименко В.Н. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справочное пособие. –К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины. Ч.1. – 2008. – 600 с. <http://itf.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/08/klymenko-t1.pdf>

13. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети.- М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

14. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

15. Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. – М: Энергия, 1968. – 240 с.

16. Щепетильников М.И., Хлопушкин В.И. Сборник задач по курсу ТЭС, - М.: Энергоатомиздат, 1983.

17. Теплові електричні станції. Методичні вказівки до контрольної та самостійної роботи для студентів ЗДІА спеціальності «Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання /Укл.:О.Є.Машанова. - Запоріжжя, 2008. – 55 с.

https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/632205/mod_resource/content/1/%D0%9C%D0%A3%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%A2%D0%95%D0%A1%20%28%D0%BD%D0%B4%D0%B8%D0%B2%D0%B4%D1%83%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8%29.pdf

18. Р.О. Клімов КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з дисципліни «Джерела теплопостачання та теплові мережі». Дніпродзержинськ, 2016. -104 с. <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-kl74.pdf>

19. ГКД 34.09.108-98. Розподіл витрати палива на теплових електростанціях на відпущену електричну і теплову енергію при їх комбінованому виробництві.

Інформаційні ресурси

1. Кампус КПІ ім. Ігоря Сікорського <http://login.kpi.ua/>

2. Науково-технічна бібліотека КПІ ім. Ігоря Сікорського <http://library.kpi.ua/>

3. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2509-15#Text> Зікон про когенерацію.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Згідно навчального плану для опанування матеріалу дисципліни передбачено лекційні і практичні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	ВСТУП Лекція 1. Предмет і задачі курсу «Комбіноване виробництво енергії». Стан та розвиток комбінованого виробництва енергії.

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	<p>Структура, предмет і мета дисципліни. База дисципліни. Визначення переваг та обмежень комбінованого виробництва, історія розвитку комбінованого виробництва у світі та в Україні, передумови та перешкоди щодо розвитку комбінованого виробництва в Україні.</p> <p>Лекція супроводжується показом слайдів за темою.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Класифікація когенераційних установок.</p> <p>Література : (3) стор. 13-17; (4) стор. 7- 20; (12) стор. 99-104.</p>
РОЗДІЛ 1. Оцінка ефективності комбінованого виробництва енергії	
2.	<p>Тема 1.1 . Нормативно-правові умови розвитку комбінованого виробництва в ЄС та Україні.</p> <p>Лекція 2. Нормативно-правові умови розвитку комбінованого виробництва в ЄС. Механізми стимулювання комбінованого виробництва у країнах ЄС, перелік технологій генерації, що підлягають під термін когенерація, та особливості визначення «високоєфективної когенерації».</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Паливно-енергетичні ресурси та їхнє використання.</p> <p>Література: (11), (2) стор. 37-51; (12) стор. 21-31.</p>
3.	<p>Практичне заняття - 1. Параметри теплової і електричної енергії. Загальноприйняті одиниці виміру паливно-енергетичних ресурсів. Співвідношення між одиницями виміру енергетичних ресурсів. Визначення енергетичної ефективності комбінованого виробництва електричної та теплової енергії.</p> <p><i>Завдання для самостійної роботи:</i> Еквіваленти перерахунку умовного палива в натуральні види палива.</p> <p>Література: http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/lr-7-vyznachennja-enerhetychnyh-ekonomichnyh-ta-ekolohichnyh-ekvivalentiv-palyvno-enerhetychnyh-resursiv-z-dyscypliny-mvtt-1-semestr.pdf</p>
4.	<p>Лекція 3. Нормативно-правові умови розвитку комбінованого виробництва в Україні</p> <p>Основні принципи державної політики енергозбереження. Закон "Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу» (від 5 квітня 2005 року №2509-IV // Вісник Верховної Ради України. 2005. № 20. С. 278). Кваліфікація КУ в Україні. Механізми стимулювання розвитку комбінованого виробництва в Україні.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Базові енергогенерувальні потужності в системах енергопостачання.</p> <p>Література: (9), (10), (2) стор. 62-81.</p>
5.	<p>Тема 1.2. Показники ефективності комбінованого виробництва.</p> <p>Лекція 4. Показники ефективності комбінованого виробництва. Коефіцієнт використання палива, ексергетичний ККД, питома комбіноване виробництво електроенергії, тощо. Особливості використання різних показників ефективності та їх взаємозв'язок. Методи підвищення питомого комбінованого виробництва.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Взаємозв'язок КІТ і питомого комбінованого виробітку для ГТУ-ТЕЦ з КУ без допалювання палива.</p> <p>Література: (1) стор. 87-88; (5) стор. 19-22; (12) стор. 129-138; стор. 208-213.</p>
6.	<p>Практичне заняття - 2. Визначення енергетичної ефективності комбінованого виробництва електричної та теплової енергії.</p> <p><i>Завдання для самостійної роботи:</i> Маркування теплофікаційних парових турбін.</p> <p>Література: (6) 11-17; (12) стор. 5-11; http://ep3.nuwm.edu.ua/638/1/034-135.pdf стор. 8-9.</p>
7.	<p>Тема 1.3. Методи розподілу витрат на виробництво електричної та теплової енергії.</p> <p>Лекція 5. Методи розподілу витрат на виробництво електричної та теплової енергії</p> <p>Аналіз методів розподілу витрат при комбінованому виробництві електроенергії та тепла, зокрема, фізичного методу, ексергетичного методу, інших фізичних та економічних методів розподілу витрат, а також методу ОРГРЕС, що використовується в енергетиці України. Аналіз методів розподілу витрат, що набули розповсюдження у США та країнах ЄС. Проводиться порівняння традиційного фізичного методу з ексергетичним методом та методом ОРГРЕС.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Аналіз методики розподілу витрат, що застосовується на ТЕЦ України.</p> <p>Література: (17) стор. 31-32, (19).</p>
8.	<p>Практичне заняття - 3. Цикли паротурбінних теплоенергетичних установок. Визначення ККД циклів.</p> <p><i>Завдання для самостійної роботи:</i> Регенеративний цикл Ренкіна.</p> <p>Література: (1) стор. 9-16.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
РОЗДІЛ 2. Особливості споживання теплової та електричної енергії.	
9.	<p style="text-align: center;">Тема 2.1. Споживання теплоти на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання.</p> <p>Лекція 6. Споживання теплоти на опалення і вентиляцію. Коефіцієнт теплофікації. Особливості споживання теплової енергії на опалення та вентиляцію. Коефіцієнт теплофікації. Графік тривалості опалювального навантаження та формула Россандра. Формули для розрахунку опалювального та вентиляційного навантаження.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Поглиблений аналіз систем водяного опалення та гарячого водозабезпечення. Граничні значення коефіцієнту теплофікації для різних схем гарячого водозабезпечення. Коефіцієнти теплофікації для промислово-опалювальних ТЕЦ.</p> <p>Література: (1) стор. 88-89; (4) стор 53-57; (17) стор. 116-120; (18)</p>
10.	<p>Лекція 7. Споживання теплоти на гаряче водопостачання. Особливості гарячого водопостачання споживачів. Приклади схем приєднання абонентів до теплової мережі. Відкриті і закриті системи гарячого водопостачання.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Способи покриття піків парового навантаження.</p> <p>Література: (1) стор. 90-91; (4) стор 57-62; (18).</p>
11.	<p>Практичне заняття - 4. Визначення опалювальної характеристики та розрахункових витрат тепла на опалювання будівлі. Побудова річного графіка тривалості опалювального навантаження.</p> <p><i>Завдання для самостійної роботи:</i> Побудова річного графіка відпуску теплоти на опалення, вентиляцію і постачання гарячої води. Визначення сумарного відпуску теплоти з заданим навантаженням.</p> <p>Література: (17) стор. 74-78.</p>
12.	<p>Лекція 8. Організація забезпечення споживачів електроенергією. Управління генеруючими потужностями. Забезпечення споживачів електроенергією. Моделі організації ринків електроенергії.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Оптова торгівля електроенергією</p> <p>Література: (2) стор. 139-142, 143-145.</p>
РОЗДІЛ 3. Перспективні технології генерації для ТЕЦ, теплофікаційні парові турбіни.	
13.	<p style="text-align: center;">Тема 3.1. Види сучасних технологій когенерації.</p> <p>Лекція 9. Когенерація з використанням паротурбінних циклів на різних робочих тілах. Загальні положення реалізації когенераційних технологій. Проблема утилізації теплоти димових газів. Особливості реалізації ORC-контурів з температурою робочого тіла 80–180 °С.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Термодинамічні властивості низькокиплячих робочих тіл дозволяють утилізувати скидну низькопотенційну теплоту.</p> <p>Література: (2) стор. 374-384.</p>
14.	<p>Лекція 10. Види сучасних технологій генерації, що застосовуються на ТЕЦ, сфери їх застосування. Технології, що передбачають спалювання на ТЕЦ природного газу. Технології ТЕЦ на базі нафтопродуктів. Вугільні технології для ТЕЦ, зокрема, пиловугільні технології, технології спалювання вугілля у циркулюючому киплячому шарі, технології газифікації вугілля, тощо. Використання на ТЕЦ біомаси та комбіноване паливозабезпечення ТЕЦ.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Котли з циркулюючим киплячим шаром, газифікація вугілля.</p> <p>Література: (1) стор. 27–31, (2) стор 407–415.</p>
15.	<p>Практичне заняття - 5. Вибір об'єкта дослідження для створення когенераційної установки. Аналіз особливостей функціонування водонагрівальної котельні</p> <p><i>Завдання для самостійної роботи:</i> Режимні карти роботи котельної.</p> <p>Література: (2) стор. 394-406.</p>
16.	<p style="text-align: center;">Тема 3.2. Теплофікаційне устаткування ТЕЦ.</p> <p>Лекція 11. Теплофікаційне устаткування ТЕЦ.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	<p>Теплопідготовлювальні системи. Зв'язок характеристик теплофікаційних установок та теплових мереж. Склад устаткування теплопідготовлювальних систем ТЕЦ. Теплофікаційні установки ТЕЦ з турбінами потужністю 6-25 МВт. Теплофікаційні установки ТЕЦ з турбінами потужністю 50-250 МВт.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Розвиток теплофікації на базі атомних ТЕЦ.</p> <p>Література: (1) стор. 286-293; https://core.ac.uk/download/pdf/11315104.pdf стор. 92-99.</p>
РОЗДІЛ 4. Газотурбінні та парогазові установки ТЕЦ.	
17.	<p style="text-align: center;">Тема 4.1. Газотурбінні установки ТЕЦ.</p> <p>Лекція 12. Газотурбінні установки ТЕЦ.</p> <p>Основні визначення, класифікація ГТУ. Особливості побудови циклів ГТУ у розрізі їх застосування для ТЕЦ: простий цикл, цикл з регенерацією теплоти, цикл з проміжним підведенням теплоти та проміжним охолодженням повітря. Особливості конструкції ГТУ. Управління потужністю ГТУ та показники роботи ГТУ на часткових навантаженнях. Енергетичні показники газотурбінних ТЕЦ. Регулювання відпуску теплоти на газотурбінних ТЕЦ. Використання ГТУ для переоснащення котельних. Приклад використання ГТУ при теплозабезпеченні датських споживачів. Котли-утилізатори для газотурбінних ТЕЦ.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Паливо для когенераційних установок. Номограми для оцінки паропродуктивності котла-утилізатора.</p> <p>Література: (1) стор. 326-344; https://core.ac.uk/download/pdf/11315104.pdf стор. 54-64; (12) стор. 160-162; 240-310; (16) стор. 23-120.</p>
18.	<p>Практичне заняття - 6.</p> <p>Модульна контрольна робота.</p> <p><i>Завдання для самостійної роботи:</i> Маркування парових турбін. Діаграми режимів теплофікаційних турбін.</p> <p>Література: (8) стор. 79-82. Матеріали Л. 11.</p>
19.	
20.	
21.	<p style="text-align: center;">Тема 4.2. Парогазові установки ТЕЦ.</p> <p>Лекція 13. Парогазові установки ТЕЦ.</p> <p>Термодинамічне обґрунтування побудови парогазового циклу. Типи парогазових циклів у розрізі їх застосування на ТЕЦ: цикл STIG та «Водолій», ПГУ з високонапірним парогенератором, ПГУ зі скиданням газів у топку котла, ПГУ із заміщенням регенерації, ПГУ утилізаційного типу. Комбіноване виробництво на ПГУ з котлом-утилізатором. Класифікація теплових схем ПГУ-ТЕЦ. Показники теплової ефективності ПГУ-ТЕЦ. Діаграми режимів ПГУ-ТЕЦ. Використання опалювання у ПГУ-ТЕЦ. Приклади реалізації теплових схем ПГУ-ТЕЦ та особливості їх роботи.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Компонівка устаткування. Котел-утилізатор у тепловій схемі ПГУ: конструкція котла-утилізатора, особливості експлуатації. Регулювання навантаження ПГУ з котлом-утилізатором.</p> <p>Література: (1) стор. 346-355; (12) стор. 83-88; 311-338; 525-529; https://core.ac.uk/download/pdf/11315104.pdf стор.65-74.</p>
РОЗДІЛ 5. Двигуни внутрішнього згоряння на ТЕЦ, мікро-ТЕЦ та тригенерація.	
22.	<p style="text-align: center;">Тема 5.1. Двигуни внутрішнього згоряння.</p> <p>Лекція 14. Двигуни внутрішнього згоряння.</p> <p>Особливості конструкції поршневих енергетичних двигунів внутрішнього згоряння. Особливості термодинамічних циклів у розрізі застосування на ТЕЦ. Двопаливні двигуни внутрішнього загоряння. Порівняння двигунів внутрішнього згоряння та газових турбін у якості надбудов для котельних. Виробництво тепла енергетичними установками на базі двигунів внутрішнього згоряння.</p> <p><i>Тема для самостійної роботи:</i> Нові ТЕЦ в Україні.</p> <p>Література: (2) стор. 222-224; (12) стор. 150-238; 110-124; https://core.ac.uk/download/pdf/11315104.pdf стор.222-224.</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
23.	Практичне заняття - 7. Визначення відпуску тепла, потужності теплофікаційної турбіни, повних годинних витрати палива при експлуатації на станції теплофікаційної та конденсаційної турбін. Завдання на самостійну роботу. Завершення роботи по розрахунковій роботі. Література: (4) стор. 44-52; (13) стор. 8-12.
24.	Тема 5.2. Мікро-ТЕЦ та розподілена генерація. Лекція 15. Мікро-ТЕЦ та розподілена генерація. Мікро-ТЕЦ. Двигун Стірлінга: робочий процес та особливості застосування. Паливні елементи: основні види та особливості застосування на ТЕЦ. Газотурбінні міні-ТЕЦ. Органічний цикл Ренкіна. Парові двигуни. Порівняльний аналіз технологій міні та мікро-ТЕЦ. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Опалювальна ТЕЦ на біомасі. Література: (12) стор. 150-238; 519-523; https://core.ac.uk/download/pdf/11315104.pdf стор. 121-128.
25.	Тема 5.3. Тригенерація. Лекція 16. Тригенерація. Визначення тригенерації. Цикл і принцип роботи парової компресорної холодильної установки. Цикл і принцип роботи абсорбційної холодильної машини. Абсорбційні холодильні установки: принцип роботи та основні елементи. Порівняльний аналіз водоаміачних та бромістолітєвих абсорбційних установок. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Діаграми стану речовин, що використовуються у якості холодильних агентів. Література: (12) стор. 445-556; https://core.ac.uk/download/pdf/11315104.pdf стор. 133-138.
26.	Практичне заняття-5. Захист розрахункової роботи
27.	Лекція 17. Тригенерація (продовження). Розгляд основних елементів і режимів роботи тригенераційної установки. Сфери застосування тригенераційних установок. Переваги три генерації у порівнянні із роздільним виробництвом. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Діаграми стану речовин, що використовуються у якості холодильних агентів. Література: (1) стор. 133-138; (12) стор. 445-556.
28.	Тема 5.4. Екологічні аспекти експлуатації ТЕЦ. Лекція 18. Екологічні аспекти експлуатації ТЕЦ. Резерви підвищення ефективності комбінованого виробництва в Україні. Висновки по курсу. Викиди сірчаних сполук та методи боротьби з ними. Управління викидами оксидів азоту при комбінованому виробництві. Методи видалення та збереження діоксиду вуглецю. Аналіз втрат на ланцюгу виробництво-передача-споживання теплової енергії. Резерви підвищення ефективності ТЕЦ. Зменшення втрат при транспортуванні теплової енергії. Зменшення втрат на абонентському боці ланцюга теплотапобезпечення. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Механізми утворення оксидів азоту при спалюванні палива. Основні питання проектування ТЕЦ підвищеної заводської готовності. Література: (12) стор. 348-350, 350-443; (14) стор. 389-425; (18) стор. 73-80.
29.	Лекція 18. Захист розрахункової роботи.
30.	Практичне заняття-5. Захист розрахункової роботи

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота передбачає підготовку до лекцій, виконання домашніх завдань у вигляді рішення задач по практичним заняттям, опрацювання джерел із списку літератури, підготовку до модульної контрольної роботи (МКР), виконання розрахункової роботи, підготовку до екзамену.

Розрахункова робота присвячена виконанню п'яти типових задач по індивідуальним варіантам.

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, поставлених перед студентом, складається з:

- оцінювання активності у обговоренні питань теми на аудиторних заняттях;
- виконання домашніх завдань по практичним заняттям, МКР та РР згідно з вимогами та критеріями оцінювання.

Слід дотримуватися правил відвідування занять.

На заняттях викладається теоретичний матеріал, розглядаються приклади реалізації практичного застосування теорії, надаються методичні рекомендації та розвиваються навички, необхідні для виконання контрольних завдань. Тому відвідування впливає на результати аудиторної і самостійної роботи студента, підготовку до контрольних заходів.

Вагома частина рейтингу студента формується за рахунок самостійної роботи (виконання домашніх завдань, РР та МКР), активної участі в роботі на аудиторних заняттях.

У разі виявлення академічної недоброчесності у виконаній модульній контрольній роботі – результати контрольного заходу не враховуються.

Повторне написання модульної контрольної роботи не допускається.

Заохочувальні та штрафні бали

Заохочувальні бали

Завдання, що задаються на самостійне виконання у якості самостійної роботи законспектовано + 2 бали

Відповіді на аудиторних заняттях + 2 бали

Штрафні бали

Невчасне виконання домашньої роботи – 2 бали

Невчасне виконання МКР (на не запланованому занятті) – 5 балів

Невчасне виконання розрахункової роботи – 5 балів

Академічна доброчесність

Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

Норми етичної поведінки

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Детальніше: <https://kpi.ua/code>.

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

PCO за освітнім компонентом має **стартову (max 50 балів)** та **екзаменаційну (max 50 балів)** складові.

Стартова складова: опитування на практичних заняттях (4 заняття), виконане домашнє завдання (4 заняття), написання модульної контрольної роботи (1заняття), виконання розрахункової роботи, виконання завдань СРС.

Екзаменаційна складова: виконання екзаменаційної роботи.

Аудиторні заняття: За відповідь на практичному занятті можна отримати 2 бали (max 12 балів).

- «відмінно», вільне володіння матеріалом та вміння його застосувати на практиці отримання результату його практичної реалізації – 12...11 балів;
- «добре», достатньо глибоке володіння матеріалом та вміння його застосувати на практиці – 10...7 балів;
- «задовільно», не достатньо повне володіння матеріалом та уміння його самостійно реалізувати на практиці. – 6...3 бали;
- «незадовільно» – 2-0 бали.

Самостійна робота: За відповіді по матеріалу, винесеному на самостійне опрацювання можна отримати 2 бали (max 6 балів).

- «зараховано», матеріал опрацьовано і надана вичерпна відповідь на питання – 2 бали;
- «зараховано», матеріал опрацьовано і надана відповідь є неповною (не менше 50 %) – 1 бал;
- «незараховано», матеріал не опрацьовано – 0 бали.

Всього за самостійну роботу і роботу на аудиторних заняттях можна отримати max 18 балів.

МКР: I (max 12 балів)

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 12-10 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 9-7 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 6-3 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 2-0 балів.

Розрахункова робота: (має 20 бали) За правильне виконання завдань можна отримати 12 балів, за захист отриманих результатів – ще 8 балів.

Робота зарахована з оцінкою:

- «відмінно», завдання виконане у строк і надано вичерпні відповіді на 100% поставлених питань – 20-17 балів;
- «добре», завдання виконано у строк, але відповіді надано на 75% питань – 16-12 балів;
- «задовільно», завдання виконане не у строк, надано відповіді не менше 50% питань – 11-6 балів;
- Робота незарахована, якщо завдання не виконано – 0 балів.

Екзамен (має 50 балів)

Екзаменаційне завдання складається з 2-х теоретичних питань, за які можна отримати 30 балів, та 1 практичного завдання, за яке можна отримати 20 балів:

- Відповідно 20...16 та 30...25 балів – повна правильна відповідь на запитання або не менше 90% необхідної інформації, правильно виконане практичне завдання та отримано кінцевий результат;
- 15...11 і 24...19 балів – повна відповідь на запитання з незначними помилками/неточностями або не менше 75% необхідної інформації, практичне завдання виконане не менше ніж на 75%;
- 10...5 і 18...12 балів – майже повна відповідь з незначними помилками/неточностями або не менше 60% необхідної інформації, практичне завдання має незначні помилки/неточності і виконане менше ніж на 60%;
- 0 балів – відповідь відсутня/неправильна або менше 60% необхідної інформації.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

Сума вагових балів контрольних заходів в семестрі (стартовий рейтинг) складає:

$$R_c = r_1 + r_2 + r_3 + r_4.$$

де r_i — рейтингові або вагові бали за кожний вид робіт з дисципліни.

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 8+12+14+16 = 50$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист РР та стартовий рейтинг не менше 24 балів.

Студенти, які набрали у семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 24 бали, або не виконали умов допуску на екзамен, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до заліку з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова R_3 шкали дорівнює: **$R_3 = 50$ балів**

Таким чином, максимальна кількість балів при здачі екзамену за рейтинговою шкалою з дисципліни складає

$$R_D = R_c + R_3 = 50 + 50 = 100 \text{ балів.}$$

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

1. Дистанційне навчання:

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі zoom).

2. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:

– передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;

– кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);

– у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

3. Для магістрантів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 10 балів):

– сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за тематикою дисципліни;

– сертифікатів, які підтверджують участь у науково–практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;

публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

Додаток 1

Список питань на екзамен

1. Механізми стимулювання комбінованого виробництва у країнах ЄС,
2. Перелік технологій генерації, що підлягають під термін когенерація, та особливості визначення «високоєфективної когенерації».
3. Механізми стимулювання розвитку комбінованого виробництва в Україні.
4. Коефіцієнт використання палива, ексергетичний ККД.
5. Питомий комбінований виробіток електроенергії.
6. Методи підвищення питомого комбінованого виробництва.
7. Аналіз фізичного методу розподілу витрат при комбінованому виробництві електроенергії та тепла.
8. Аналіз ексергетичного методу розподілу витрат при комбінованому виробництві електроенергії та тепла.
9. Аналіз методу ОРГРЕС розподілу витрат при комбінованому виробництві електроенергії та тепла.
10. Особливості споживання теплової енергії на опалення та вентиляцію.
11. Графік тривалості опалювального навантаження та формула Россандра.
12. Формули для розрахунку опалювального та вентиляційного навантаження.
13. Особливості гарячого водопостачання споживачів.
14. Визначення та формули для розрахунку коефіцієнта теплофікації.
15. Графіки розподілу теплового навантаження між основними та піковими джерелами теплозабезпечення для однотрубною та двотрубною систем.
16. Граничні значення коефіцієнту теплофікації для різних схем гарячого водозабезпечення.
17. Технології, що передбачають спалювання на ТЕЦ природного газу.
18. Технології ТЕЦ на базі нафтопродуктів.
19. Вугільні технології для ТЕЦ.
20. Використання на ТЕЦ біомаси та комбіноване паливозабезпечення ТЕЦ.
21. Теплопідготовлювальні системи.
22. Зв'язок характеристик теплофікаційних установок та теплових мереж.

23. Склад устаткування тепlopідготувальних систем ТЕЦ.
24. Теплофікація на базі атомних ТЕЦ.
25. Класифікація ГТУ.
26. Особливості побудови циклів ГТУ при їх застосування для ТЕЦ.
27. Особливості конструкції ГТУ.
28. Управління потужністю ГТУ та показники роботи ГТУ на часткових навантаженнях.
29. Енергетичні показники газотурбінних ТЕЦ.
30. Регулювання відпуску теплоти на газотурбінних ТЕЦ.
31. Використання ГТУ для переоснащення котельних.
32. Котли-утилізатори для газотурбінних ТЕЦ.
33. Паливо для когенераційних установок.
34. Номограми для оцінки паропродуктивності котла-утилізатора.
35. Парогазові установки ТЕЦ. Термодинамічне обґрунтування побудови парогазового циклу.
36. Типи парогазових циклів у розрізі їх застосування на ТЕЦ.
37. Комбіноване виробництво на ПГУ з котлом-утилізатором.
38. Класифікація теплових схем ПГУ-ТЕЦ.
39. Показники теплової ефективності ПГУ-ТЕЦ.
40. Діаграми режимів ПГУ-ТЕЦ. Використання опалювання у ПГУ-ТЕЦ.
41. Приклади реалізації теплових схем ПГУ-ТЕЦ та особливості їх роботи.
42. Особливості конструкції поршневих енергетичних двигунів внутрішнього згоряння.
43. Двопаливні двигуни внутрішнього загоряння.
44. Виробництво тепла енергетичними установками на базі двигунів внутрішнього згоряння.
45. Мікро-ТЕЦ. Двигун Стірлінга: робочий процес та особливості застосування.
46. Газотурбінні міні-ТЕЦ.
47. Органічний цикл Ренкіна. Парові двигуни.
48. Порівняльний аналіз технологій міні та мікро-ТЕЦ.
49. Опалювальна ТЕЦ на біомасі.
50. Основні елементи і режими роботи тригенераційної установки. Сфери застосування тригенераційних установок.
51. Переваги три генерації у порівнянні із роздільним виробництвом.
52. Абсорбційні холодильні установки: принцип роботи та основні елементи.
53. Порівняльний аналіз водоаміачних та бромістолітєвих абсорбційних установок.
54. Викиди сірчаних сполук та методи боротьби з ними.
55. Управління викидами оксидів азоту при комбінованому виробництві.
56. Методи видалення та збереження діоксиду вуглецю.
57. Аналіз втрат на ланцюгу виробництво-передача-споживання теплової енергії. Резерви підвищення ефективності ТЕЦ.
58. Зменшення втрат при транспортуванні теплової енергії. Зменшення втрат на абонентському боці ланцюга теплозабезпечення.
59. Механізми утворення оксидів азоту при спалюванні палива.

Додаток 2

Завдання на розрахункову роботу

Розрахункова робота присвячена виконанню п'яти типових задач по індивідуальним варіантам.

1. Визначення питомої і відносної економії умовного палива при теплофікації по відношенню до роздільної схеми енергозабезпечення промислового підприємства при заданих режимах роботи ТЕЦ і КЕС.
2. Визначення повної часової витрати умовного палива і питомі витрати умовного палива ТЕЦ з турбіною Т-100-130, яка працює у заданому режимі роботи.

3. Визначення витрати пари на турбіну номінальною електричною потужністю N_e , МВт, що відпускає з відбору пари в кількості $G_{\text{відб}}$, т/год. Тиск у відборі $P_n = 1$ МПа; початкові параметри пари P_0 , МПа та t_0 , °С. Тиск в конденсаторі $P_k = 4$ кПа .
4. Побудова графіків розподілу теплового навантаження ТЕЦ $Q_{\text{ТЕЦ}}$ від температур навколишнього середовища $t_{\text{нар}}$ в опалювальний період та його тривалості T , та визначення річної витрати теплоти на опалення $Q_{\text{от}}^p$, МВт, вентиляцію $Q_{\text{в}}^p$, МВт та гаряче водопостачання $Q_{\text{г.в}}^p$, МВт.
5. Розшифрування марок турбін та за діаграмами режимів турбін графічне визначення витрати пари G_n на теплофікаційний відбір в турбіні заданим вихідним даним N_e , МВт і G_0 , т/год.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено професоркою, д.т.н., ст.н.с., Сороковою Наталією Миколаївною

Ухвалено: кафедрою АЕ (протокол № 20 від 12.06. 2024 р.)

Погоджено: Методичною комісією НН ІАТЕ (протокол № 10 від 25. 06. 2024 р.)