



## Теплотехнологічні процеси і установки – 3. Курсова робота

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

| Рівень вищої освіти                         | Перший (бакалаврський)                                                                                        |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Галузь знань                                | 14 Електрична інженерія                                                                                       |
| Спеціальність                               | 144 Теплоенергетика                                                                                           |
| Освітня програма                            | ОПП Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження                                             |
| Статус дисципліни                           | Нормативна                                                                                                    |
| Форма навчання                              | Очна/денна                                                                                                    |
| Рік підготовки, семестр                     | 4-й курс, осінній семестр                                                                                     |
| Обсяг дисципліни                            | 1 кредит; 30 годин.                                                                                           |
| Семестровий контроль                        | Курсова робота                                                                                                |
| Розклад занять                              | Аудиторні заняття не передбачені                                                                              |
| Мова викладання                             | Українська                                                                                                    |
| Інформація про керівника курсу / викладачів | Лектор: к.т.н., доцент Середя Володимир Володимирович,<br>email: sereda.volodymyr@lil.kpi.ua                  |
| Розміщення курсу                            | <a href="https://classroom.google.com/c/MTUzNTMwMzQ0MTM0">https://classroom.google.com/c/MTUzNTMwMzQ0MTM0</a> |

#### Програма навчальної дисципліни

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

Однією із глобальних світових проблем сьогодення є економія енергоресурсів, залучення в сферу їх виробництва нетрадиційних джерел, впровадження енергозбережливих технологій. Важливою стадією багатьох технологічних процесів, які застосовують у хімічній, фармацевтичній, деревообробній та інших галузях промисловості України є сушіння, на яке витрачається значна кількість енергетичних ресурсів (приблизно 15% видобутого палива та електроенергії). Як свідчить статистика, енергоємність технологічних процесів в Україні є у 3-5 разів вищою, ніж у розвинених країнах. В більшості випадків на процеси сушіння використовується у 2,5-3 рази більше енергії від необхідної для перетворення вологи у пару, що свідчить про недосконалість технології сушіння. Спеціаліст-теплоенергетик в залежності від профілю його практичної роботи повинен мати досить глибокі знання в області теорії, практики та технології сушіння та вміти їх використовувати в своїй професійній діяльності.

**Метою** дисципліни «Теплотехнологічні процеси і установки – 3. Курсова робота» є формування у студентів знань щодо основних принципів побудови та експлуатації сушильної техніки та вміння правильно вибирати технологічні режими сушіння із мінімізацією енерговитрат.

**Предметом** вивчення дисципліни є основні властивості сушильних агентів та вимоги до них; теоретичні основи та фізична сутність процесів сушіння; основні схеми та конструкція сушильних установок; застосування відновлювальних джерел енергії у складі сушарок різних конструкцій.

Вивчення дисципліни формує такі **компетентності**:

- ЗК 3 Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.
- ЗК 4 Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- ФК 2 Здатність застосовувати і інтегрувати знання і розуміння інших інженерних дисциплін для вирішення професійних проблем.
- ФК 8 Здатність використовувати наукову і технічну літературу та інші джерела інформації у професійній діяльності в теплоенергетичній галузі.
- ФК 14 Здатність розробляти і реалізовувати енергозберігаючі заходи при проектуванні та експлуатації теплоенергетичного обладнання, аналізувати схеми теплоенергетичних і теплотехнологічних установок з урахуванням вимог безпеки і сучасних тенденцій розвитку енергетики в залежності від призначення і типу палива, яке використовується.
- ФК 15 Здатність розробляти оптимальні конструкції та експлуатаційні режими теплообмінного обладнання; оцінювати ефективність і загальну економічність використання різних видів ВЕР, нетрадиційних джерел енергії, об'єктів з теплонасосними системами тепlopостачання.

**В результаті** вивчення дисципліни студент навчиться:

- ПРН 4 Аналізувати і використовувати сучасні інженерні технології, процеси, системи і обладнання у сфері теплоенергетики.
- ПРН 6 Виявляти, формулювати і вирішувати інженерні завдання у теплоенергетиці; розуміти важливість нетехнічних (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) обмежень.
- ПРН 9 Вміти знаходити необхідну інформацію в технічній літературі, наукових базах даних та інших джерелах інформації, критично оцінювати і аналізувати її.
- ПРН 13 Розуміти ключові аспекти та концепції теплоенергетики, технології виробництва, передачі, розподілу і використання енергії.
- ПРН 16 Розуміти нетехнічні (суспільство, здоров'я і безпека, навколишнє середовище, економіка і промисловість) наслідки інженерної практики.
- ПРН 17 Аргументувати і доносити судження, які відбивають інженерні рішення в сфері теплоенергетики та відповідні соціальні, екологічні та етичні проблеми до фахівців і нефаківців.

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

Освоєння матеріалу дисципліни базується на попередньому вивченні теоретичних дисциплін «Хімія», «Фізика», «Гідрогазодинаміка», «Технічна термодинаміка» та «Тепломасообмін». Отримані знання використовуються під час роботи над дипломною роботою бакалавра, а також в подальшій професійній діяльності.

## 3. Зміст навчальної дисципліни

### 3.1. Графік виконання курсової роботи

| Тиждень семестру | Назва етапу роботи                                        | Навчальний час |
|------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
|                  |                                                           | СРС            |
| 2                | Отримання теми та завдання                                | 1              |
| 3                | Підбір та вивчення літератури                             | 2              |
| 4                | Загальні відомості про тунельні сушильні установки        | 1              |
| 5-6              | Розрахунок горіння палива та параметрів сушильного агента | 4              |

|       |                                                                |    |
|-------|----------------------------------------------------------------|----|
| 7-8   | Розрахунок статистики теоретичного процесу сушіння в тунелі    | 4  |
| 9-10  | Розрахунок статистики реального процесу сушіння в тунелі       | 4  |
| 11-12 | Розрахунок тривалості процесу сушіння                          | 4  |
| 13    | Розрахунок розмірів сушильного тунелю                          | 2  |
| 14-15 | Вибір допоміжного устаткування                                 | 4  |
| 16    | Подання курсової роботи на перевірку                           | 1  |
| 17    | Редагування тексту роботи, виготовлення друкованого примірника | 2  |
| 18    | Захист курсової роботи                                         | 1  |
| Разом |                                                                | 30 |

### 3.2. Перелік тем і завдання на розрахунок

*Тематика курсової роботи* – «Тепловий розрахунок конвекційної тунельної сушильної установки». Вибір теми обумовлений тим, що в тунельних сушарках реалізується конвекційний спосіб сушіння, а конвекційні сушильні установки становлять близько 95% від усіх сушильних установок, які нині експлуатуються.

*Завдання на розрахунок сушильної тунельної установки:*

Виконати тепловий розрахунок конвекційної тунельної сушильної установки, визначити тривалість сушіння, розміри установки, вибрати вентилятор для подавання зовнішнього повітря, димосос, газові пальники та циклон, зобразити загальний вигляд установки та допоміжного обладнання на підставі таких вихідних даних.

Сушильна установка розташована в населеному пункті, в якому параметри зовнішнього повітря  $t_0$ ,  $\varphi_0$ , і  $B$  взимку (січень) і влітку (липень).

Як сушильний агент використано суміш топкових газів із зовнішнім повітрям, яка надходить на вхід сушильного тунелю з температурою  $t_{\text{сум}}$  і використовується в ньому одноразово.

Паливо – природний газ – має склад у відсотках за об'ємом і нижчу теплоту згоряння на суху масу за нормальних умов  $Q_n^c$ . Температура палива  $t_n$  дорівнює температурі навколишнього повітря відповідно у січні та липні. Коефіцієнт корисної дії (ККД) топки  $\eta_t = 0,95$ . Продуктивність установки за готовим продуктом –  $G_2$ . Початковий вологовміст об'єкта сушіння –  $u_0$ , кінцева вологість готового продукту –  $\omega_k$ . Питома масова теплоємність висушеного матеріалу –  $c_m$ . Рівноважна вологість готового продукту, яка відповідає параметрам сушильного агента на виході з тунелю –  $\omega_p$ . Питома площа поверхні об'єкта сушіння –  $F_{\text{нут}}$ . Матеріал надходить на сушіння з температурою  $\theta_1$ , що дорівнює відповідно температурі за мокрим термометром, яка відповідає параметрам зовнішнього повітря, влітку і температурі зовнішнього повітря взимку. Температура висушеного матеріалу на виході із сушильного тунелю  $\theta_2 = t_2 - \Delta t$ , де  $t_2$  – температура сушильного агента на виході з тунелю;  $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ .

Матеріал переміщується в сушильному тунелі транспортними пристроями - вагонетками з піддонами - в одному напрямку із сушильним агентом. Питома масова теплоємність транспортних пристроїв  $c_{\text{мп}} = 0,5 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ . Температура транспортних пристроїв на вході в сушильний тунель  $t_{\text{мп}}^I$  дорівнює температурі зовнішнього повітря відповідно влітку і взимку, а на виході з тунелю – температурі висушеного матеріалу, тобто  $t_{\text{мп}}^{II} = \theta_2$ .

Об'єкт сушіння перебуває в піддонах з розмірами  $a_{\text{нд}} \times b_{\text{нд}} \times c_{\text{нд}} = 900 \times 912 \times 50$  мм. Піддони встановлені на вагонетках, розміри яких  $a_g \times b_g \times c_g = 2200 \times 950 \times 1550$  мм. Кількість

піддонів на вагонетці  $n_{\text{під}}=30$  шт. Маса піддона  $m_{\text{під}}=1$  кг; маса вагонетки  $m_{\text{в}}=100$  кг. Піддони розташовані на вагонетці як це зображено на рис. 1.

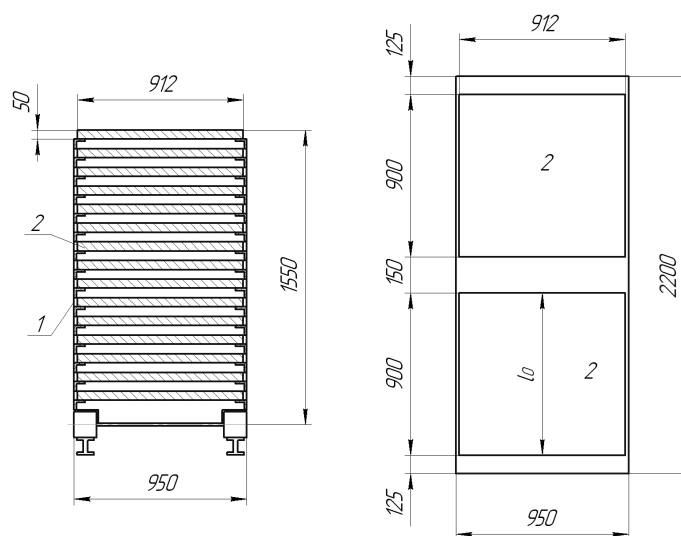


Рис. 1. Схема розташування піддонів на вагонетці:  
1 - вагонетка; 2 - піддони

Насипна густина готового продукту  $\rho_{2,m}=650$  кг/м<sup>3</sup>. Характерна довжина матеріалу (визначальний розмір) у напрямку обтікання його сушильним агентом  $l_0=0,9$  м. Швидкість руху сушильного агента в тунелі на ділянці, яка відповідає першому періоду сушіння –  $\omega_0$ , м/с.

Питомі втрати теплоти сушильною установкою в навколишнє середовище  $q_5$  становлять  $a$  відсотків від сумарної питомої витрати теплоти на сушіння  $q$ .

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

**Базовими матеріалами для вивчення дисципліни є навчальні посібники і монографії:**

1. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2007. - 76 с. Доступ: <http://tkachenko.vk.vntu.edu.ua/file/cda121b838067ae3ea7278d7f3afc556.pdf>
2. Системи опалення, вентиляції і кондиціювання повітря будівель [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / М.Ф.Боженко ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 380 с.
3. Куба В.В., Серeda В.В. Теплотехнологічні процеси та установки. Розділ «Установка сушильна тунельна». Практикум. Навчальний посібник – Рівне: НУВГП, 2012. – 81 с. Доступ: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/1805>.

#### Допоміжні джерела:

1. Сушильные процессы и установки (примеры, задачи, типовые расчеты). Часть первая. Учебное пособие для студентов направления бакалаврской подготовки 6.050601 «Теплоэнергетика» / Авторы: В.М. Минаковский, И.А. Назарова, – К.: НТУУ «КПИ», ТЭФ. 2016. – 217 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/16515>.
2. Методичні вказівки та завдання до виконання курсового проекту з дисципліни «Теплотехнологічні процеси і установки» для студентів напряму підготовки 6.050601 «Теплоенергетика» / В.В. Куба, В.В. Серeda. – Рівне: НУВГП, 2011р. – 43 с. Доступ: <http://ep3.nuwm.edu.ua/673/>.

3. Бібліотека визначення фізичних властивостей речовин CoolProp. Доступ: <http://www.coolprop.org/>.
4. Мінаковський, Віктор Мирославович. Теплотехнологічні процеси та установки: посібник / В.М. Мінаковський; Мін-во освіти і науки України, НТУУ «КПІ». – Київ: НТУУ «КПІ», 2009. – 128 с.

## **Навчальний контент**

### **5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

Пропонована курсова робота – комплексна, ґрунтується на знаннях матеріалу основних розділів навчальної дисципліни «Теплотехнологічні процеси та установки». Під час виконання та захисту цієї самостійної практичної роботи студент має можливість показати активне володіння матеріалом дисципліни та здатність застосовувати знання цього матеріалу на практиці; рівень своєї загальноінженерної та спеціальної підготовки на момент захисту; знання, уміння та навички виконання основних розрахунків процесів сушіння та сушильних установок, оформлення результатів відповідно до вимог стандартів ЄСКД на проектно-конструкторську документацію, а також виявити індивідуальні здібності.

Проектуючи конвекційні сушильні установки, студент має виконувати розрахунки параметрів стану сушильних агентів, статички й кінетики процесу сушіння, розмірів сушильної установки, вибирати на підставі розрахунків допоміжне устаткування сушильної установки. У цьому разі широко використовують  $h, d$ -діаграму станів волого повітря, особливо за графоаналітичного методу розрахунку.

Виконуючи курсову роботу, студент закріплює, розширює й поглиблює знання про властивості вологого повітря як сушильного агента, про  $h, d$ -діаграму станів вологого повітря, набуває вмінь й навичок вільного користування цією діаграмою. Сушильним агентом можуть бути бінарні парогазові суміші не тільки повітря, але й інших газів (азоту, аргону, гелію тощо) з водяною парою або парою інших рідин. Знаючи принципи побудови діаграми вологого повітря, студент може легко побудувати  $h, d$ -діаграму для будь-якої іншої пари «сухий газ-пара».

Курсова робота є комплексом окремих завдань, що ілюструють основні теми кредитного модулю «Теплотехнологічні процеси та установки 2. Сушильні процеси та установки». Усі завдання об'єднані спільними ідеєю та вихідними цифровими даними в один комплексний розрахунок. Фактично це логічно закінчений проект, що містить усі основні елементи інженерного розрахунку реальної конвекційної тунельної сушильної установки і вибору її допоміжного устаткування.

Виконуючи курсову роботу, студент закріплює, розширює й поглиблює знання про матеріальний і тепловий баланси конвекційних сушильних установок, основні варіанти сушильних процесів та схеми сушильних установок, методики розрахунку параметрів топкових газів; про аналітичний і графоаналітичний розрахунки статички процесу сушіння в теоретичній і реальній сушильних установках, розрахунки тривалості процесу сушіння та основних розмірів сушильних установок; про методику підбору вентиляторів і димососів. На основі цих знань він здобуває відповідні практичні вміння і навички, самостійно виконуючи розрахунки процесу горіння газоподібного палива й основних параметрів топкових газів; статички процесу сушіння в теоретичній і реальній установках аналітично та графоаналітично; зовнішнього масообміну і тривалості сушіння; основних розмірів сушильної установки, а також підбираючи вентилятор і димосос, пальники, циклон.

Завершена курсова робота має бути оформлена як одне ціле у вигляді розрахунково-пояснювальної записки, з докладним і повним викладом. Обсяг пояснювальної записки – до 35 сторінок формату А4 машинописного тексту (без додатків), враховуючи всі вимоги до оформлення.

На виконання курсової роботи студент витрачає 30 годин самостійної роботи. Студент виконує курсову роботу поетапно, відповідно до календарного графіка, відповідає за правильність розрахунків і виконання етапів проекту відповідно до графіка.

Для контролю за виконанням етапів курсової роботи й відповіді на питання, що виникають у студентів під час її виконання, призначаються планові консультації. Студент зобов'язаний

систематично відвідувати консультації та пред'являти керівникові робочі чернетки розрахунків. Керівник перевіряє їх, вказує на виявлені помилки і неточності, відповідає на запитання, зараховує виконану студентом частину проекту, затверджує і рекомендує її до остаточного оформлення у пояснювальній записці.

## Політика та контроль

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

На виконання курсової роботи передбачено 30 годин СРС.

Рейтингова оцінка з курсової роботи має дві складові. Перша  $r_1$  (стартова) складова характеризує роботу студента при виконанні курсової роботи та її результат – якість пояснювальної записки. Друга складова  $r_2$  характеризує якість захисту студентом курсової роботи.

Розмір шкали першої складової дорівнює  $r_1=40$  балів, а другої складової –  $r_2=60$  балів. Сума балів двох складових (рейтингова шкала)  $R=r_1+r_2=100$  балів.

#### *Система рейтингових балів*

Ваговий бал стартової складової  $r_1$  має такі компоненти:

- своєчасність виконання затвердженого графіку виконання курсової роботи – 3...5 балів;
- сучасність та глибина обґрунтування прийнятих технічних рішень – 3...5 балів;
- правильність застосування методик розрахунків, правильність розрахунків і коректність результатів – 5...20 балів;
- якість оформлення пояснювальної записки виконання вимог нормативних документів – 5...10 балів.

Ваговий бал захисту курсової роботи  $r_2$  має наступні складові:

- ступінь володіння матеріалом – 6...10 балів;
- повнота аналізу можливих варіантів – 9...15 балів;
- ступінь обґрунтування прийнятих рішень – 12...20 балів;
- вміння захищати свою думку – 9...15 балів.

Сума балів двох складових переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

| Бали $R=r_1+r_2$                                   | Оцінка ECTS                                         | Традиційна оцінка |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------|
| 95-100                                             | Відмінно – A – 5                                    | Відмінно          |
| 85-94                                              | Дуже добре – B – 4,5                                | Добре             |
| 75-84                                              | Добре – C – 4                                       |                   |
| 65-74                                              | Задовільно – D – 3,5                                | Задовільно        |
| 60-64                                              | Достатньо – E – 3                                   |                   |
| Менше 60                                           | Незадовільно – Fx – 2                               | Не задовільно     |
| $r_1 < 24$ – курсова робота не допущена до захисту | Незадовільно – F – 0<br>(потрібна додаткова робота) | Не допущено       |

#### 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.)