



Енергоефективні системи кондиціонування повітря Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	ОНП Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій, ОПП Теплоенергетика та теплоенергетичні установки електростанцій
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	Очна/денна
Рік підготовки, семестр	1-й курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	5 кредитів; 150 годин (з них 54 аудиторних годин та 96 годин самостійної роботи студентів)
Семестровий контроль	Екзамен
Розклад занять	Лекційні заняття – один раз на тиждень; практичні заняття – один раз на два тижні, http://rozklad.kpi.ua/
Мова викладання	Українська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: к.т.н., доцент Серед Володимир Володимирович, email: sereda.volodymyr@lil.kpi.ua
Розміщення курсу	https://classroom.google.com/c/MjY2NDcxOTc1OTcy?cjc=7b6dh45

Програма навчальної дисципліни

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

Контроль мікроклімату оточуючого середовища є важливим етапом в забезпеченні умов нормальної життєдіяльності людини. Для підтримки нормованих параметрів мікроклімату використовуються системи опалення, вентиляції та кондиціонування (HVAC). 2020 рік, рік COVID-19 показав, що системи вентиляції і кондиціонування повітря відіграють важливу роль в забезпеченні не тільки мікроклімату, але і захисту від вірусів навколишнього середовища.

Під час вивчення дисципліни «Енергоефективні системи кондиціонування повітря» основна увага звертається на повітряний контур систем кондиціонування. Студенти поступово накопичують знання для досягнення компетенції розраховувати і проектувати системи розподілу повітря по приміщеннях, зокрема припливні установки (AHU), фанкойли (FCU) та повітропроводи. Студенти навчаються перетворювати теоретичні концепції таких інженерних наук як термодинаміка, теплообмін, гідрогазодинаміка на цінні та практичні знання, характерні для галузі HVAC. Ці знання включають психрометрію, метод питомих втрат тиску для визначення розмірів повітряних каналів, аналіз надходжень теплоти до приміщення, стратегію керування витратою повітря (BMS). Також у курсі розглядаються практичні кейси з підвищення енергоефективності систем кондиціонування повітря.

Метою дисципліни є формування у студентів умінь та навичок щодо:

- побудови креслень та аксонометричних схем систем кондиціювання;
- розроблення і реалізації заходів щодо зменшення надходжень теплоти до будинку;
- проведення аналізу процесів кондиціювання приміщень із застосуванням h-d діаграми;
- обчислення втрат тиску та оптимальних розмірів повітряних каналів та раціонального підбору компонентів систем кондиціювання;
- застосування різних програмних продуктів та онлайн ресурсів з метою визначення теплового навантаження будинку та розрахунку розмірів повітряних каналів;
- розроблення та застосування різних способів зменшення енергоспоживання HVAC системою, уникаючи погіршення якості припливного повітря;
- оцінювання та реалізація різних стратегій підвищення енергоефективності HVAC систем.

Предметом вивчення дисципліни є:

- різні типи систем кондиціювання повітря;
- принципи роботи компонентів систем кондиціювання, зокрема припливних камер (AHU), фанкойлів (FCU) та блоків регулювання витрати повітря (VAV boxes);
- графічна реалізація системи керування кондиціюванням повітря у приміщенні;
- фактори, які впливають на теплове навантаження будинку;
- організація процесів кондиціювання повітря приміщень різного призначення;
- складові втрат тиску у повітряних каналах систем кондиціювання повітря;
- способи підвищення енергоефективності систем кондиціювання повітря.

Вивчення дисципліни формує такі **компетентності**:

- ЗК1 Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
- ЗК2 Вміння виявляти, ставити та вирішувати проблеми.
- ФК1 Здатність застосовувати та удосконалювати математичні та комп'ютерні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для розв'язання складних інженерних задач в теплоенергетиці.
- ФК4 Здатність управляти робочими процесами та приймати ефективні рішення у сфері теплоенергетики, беручи до уваги соціальні, економічні, комерційні, правові, та екологічні аспекти.
- ФК5 Здатність розробляти, реалізовувати, впроваджувати і супроводжувати проекти з урахуванням всіх аспектів проблеми, яка вирішується, включаючи етапи проектування, виробництва, експлуатації, технічного обслуговування та утилізації теплоенергетичного обладнання.
- ФК6 Здатність приймати рішення щодо матеріалів, обладнання, процесів в теплоенергетиці з урахуванням їх властивостей та характеристик.

В результаті вивчення дисципліни студент навчиться:

- ПРН1 Аналізувати, застосовувати та створювати складні інженерні технології, процеси, системи і обладнання відповідно до обраного напрямку теплоенергетики.
- ПРН3 Розробляти і реалізовувати проекти у сфері теплоенергетики з урахуванням цілей, прогнозів, обмежень та ризиків і беручи до уваги технологічні, законодавчі, соціальні, економічні, екологічні та інші аспекти.
- ПРН6 Приймати ефективні рішення, використовуючи сучасні методи та інструменти порівняння альтернатив, оцінювання ризиків та прогнозування.

- ПРН8 Обґрунтовувати вибір та застосовування матеріалів, обладнання та інструментів, інженерних технологій і процесів з урахуванням їх характеристик і властивостей, вимог до кінцевого продукту, а також нетехнічних аспектів.
- ПРН11 Оцінювати і забезпечувати якість об'єктів і процесів теплоенергетики.
- ПРН20 Впроваджувати економічно ефективні енергозберігаючі заходи, з ціллю підвищення енергетичної ефективності житлових та громадських будівель, а також схем і принципів роботи теплоутилізаційного обладнання.

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

Освоєння матеріалу дисципліни базується на попередньому вивченні теоретичних дисциплін «Тепломасообмін» і «Технічна термодинаміка», а також прикладної дисципліни «Джерела теплопостачання та споживачі теплоти». Отримані знання будуть корисними під час роботи над магістерською дисертацією, а також в подальшій професійній діяльності у разі виконання проєктів розробки енергоефективних систем кондиціювання повітря.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Призначення і будова HVAC систем.

Класифікація HVAC-систем. Водяний і повітряний контури HVAC-систем. Централізована система кондиціювання повітря із чиллером. Компоненти повітряного контуру. Нормативні документи для визначення параметрів мікроклімату приміщень.

Тема 2. Характеристика і складники систем розподілу повітря.

Конструкція припливної камери (AHU). Переваги та недоліки систем подачі постійного та змінного об'єму повітря до приміщення. Особливості використання фанкойлів (FCU) як компонентів систем кондиціювання повітря. Комбіновані системи розподілу повітря. Компоновка обладнання припливної камери.

Тема 3. Контроль температури окремих зон в приміщенні за допомогою регулювання витрати повітря.

Конструкція блоку регулювання витрати повітря. Послідовність регулювання температури повітря. Методи контролю температури повітря, їх переваги та недоліки. Стратегія керування блоком регулювання витрати повітря.

Тема 4. Читання креслень HVAC систем та графічна інтерпретація системи керування розподілом повітря у приміщенні.

Читання креслень та схем HVAC-систем. Аналіз системи керування розподілом повітря. Приклади графічної реалізації системи керування.

Тема 5. Фактори, які впливають на теплове навантаження будинку.

Зовнішні та внутрішні надходження теплоти до будинку. Ефект накопичення сонячного тепла. Заходи щодо зменшення надходжень теплоти до приміщення. Використання комп'ютерних програм для визначення теплового навантаження приміщення.

Тема 6. Процеси клімат-контролю приміщень.

Організація клімат-контролю приміщень різного призначення. Процеси обробки повітря. Явне та приховане теплове навантаження. Балансові та масові рівняння охолоджувального контуру припливної камери. Побудова процесу кондиціювання повітря у h-d діаграмі. Визначення характерних точок процесів клімат-контролю за допомогою бібліотеки CoolProp.

Тема 7. Розрахунок і вибір повітряних каналів.

Типи повітряних каналів. Фактори, які впливають на вибір повітропроводів. Метод питомих втрат тиску. Використання онлайн-калькуляторів для вибору розмірів повітряних каналів.

Тема 8. Практичні аспекти вибору обладнання систем розподілу повітря.

Основні параметри припливної камери. Вибір припливної камери за допомогою типових каталогів. Компоненти систем розподілу повітря. Місцеві втрати тиску у повітряних каналах.

Тема 9. Практичні кейси з підвищення енергоефективності HVAC систем.

Абсорбційні холодильні машини. Використання теплових труб у системах вентиляції та кондиціонування ізольованих приміщень лікарень. Використання витяжного повітря для охолодження сонячних фотоелектричних панелей.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базовими матеріалами для вивчення дисципліни є навчальні посібники і монографії :

1. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 36,087 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, **2019**. – 380 с.
2. Carrier system design manual. URL: <https://hvac-eng.com/carrier-system-design-manual> (дата звернення 08.05.2021).
3. Енергоефективні системи кондиціонування повітря. Лабораторний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика», спеціалізації «Промислова та муніципальна теплоенергетика та енергозбереження» / А.С. Соломаха, В.В. Серета ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, **2020**. – 53 с.
4. Legg R. Air conditioning system design. Butterworth-Heinemann, **2017**. 440 P.
5. McDowall R. Fundamentals of HVAC systems. Butterworth-Heinemann, **2006**. 235 P.
6. Owen M. Heating, ventilating and air-conditioning systems and equipment. ASHRAE, **2012**. 872 P.
7. Kreider J.F., Curtiss P.S., Rabl A. Heating and cooling of buildings: design for efficiency. CRC Press Taylor & Francis Group, **2009**. 866 P.
8. Липа А.И. Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха. Изд. второе, перераб., доп., Одесса: ОГАХ, Издательство: «Издательство ВМВ», **2010**. – 607 с., ил.

Допоміжні джерела:

1. Sugarman S. C. HVAC fundamentals. The Fairmont Press, **2005**. 309 P.
2. Руководство по проектированию VRF-систем Hisense. URL: <https://hisense-vrf.com.ua/files/tech/Manual-proektirovanie-VRF-Hisense.pdf> (дата звернення 17.05.2021).
3. Wu W., Li X., You T. Absorption heating technologies. Efficient heating, heat recovery and renewable energy. Springer Nature Singapore Pte Ltd., **2020**. 270 P. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0470-9>.
4. Salameh W., Castelain C., Faraj J. et al. Improving the efficiency of photovoltaic panels using air exhausted from HVAC systems: thermal modelling and parametric analysis. Case Studies in Thermal Engineering. **2021**. Vol. 25. P. 100940. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.100940>.
5. Sukarno R., Putra N., Hakim I.I. et al. Utilizing heat pipe heat exchanger to reduce the energy consumption of airborne infection isolation hospital room HVAC system. Journal of Building Engineering. **2021**. Vol. 35. P. 102116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2020.102116>.

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Опанування навчальної дисципліни базується на попередньому опрацюванню матеріалу кожної лекції, що надсилається викладачем заздалегідь, з подальшим опитуванням і детальним розглядом окремих питань під час проведення лекції або зустрічі при дистанційному режимі навчання. Крім

того, в рамках проведення практичних занять, студентам видаються індивідуальні завдання для попереднього їх вирішення і обговорення в рамках часу, передбаченого розкладом практичних занять.

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студента передбачена під час попереднього опрацювання матеріалу лекцій, що надсилається викладачем, а також при самостійному вирішенні індивідуальних завдань, що видаються в рамках програми практичних занять.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог до студентів:

- обов'язкова присутність на лекціях і практичних заняттях за розкладом;
- попереднє опрацювання матеріалу лекцій;
- самостійне вирішення індивідуальних завдань;
- доопрацювання завдань з урахуванням результатів перевірки і зроблених зауважень;

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

Види контролю знань студентів з дисципліни:

- відповіді на лекційних заняттях;
- відповіді на практичних заняттях;
- виконання завдань СРС;
- виконання та захист ДКР;
- виконання МКР (дві частини);
- відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) дві відповіді в середньому кожного студента на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб і вісімнадцяти лекційних заняттях (36 годин) отримуємо: $2 \cdot 18 / 10 \approx 4$ відповіді);
- 2) дві відповіді в середньому кожного студента на практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 студенти; при середній чисельності групи 10 осіб і девяти практичних заняттях (18 годин) отримуємо: $2 \cdot 9 / 10 \approx 2$ відповіді);
- 3) виконання завдань СРС;
- 4) виконання та захист ДКР;
- 5) виконання МКР;
- 6) відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на лекційних заняттях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_1 = 2 \text{ бали} \times 4 = 8 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

2 бали – повна вірна відповідь на поставлене запитання; 1 бал – відповідь має несуттєві помилки; 0 балів — наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

2. Робота на практичних заняттях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів студента на всіх заняттях: $r_2 = 2 \text{ бали} \times 2 = 4 \text{ бали}$.

Критерії оцінювання:

2 бали – повна вірна відповідь на поставлене запитання; 1 бал – відповідь має несуттєві помилки; 0 балів – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді.

3. Виконання завдань СРС

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів студента – 18 (завдання СРС видаються після кожного практичного заняття, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_3 = 2 \text{ бал} \times 9 = 18 \text{ балів}$. Виконане завдання надається викладачу у вигляді оформлених розрахунків, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

2 бали – в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; 1 бал – відповідь має несуттєві помилки; 0 балів – не вчасно надана відповідь.

Штрафні бали:

несвоєчасне виконання завдання СРС без поважної причини (хвороба) – мінус 1 бал за кожне невиконане завдання.

Заохочувальні бали:

участь у наукових та/або науково-практичних конференціях, семінарах, симпозіумах – 5 балів.

4. Виконання і захист ДКР

Максимальна кількість балів за виконання ДКР 15 балів і за захист 5 балів, тобто сумарна кількість балів дорівнює $r_4 = 15 + 5 = 20 \text{ балів}$. Завдання на ДКР видається студенту на початку семестру, строк здачі – останнє практичне заняття. Захист ДКР на консультації по дисципліні. Виконання та захист ДКР обов'язкове.

Критерії оцінювання виконання ДКР:

15 балів – виконання ДКР в повному об'ємі, оформлення відповідно до вимог; 12...14 балів – виконання ДКР в повному об'ємі, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; 8...11 балів – виконання ДКР з деякими незначними неточностями, відповідність вимогам щодо оформлення; 5...7 балів – виконання ДКР з деякими неточностями, незначна невідповідність вимогам щодо оформлення; 0...4 балів – виконання ДКР неточне, невідповідність вимогам щодо оформлення – виконання РГР не зараховано.

Критерії оцінювання захисту ДКР:

5 балів – повна вірна відповідь на поставлені запитання за темою ДКР; 3...4 балів – відповідь має несуттєві похибки; 1...2 бали – неповна відповідь; 0 балів – наявність суттєвих помилок у відповіді або відсутність відповіді, захист не зараховано.

Штрафні бали:

несвоєчасне представлення та/або захист ДКР без поважної причини (хвороба) – мінус 3 бали.

Заохочувальні бали:

використання програмних продуктів (Mathcad, Matlab тощо) та онлайн ресурсів (CoorProp, Air duct calculators тощо) під час виконання ДКР – до 5 балів.

5. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР. Кожна частина МКР складається із п'яти тестових завдань. Ваговий бал кожної частини – 5. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_5 = 5 \times 2 = 10 \text{ балів}$.

Критерії оцінювання:

5 балів – повна вірна відповідь на всі тестові завдання; 4...1 бали – наявність неповних та/або невірних відповідей на тестові завдання; 0 балів – відсутність відповіді, МКР не зараховано.

6. Відповіді на екзамені

Екзамен проводиться у письмово-усній формі і складається із двох частин. Теоретична частина включає комп'ютерне тестування за змістом навчальної дисципліни (завдання – 30 тестів закритої форми з однією правильною відповіддю з 5-и запропонованих) і оцінюється у 30 балів. Практична

частина містить одну задачу, розв'язок якої оцінюється у 10 балів. Тобто, максимальна кількість балів за екзамен $30+10 = 40$ балів.

Критерії оцінювання комп'ютерного тестування:

1 бал – повна вірна відповідь на одне тестове завдання; 0 балів – відповідь невірна або відсутня.

Критерії оцінювання розв'язку практичного завдання:

правильне раціональне рішення (не менше 90% потрібної інформації) – 9...10 балів;
правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 7...8 балів;
рішення з помилками (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 5...6 балів;
відсутність рішення (менше 50% потрібної інформації та помилки) – менше 5 балів.

Штрафні бали:

додаткове питання з тем лекційного курсу отримують студенти, які не брали участі у роботі певного заняття. Незадовільна відповідь з додаткового питання знижує загальну оцінку на 3 бали.

Розрахунок шкали рейтингу з дисципліни (R_d):

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

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5.$$

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 8+4+18+20+10 = 60$ балів.

Необхідною умовою допуску до екзамену є позитивна оцінка з виконання всіх завдань СРС, захист ДКР та стартовий рейтинг не менше $0,4 \times R_c = 24$ балів.

Студенти, які набрали в семестрі рейтинг з дисципліни менше, ніж 24 бали, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з цієї дисципліни і мають академічну заборгованість.

Екзаменаційна складова шкали дорівнює: $R_E = 40$ балів.

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

$$R_D = R_c + R_E = 60 + 40 = 100 \text{ балів.}$$

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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100-бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до екзамену. Студентам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимально можливого (тобто $R_c \geq 54$), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 60 + \frac{40 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де R – оцінка за 100-бальною шкалою;

R_i – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

R_c – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

R_D – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку з кредитного модуля, виконують екзаменаційну роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент кафедри, к.т.н., доц. Серeda Володимир Володимирович

Ухвалено кафедрою ТПТ (протокол № 16 від 24.06.2021 р.)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № 11 від 24.06.2021 р.)