



Низькопотенційна енергетика і теплонасосні технології

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	Третій (доктор філософії)
Галузь знань	14 Електрична інженерія
Спеціальність	144 Теплоенергетика
Освітня програма	ОНП Теплоенергетика
Статус дисципліни	Вибіркова
Форма навчання	очна(денна)/ очна(вечірня)
Рік підготовки, семестр	2-ий курс, весняний семестр
Обсяг дисципліни	6,5 кредитів; 195 годин
Семестровий контроль	Екзамен
Розклад занять	Лекційні заняття – півтора рази на тиждень (один тиждень – два рази, другий тиждень – один раз); практичні заняття – один раз на два тижні
Мова викладання	Українська/Англійська
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: д.т.н., проф. Безродний Михайло Костянтинович, тел. 0504185108 Практичні заняття: д.т.н., проф. Безродний Михайло Костянтинович, тел. 0504185108
Розміщення курсу	https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&sd=10188&cm=56634&rcms=188972&own=1&ssm=cm&tree_list=

Програма навчальної дисципліни

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

Особливості використання низькотемпературних джерел енергії в теплонасосних системах теплопостачання, ефективність застосування теплових насосів в системах теплопостачання, теплові насоси в промислових технологіях, холодильні технології в системах з відновлюваними джерелами енергії, використання низькопотенційних теплових вторинних енергетичних ресурсів.

Метою дисципліни є вивчення нових актуальних засад сучасної низькопотенційної енергетики, пов'язаної з отриманням і використанням штучного холоду в промисловості, а також з використанням низькопотенційних джерел енергії за допомогою теплонасосних технологій.

При викладанні дисципліни будуть вивчатися:

стратегія енергозбереження, холодильні технології, використання штучного холоду в енергетичних системах з відновлюваними джерелами,

особливості використання низькотемпературних джерел енергії в тепло насосних системах тепlopостачання, ефективність застосування теплових насосів в системах тепlopостачання, ефективність використання теплових насосів в промислових технологіях.

Метою навчальної дисципліни є формування здатностей (компетентностей), які аспірант набуде після вивчення дисципліни:

https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&sd=10188&cm=56634&rcms=188972&own=1&ssm=cm&tree_list=

- ЗК1 Здатність до критичного аналізу та синтезу, абстрактного мислення та генерування нових знань при вирішенні дослідницьких і практичних завдань.
- ФК1 Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукові результати, які створюють нові знання у сфері теплоенергетики та дотичних до неї міждисциплінарних напрямів і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з теплоенергетики та суміжних галузей.
- ФК4 Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру у сфері теплоенергетики, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.
- ФК5 Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в теплоенергетиці та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.
- ФК6 Здатність розуміти сучасні проблеми науково-технічного розвитку енергетики, знати сучасні технології енерго- та ресурсозбереження.

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

- ПРН1 Мати передові концептуальні та методологічні знання з теплоенергетики і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх світових досягнень з теплоенергетики, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.
- ПРН2 Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми теплоенергетики державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.
- ПРН4 Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно

використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у теплоенергетиці та дотичних міждисциплінарних напрямках.

- ПРН5 Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з теплоенергетики та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.
- ПРН6 Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми теплоенергетики з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.
- ПРН7 Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

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

Освоєння матеріалу дисципліни базується на попередньому вивченні теоретичних дисциплін («Технічна термодинаміка», «Тепломасообмін», «Гідродинаміка»), а також прикладних дисциплін, «Тепломасообмінні процеси і установки», «Використання вторинних енергоресурсів», «Теплові насоси і їх використання. Отримані знання будуть корисними при проведенні власних наукових досліджень в рамках запланованої дисертації, а також в подальшій професійній діяльності при виконанні проектів розробки ефективних холодильних і теплонасосних технологій в галузі низькопотенційної енергетики.

3. Зміст навчальної дисципліни

Тема 1. Стратегія енергозбереження на основі використання штучного холоду.

Тема 2. Холодильні технології як альтернативний засіб енергозбереження.

Тема 3. Штучний холод в енергетичних системах з відновлюваними джерелами енергії.

Тема 4. Системи акумулювання холоду, водо льодяні акумулятори холоду.

Тема 5. Енергозберігаючі холодильні системи.

Тема 6. Особливості використання низькотемпературних джерел енергії в теплонасосних системах тепlopостачання.

Тема 7. Ефективність застосування теплових насосів в системах теплопостачання.

Тема 8. Використання теплових насосів в промислових технологіях.

Тема 9. Комбіновані системи геотермального теплопостачання.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базовими матеріалами для вивчення дисципліни є навчальні посібники і монографії :

1. Редько А. О., Безродний М. К., Загорученко М. В., Ратушняк Г. С., Редько О. Ф., Хмельнюк М. Г. НИЗЬКОПОТЕНЦІЙНА ЕНЕРГЕТИКА. **Навчальний посібник** (Під редакцією академіка НАНУ А. А. Долинського), Харків: Видавництво «Друкарня Мадрид», **2016.** – 412с.
2. Безродний М.К., Пуховий І.І., Кутра Д.С. Теплові насоси та їх використання. **Навчальний посібник.** – Київ: НТУУ «КПІ», **2013.** – 312 с.
3. Безродный М.К., Кутра Д.С. Эффективность применения тепловых насосов в установках сушки древесины. **Монографія.** – Киев: «Політехніка», **2011.** – 240 с.
4. Безродний М.К., Притула Н.А. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання. **Монографія.** – Київ: НТУУ «КПІ», **2012.** – 208 с.
5. Безродний М.К., Кутра Д.С. Ефективність теплонасосних систем кондиціювання повітря. **Монографія.** – Київ: НТУУ «КПІ», **2015.** – 172 с.

Допоміжні джерела:

1. Bezrodny M.K., Kutra D.S. Thermodynamic efficiency of heat pump dryers for drying of wood with the full recycling of the drying agent. - VIII Minsk International Seminar “Heat Pipes, Heat Pumps, Refrigerators, Power Sources”, Vol. 1, 12-15 September, 2011, Belarus, Minsk, p. 187-193.
2. Bezrodny M.K., Kutra D.S. Thermodynamic efficiency of heat pump dryer for drying of wood with full recycling and bypassing of the drying agent. – ”INNOVATIONS AND TECHNOLOGIES NEWS “, **2011, №3, p.3-13.**
3. Bezrodny M.K., Kutra D.S. Thermodynamic Efficiency of Heat Pump Dryers for Drying of Wood with Full Recycling of the Drying Agent. – ”INNOVATIONS AND TECHNOLOGIES NEWS “, **2012, №3, p.11-33.**
4. Bezrodny M.K., Prytula N.A., Безродный М.К., Притула Н.А. Thermodynamic efficiency of water heating and ventilation heat pump scheme using the heat of ventilation and ambient air. – ”INNOVATIONS AND TECHNOLOGIES NEWS “, **2012, №4, p.13-22.**
5. Bezrodny M.K., Kutra D.S. Thermodynamic Efficiency of Heat Pump Dryers for Drying of Wood with Full Recycling of the Drying Agent. – ”INNOVATIONS AND TECHNOLOGIES NEWS “, **2012, №3, p.11-33.**
6. Bezrodny M.K., Prytula N.A., Безродный М.К., Притула Н.А. Thermodynamic efficiency of water heating and ventilation heat pump scheme using the heat of

ventilation and ambient air. – ”INNOVATIONS AND TECHNOLOGIES NEWS “, 2012, №4, p.13-22.

7. M. K. Bezrodny, T. O. Misiura. The heat pump system for ventilation and air conditioning inside the production area with an excessive internal moisture generation. - Eurasian physical technical journal, 2020, vol. 17, No , p. (принята к печати).

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

6. Самостійна робота аспіранта

Самостійна робота аспіранта передбачена при попередньому опрацюванні 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 аспірантів:

- 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;
- відключення телефонів на контактних заняттях.

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

Види контролю знань аспірантів з дисципліни:

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

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

- 1) дві відповіді в середньому кожного аспіранта на лекційних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 аспіранти; при середній чисельності групи 10 осіб і двадцяти семи лекційних заняттях (54 години) отримуємо: $2 \cdot 27 / 10 \approx 6$ відповідей);
- 2) дві відповіді в середньому кожного аспіранта на практичних заняттях (на одному занятті опитуються приблизно 3 аспіранти; 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 однієї МКР;
- 5) відповідь на екзамені – максимально 40 балів.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання

1. Робота на лекційних заняттях

Ваговий бал – 2. Максимальна кількість балів аспіранта на всіх заняттях: $r_1 = 2$ бали $\times 6 = 12$ 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 аспіранта на всіх заняттях: $r_2 = 2$ бали $\times 2 = 8$ 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.

3. Виконання завдань СРС

Ваговий бал – 1. Максимальна кількість балів аспіранта 36 (завдання СРС видаються після кожної лекції і кожного практичного заняття, строк задачі завдання – не пізніше ніж через тиждень): $r_3 = 1$ бал $\times 36 = 36$ балів. Виконане завдання надається викладачу у вигляді конспекту, виконання завдань СРС обов'язкове.

Критерії оцінювання:

1 бал – в повному об'ємі і вчасно надана відповідь; 0 балів – не вчасно надана відповідь.

Штрафні бали:

– несвоєчасне представлення виконаного завдання СРС без поважної причини (хвороба) – -1 бал.

Заохочувальні бали

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

4. Модульна контрольна робота (МКР)

Проводиться дві частини МКР. Ваговий бал кожної частини – 4. Максимальна кількість балів за МКР дорівнює $r_4 = 4 \times 2 = 8$ балів.

Критерії оцінювання:

4 бали – повна вірна відповідь на завдання; 3 бали – відповідь має несуттєві похибки; 2 бали – неповна відповідь; 0...1 бал – наявність суттєвих помилок в неповній відповіді або відсутність відповіді, МКР не зараховано.

5. Відповіді на екзамені

Екзамен проводиться у письмово-усній формі. Екзаменаційний білет складається з трьох теоретичних питань. Перелік питань наведений у додатку до силабусу дисципліни. Перші два теоретичних питання оцінюються по 10 балів, а третє – 20 балів. Тобто, максимальна кількість балів за виконання завдання $10+10+20 = 40$ балів.

Критерії оцінювання:

Кожне питання екзаменаційної роботи оцінюється згідно до системи оцінювання:

правильне раціональне рішення, або повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 9...10 (18...20) балів;

достатньо повна відповідь, правильне рішення (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 7...8 (14...17) балів;

неповна відповідь, рішення з помилками (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 5...6 (11...13) балів;

незадовільна відповідь, або відсутність рішення (менше 50% потрібної інформації та помилки) – менше 5 (10) балів.

Штрафні бали:

додаткове питання з тем лекційного курсу отримують аспіранти, 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:

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

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

Максимально можливий стартовий рейтинг: $R_c = 12+4+36+8 = 60$ балів.

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

Аспіранти, 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 RE 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. Аспірантам, 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 професор кафедри, д.т.н., проф. Безродний Михайло Костянтинівич

Ухвалено кафедрою ТПТ (протокол № 14 від 24.06.2020 р.)

Погоджено Методичною комісією факультету (протокол № 10 від 25.06.2020р.)