



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>I курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	3,0 кредити ЄКТС/90 год: лекційні заняття – 27 год, практичні заняття – 9 год, самостійна робота – 54 год
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, модульна контрольна робота, розрахункова робота</i>
Розклад занять	http://roz.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 здатностей (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

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 5

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.

ПРН 9

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 і вентиляцію.

Тема 2.2. Коефіцієнт теплофікації.

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

Тема 3.1. Види сучасних технологій генерації, що застосовуються на ТЕЦ, сфери їх застосування.

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 згорання на ТЕЦ, мікро-ТЕЦ та тригенерація.

Тема 5.1. Двигуни внутрішнього згорання.

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. 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
2. Ковальчук В.А., Мацнева Т.С. Теплопостачання [Навчальний посібник]. – Рівне : НУВГП, 2013. – 300 с.
<http://ep3.nuwm.edu.ua/1878/1/735210%20zah.pdf>
3. Гічов Ю.О. Теплові електростанції і проблеми перетворення енергії. Частина I. [Навчальний посібник]. – Дніпро : НМетАУ, 2017. – 59 с.
<https://nmetau.edu.ua/file/24. gichov yu.o. teplovi elektrostantsiyi i problemi peretvorenniya energiyi. c hastina i.pdf>
4. 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. dzherela teplopostachannya promislovih pidpriemstv. chasti na ii.pdf>

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

5. Борисенко А. В., Пешко В. А.. Основи теплової енергетики: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 149 с.
6. Клименко В.Н. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справочное пособие. –К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины. Ч.1. – 2008. – 600 с. <http://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/08/klymenko-t1.pdf>
7. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети.- М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.
8. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
9. Григорьев В.А., Зорин В.М. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
10. Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. – М: Энергия, 1968. – 240 с.
11. Щепетильников М.И., Хлопушкин В.И. Сборник задач по курсу ТЭС, - М.: Энергоатомиздат, 1983.
12. Закон України від 05.04.2005 № 2509-IV «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу».
13. Директива 2004/8/ЄС від 11.02.2004р. «Про заохочення когенерації, основаної на попиті на корисне тепло, що існує на внутрішньому енергетичному ринку».
14. Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. Турбины тепловых и атомных электрических станций. – МЖ Издательство МЭИ, 2001. – 488 с.
15. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. – М: Издательство МЭИ, 2002. – 584 с.
16. Копко В.М. Теплоизоляция трубопроводов теплосетей. – Минск: Технопринт, 2002. – 160 с.
17. Теплова енергетика – нові виклики часу/ За заг. Редакцією П.Омеляновського, Й.Мисака. – Львів: НВФ «Українські технології», 2009. – 660 с.
18. Р.О. Клімов КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ з дисципліни «Джерела тепlopостачання та теплові мережі». Дніпродзержинськ, 2016. -104 с. <http://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/6/29/6-29-kl74.pdf>
19. Андрищенко А.И., Аминов Р.З., Хлебалин Ю.М. // Теплофикационные установки и их использование.
20. 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.	<p style="text-align: center;">ВСТУП</p> <p>Лекція 1. Предмет і задачі курсу «Комбіноване виробництво енергії». Стан та розвиток комбінованого виробництва енергії. 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. Лекція супроводжується показом слайдів за темою. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Класифікація когенераційних установок. Література : (1) стор. 13-17; (2) стор. 7- 20.</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 та Україні Механізми стимулювання комбінованого виробництва у країнах ЄС, перелік технологій генерації, що підлягають під термін когенерація, та особливості визначення «високоєфективної когенерації».</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	<p>Механізми стимулювання розвитку комбінованого виробництва в Україні. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Особливості функціонування ТЕЦ у сучасних організаційно-правових умовах роботи електроенергетичної галузі. Література: (1) стор. 12-18; (2) стор. 10-15; (6). стор. 45-49; (12); (13).</p>
3.	<p align="center">Тема 1.2. Показники ефективності комбінованого виробництва.</p> <p>Лекція 3. 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. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Взаємозв'язок КІТ і питомого комбінованого виробітку для ГТУ-ТЕЦ з КУ без допалювання палива. Література: (1). стор. 19-22; (4) стор. 87; (6) стор. 129-138; стор. 208-213.</p>
4.	<p align="center">Тема 1.3. Методи розподілу витрат на виробництво електричної та теплової енергії.</p> <p>Лекція 4. Методи розподілу витрат на виробництво електричної та теплової енергії 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. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Аналіз методики розподілу витрат, що застосовується на ТЕЦ України. Література: (15) стор. 31-32; (20) стор. 1-17.</p>
5.	<p>Практичне заняття - 1. Визначення енергетичної ефективності комбінованого виробництва електричної та теплової енергії. <i>Завдання для самостійної роботи:</i> Маркування теплофікаційних парових турбін. Література: (3) 11-17; (10) стор. 5-11; http://ep3.nuwm.edu.ua/638/1/034-135.pdf стор. 8-9.</p>
РОЗДІЛ 2. Особливості споживання електричної та теплової енергії.	
6.	<p align="center">Тема 2.1. Споживання теплоти на опалення і вентиляцію.</p> <p>Лекція 5. Споживання теплоти на опалення і вентиляцію. Коефіцієнт теплофікації. Особливості споживання теплової енергії на опалення та вентиляцію. Графік тривалості опалювального навантаження та формула Россандра. Формули для розрахунку опалювального та вентиляційного навантаження. Особливості гарячого водопостачання споживачів. Визначення та формули для розрахунку коефіцієнта теплофікації. Графіки розподілу теплового навантаження між основними та піковими джерелами теплозабезпечення для однотрубною та двотрубною систем. <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. Література: (2) стор 53-62; (4) стор. 88-89; (7) стор. 116-120, (7) стор. 170-172.</p>
7.	<p>Лекція 6. 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. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Конструкції котельних агрегатів. Література: (5) стор. (6) стор. 150–202, стор. 358–388, (17) стор. 258-315</p>
8.	<p>Практичне заняття - 2. Визначення опалювальної характеристики та розрахункових витрат тепла на</p>

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	опалювання будівлі. Побудова річного графіка тривалості опалювального навантаження. <i>Завдання для самостійної роботи:</i> Визначення теплової потужності підігрівачів мережевої води. Література: (10) стор. 14-31.
9.	<p align="center">Тема 3.2. Теплофікаційне устаткування ТЕЦ.</p> <p>Лекція 7. Теплофікаційне устаткування ТЕЦ. 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. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Розвиток теплофікації на базі атомних ТЕЦ. Література: (5) стор. 92-99; (9) стор. 286-293; (18) стор. 60-66.</p>
РОЗДІЛ 4. Газотурбінні та парогазові установки ТЕЦ.	
10.	<p align="center">Тема 4.1. Газотурбінні установки ТЕЦ.</p> <p>Лекція 8. Газотурбінні установки ТЕЦ. 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. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Паливо для когенераційних установок. Номограми для оцінки паропродуктивності котла-утилізатора. Література: (5) стор. 54-64; (15) стор. 23-120; (9) стор. 326-344; (6) стор. 160-162; 240-310.</p>
11.	<p>Практичне заняття - 3.</p> <p>Модульна контрольна робота. Частина 1 Визначення річних витрат палива та коефіцієнту використання палива на ТЕЦ. Література: (6) стор. 5-13.</p>
12.	<p align="center">Тема 4.2. Парогазові установки ТЕЦ.</p> <p>Лекція 9. Парогазові установки ТЕЦ. 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. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Компоновка устаткування. Котел-утилізатор у тепловій схемі ПГУ: конструкція котла-утилізатора, особливості експлуатації. Регулювання навантаження ПГУ з котлом-утилізатором. Література: (5) стор.65-74; (6) стор. 83-88; 311-338; 525-529; (9) стор. 346-355.</p>
РОЗДІЛ 5. Двигуни внутрішнього згоряння на ТЕЦ, мікро-ТЕЦ та тригенерація.	
13.	<p align="center">Тема 5.1. Двигуни внутрішнього згоряння.</p> <p>Лекція 10. Двигуни внутрішнього згоряння. Особливості конструкції поршневих енергетичних двигунів внутрішнього згоряння. Особливості термодинамічних циклів у розрізі застосування на ТЕЦ. Двопаливні двигуни внутрішнього згоряння. Порівняння двигунів внутрішнього згоряння та газових турбін у якості надбудов для котельних. Виробництво тепла енергетичними установками на базі двигунів внутрішнього згоряння. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Нові ТЕЦ в Україні. Література: (5) стор. 110-115; (6). стор. 150-238; 110-124.</p>
14.	Практичне заняття - 4. Визначення відпуску тепла, потужності теплофікаційної турбіни, повних

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
	годинних витрати палива при експлуатації на станції теплофікаційної та конденсаційної турбін. Література: (3) стор. 44-52; (11) стор. 8-12.
15.	Тема 5.2. Мікро-ТЕЦ та розподілена генерація. Лекція 11. 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: (5) стор. 121-128; (6) стор. 150-238; 519-523.
16.	Тема 5.3. Тригенерація. Лекція 12. Тригенерація. Розгляд основних елементів і режимів роботи тригенераційної установки. Сфери застосування тригенераційних установок. Переваги три генерації у порівнянні із роздільним виробництвом. Абсорбційні холодильні установки: принцип роботи та основні елементи. Порівняльний аналіз водоаміачних та бромістолітєвих абсорбційних установок. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Поглиблений огляд конструкцій та досвід практичного застосування тригенераційних установок. Література: (5) стор. 133-138; (6) стор. 445-556.
17.	Тема 5.4. Екологічні аспекти експлуатації ТЕЦ. Лекція 13. 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 теплозабезпечення. <i>Тема для самостійної роботи:</i> Механізми утворення оксидів азоту при спалюванні палива. Основні питання проектування ТЕЦ підвищеної заводської готовності. Література: (6) стор. 348-350, 350-443; (117) стор. 389-425; (18) стор. 67-83.
18.	Лекція 14. Модульна контрольна робота. Частина 2
19.	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 чотирьох типових задач по індивідуальним варіантам.

Політика та контроль

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 недобросовісності у виконаній модульній контрольній роботі – результати контрольної роботи 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 8 балів).

- «відмінно», вільне володіння матеріалом та вміння його застосувати на практиці отримання результату його практичної реалізації – 8...7 балів;
- «добре», достатньо глибоке володіння матеріалом та вміння його застосувати на практиці – 6...5 балів;
- «задовільно», не достатньо повне володіння матеріалом та уміння його самостійно реалізовувати на практиці. – 4...3 бали.

Самостійна робота: За правильно виконане домашнє завдання можна отримати 3 бали (max 12 бали).

- «зараховано», виконання завдання у строк – 3 бали;
- «зараховано», завдання виконано, але не у строк – 1 бал;
- «незараховано», завдання не виконано – 0 бали.

Всього за самостійну роботу і роботу на аудиторних заняттях можна отримати max 20 балів.

МКР: I (max 14 балів)

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 14-12 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75% потрібної інформації), або повна відповідь з незначними неточностями – 11-9 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60% потрібної інформації) та незначні помилки – 8-5 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (не відповідає вимогам) – 4-0 балів.

Розрахункова робота: I (max 16 балів)

- «зараховано», виконання завдання у строк –16-13 балів;
- «зараховано», завдання виконано, але не у строк – 12-8 бали;
- «незараховано», завдання не виконано – 0 балів.

Екзамен (max 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 теплопідготовлювальних 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 згорання.
43. Двопаливні двигуни внутрішнього загорання.
44. Виробництво тепла енергетичними установками на базі двигунів внутрішнього згорання.
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 пару 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 $Q_{ТЕЦ}$ від температур навколишнього середовища $t_{нар}$ в опалювальний період та його тривалості T , та визначення річної витрати теплоти на опалення $Q_{от}^p$, МВт, вентиляцію $Q_{в}^p$, МВт та гаряче водопостачання $Q_{г.в}^p$, МВт.
5. Розшифрування марок турбін та за діаграмами режимів турбін графічне визначення витрати пари G_p 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 АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30.06. 2022 р.)

Погоджено: Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30. 06. 2022 р.)