

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ АПВ

Методичні вказівки до проведення лабораторних занять

СУМИ – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ АПВ

Методичні вказівки щодо проведення лабораторних занять

**для здобувачів 4 та 3 с.т. курсу
освітньої програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
денної та заочної форм здобуття освіти
ступеню вищої освіти «бакалавр»**

УДК 621.18(072)

Ч 44

Укладачі: **Чепіжний А.В.**, к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Козін В.М., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем
Сіренко В.Ф., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Ч 44 Теплоенергетичні установки і системи АПВ : методичні вказівки щодо проведення лабораторних занять / укл. А. В. Чепіжний, В. М. Козін, В. Ф. Сіренко – Суми, 2025 – 28 с.

В методичних вказівках щодо проведення лабораторних занять наведено основні принципи проведення розрахунків роботи енергетичних установок, що використовуються в галузі АПВ їх основні характеристики. Також наведено основні показники роботи їх на різних видах палива.

Рецензенти:

Лобода В.Б., к.т.н., професор кафедри охорони праці та фізики
Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент кафедри технічного сервісу та галузевого машинобудування

Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В. к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем

Рекомендовано до видання Радою із забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти інженерно-технологічного факультету.

Протокол №4 від 28.01.2025 року

ЗМІСТ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННЯХ.....	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ В ОВОЧЕСХОВИЩАХ.....	12
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. РОЗРАХУНКИ СУШАРОК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ.....	16
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК СУШАРОК.....	20
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	23
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	26

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1. ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННЯХ

План

1. Розрахунок продуктивності місцевих підсосів.
2. Визначення повітрообміну в приміщенні.
3. Аеродинамічний розрахунок вентиляційних каналів.
4. Вибір калориферів і вентиляторів.

Мета. Оволодіти методикою розрахунків технологічних параметрів газоповітряного тракту котельного агрегату.

Завдання. Визначити об'єм продуктів повного згоряння на виході із топки, а також теоретичний та дійсний об'єми повітря, необхідні для 1 м³ природного газу. Визначити об'єм продуктів повного згоряння на виході із топки, а також теоретичний та дійсний об'єми повітря, необхідні для 1 кг твердого або рідкого палива.

Вид та склад палива визначає викладач.

1. Розрахунки продуктивності обладнань місцевих відсосів

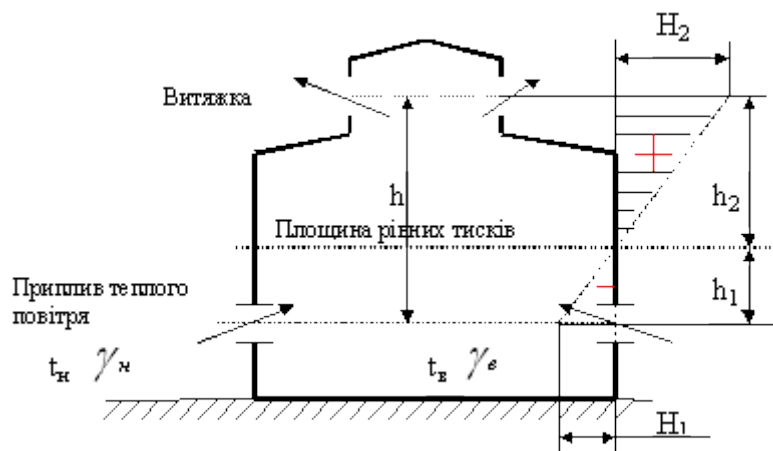


Рисунок 1.1. Природний рух повітря в приміщенні

Витяжні парасолі використовують для вловлювання або видалення спрямованих нагору шкідливих виділень. Кут розкриття парасоля - не більш 60°. Прийомний отвір парасолі повинний перекривати в плані джерело шкідливих виділень. Парасолі влаштовують із природньою або механічною витяжкою.

Витрата повітря, що видаляється через парасоль над тепловим джерелом, м³/год:

$$P_z = \frac{125A_3}{A_u \sqrt[3]{\Phi_k H A_u^2}}$$

де A_3 і A_u - площі відповідно парасолі й джерела теплоти, м² (відношення A_3/A_u приймають рівним 1,25...1,5); Φ_k - конвективна складова джерела теплоти, Вт; H - відстань від нагрітої поверхні до поітроприймального перетину парасоля, м.

Значення Φ_k знаходять із рівняння

$$\Phi_k = \alpha_k A_u (t_u - t_v)$$

де α_k - коефіцієнт теплообміну, Вт/(м²·К); t_u - температура нагрітої поверхні джерела, °С; t_v - температура повітря в приміщенні, °С.

Значення α_k може бути визначене по формулі

$$\alpha_k = 1,5 \sqrt[3]{t_u - t_v}$$

Парасолі-Козирки, установлювані над вхідними отворами печей, сушильних камер і іншого подібного встаткування, призначені для видалення продуктів згоряння в суміші з повітрям приміщення.

Значення t_0 і v_0 для робочих місць із поверхневою щільністю променистого теплового потоку 350 Вт/м² і більш наведено в таблиці 13. Ці дані ставляться до впливу променистого потоку протягом 15...30 хв.

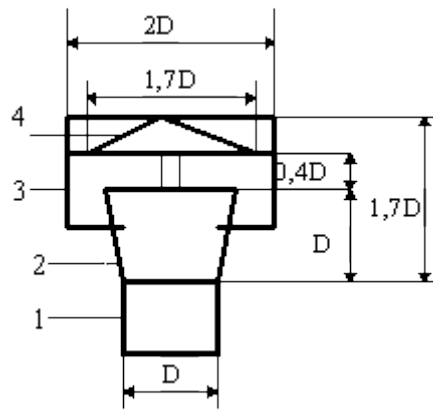


Рисунок 1.2. Диффлектор

2. Визначення повітрообміну в приміщенні

Необхідний повітрообмін загально обмінної вентиляції визначають по надлишкам теплоти, вологи, шкідливим газам і парам. При використанні механічної вентиляції рекомендується наступне:

- якщо в теплий період долі по технологічних причинах необхідна штучна вентиляція приміщення, ті за розрахунковий повітрообмін ухвалюють більше його значення по трьом періодам року: холодному, перехідному й теплому;

- якщо в теплий період доби можна обмежитися провітрюванням приміщення через відкриті прорізи, ті за розрахунковий повітрообмін ухвалюють більший з перехідного й холодного періодів.

Для визначення параметрів повітря в приміщенні при наявності надлишків теплоти $Q_{изб}$ і вологи $M_{вл}$ користуються кутовим коефіцієнтом променя процесу повітрообміну, кДж/кг: зовнішнього; П - приточного; В - відведеного; В - у зоні, що обслуговується, приміщення; МО - відведеної місцевими відсосами; МП - подаваного місцевої приточної вентиляцією; З - суміші рециркуляційного зовнішнього повітря.

Параметри повітря, що йде із приміщення, знаходять продовженням променя до ізотерми t_{vx} .

При наявності місцевих відсосів МО параметри повітря, що віддається, як правило, збігаються з параметрами повітря в, що обслуговується або робочій зоні.

Параметри повітря (при наявності повітряного душирования) наносять на - Hd діаграмі після уточнення температурної ентальпії місцевої системи вентиляції в крапці МП. Крапку Zi змішання двох потоків знаходять за правилами змішання |чн нолов повітря:

$$H_i = \frac{M_n H_n + M_{мп} H_{мп}}{M_n + M_{мп}};$$

$$d_i = \frac{M_n d_n + M_{мп} d_{мп}}{M_n + M_{мп}},$$

де M_n , і H_n - маса й ентальпія повітря в крапці П; $M_{мп}$ і $H_{мп}$ - їх значення в крапці МП.

Після визначення крапки С розрахунки ведуть за методикою, викладеною вище.

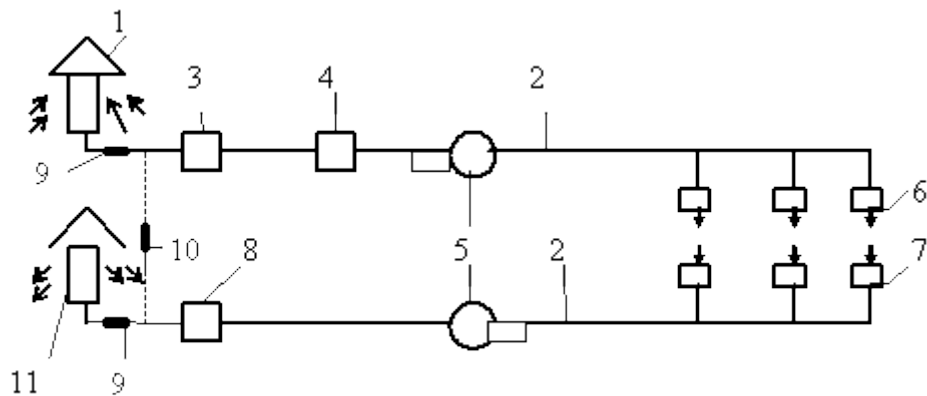


Рисунок 1.3. Схема припливно-витяжної механічної вентиляції: 1 – повітрозабірник; 2 - повітровод; 3 - фільтр-пилловловлювач; 4 - кондиціонер; 5 - вентилятор; 6, 7 - припливні та витяжні насадки; 8 - очисні пристрої; 9 - дросельні клапани для регулювання кількості повітря; 10 - клапани для рециркуляції; 11 - витяжні труби

3. Аеродинамічний розрахунок вентиляційних каналів

Розрахункам повітропроводів передують графічне зображення на плані будинку елементів системи вентиляції - каналів повітропроводів, забірних і витяжних шахт, приточних і витяжних установок.

У якості характерного розміру прямокутних каналів і шахт використовується еквівалентний діаметр d_3 :

$$d_3 = 2 [ab/(a + b)],$$

де a, b — розміри прямокутного перетину, м.

Запірні й регулюючі пристрої (шибери й дросель-клапани), що включаються або регульовані в процесі експлуатації, встановлюють перед відгалуженнями, а також перед роздаточними і приймальними пристроями.

Відповідно до прийнятих конструктивних рішень будують розрахункову аксонометричну схему повітропроводів із зазначенням вентиляційного встаткування й запірних (регулюючих) органів. Схему ділять на окремі розрахункові ділянки, границями яких звичайно є трійники або хрестовини. Кожна розрахункова ділянку вказують виносною горизонтальною лінією, над якою проставляють розрахункову витрату повітря L , м³/рік, а під лінією - довжину ділянки l , м. У кружку в лінії записують номер ділянки.

Подальші розрахунки системи повітропроводів виконують у такій послідовності. Складають таблицю - бланк розрахунків рекомендованої форми. У таблицю включають наступні графи: номер ділянки; витрата повітря L , м³/рік; довжину ділянки l , м; еквівалентний діаметр d_3 , діаметр круглого перетину d , м; площа поперечного перерізу f , м²; швидкість повітря v , м/с; питомі втрати тиску R , Па/м; втрати тиску на тертя Δp_t , Па; суму коефіцієнтів місцевих опорів $\Sigma \xi$ динамічний тиск ρv^2 , Па; втрати тиску в місцевих опорах Δp_m , Па; загальні втрати тиску Δp , Па.

4. Вибір калориферів і вентиляторів

Для нагрівання повітря в приточних системах вентиляції рекомендується використовувати водяні й парові ребристі калорифери.

Водяні калорифери КВС-П і КВБ-П - пластинчасті ребристі. Їх виготовляють багатоходовими по гарячій воді. Конструктивні розміри й технічні дані залежать від номера (типорозміру) калорифера. Калорифери моделі КВБ-П відрізняються від калориферів моделі КВС-П шириною.

Калорифери КПС-П і КПБ-П застосовують при використанні водяної пари як теплоносія, їх конструктивні розміри в основному ті ж, що й у калориферів КВС-П і КВБ-П, але вони одноходові по теплоносію й установлюють їх вертикально. Патрубок для підведення пари розміщений зверху, а для відводу конденсату - знизу. Технічні дані калориферів КПС-П і КПБ-П трохи відрізняються від технічних даних калориферів КВС-П і КВБ-П.

Контрольні питання

1. Критерії вибору систем вентиляції.
2. В яких випадках використовують місцеву систему вентиляції?
3. Як впливає тепловологістний режим приміщень на проектування систем вентиляції?
4. На скільки градусів нагрівається повітря в повітропроводах?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ СТВОРЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ В ОВОЧЕСХОВИЩАХ

План

1. Визначення вихідних даних та обсягів проектування.
2. Компоновка приміщень для зберігання продукції.
3. Розрахунок газо- та повітрообміну сховищ.
4. Розрахунок та вибір технологічного обладнання для мікроклімату.

Мета. Сформувати чітке уявлення про послідовність проектування систем створення мікроклімату в овочесховищах.

Завдання. Розрахувати та вибрати обладнання для підтримання теплового та вологісного режимів при зберіганні овочів.

Вид та об'єм продукції задає викладач.

Завдання на проектування повинно містити в собі наступні данні:

- вид та масу продукту;
- тип сховища;
- спосіб зберігання.

Розрахунково-пояснювальна записка повинна містити наступні розділи:

- компоновка приміщень;
- визначення технічних характеристик сховища;
- тепловий баланс;
- вологовий баланс;
- проектування системи вентиляції сховища;
- вибір основного обладнання.

В графічній частині проекту рекомендовано виконати план і розріз та аксонометричні схеми вентиляції сховища.

2. Компонівка приміщень для зберігання продукції

Продукцію рослинного походження зберігають тарним або безтарним способом.

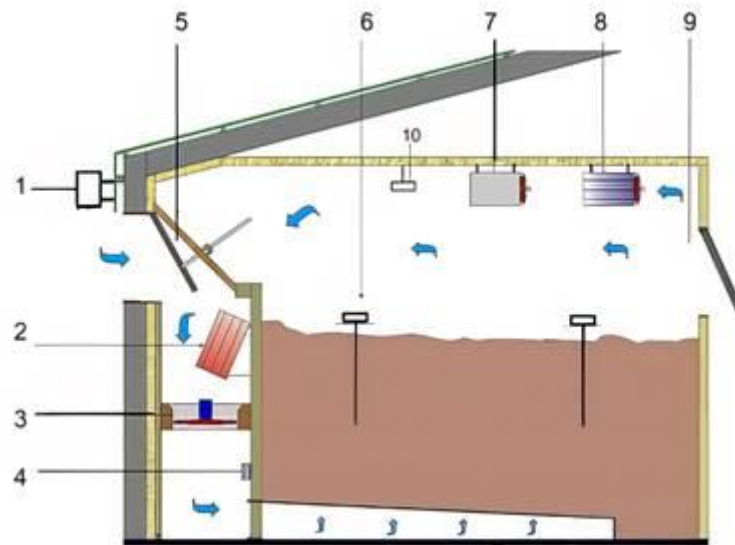


Рисунок 2.1. Особливості руху повітря в овочесховищах

При зберіганні тарним способом штабелі як мінімум на 0,2м не повинна досягає балок а до стельових батарей охолодження не повинна досягає 0,3м. В деяких випадках висоту складування приймають 5м і більше.

При зберіганні рослинної продукції безтарним способом допустима висото складування складає:

- для картоплі, буряка і брюкви – 5...5,5 м;
- для моркви, капусти і цибулі – 2,8 м;
- для часнику – 1,5 м.

Висота приміщення при зберіганні безтарним способом складає 3,6 , 4,8 і 6,0 м.

Відстані між верхівкою продукції і нижньою поверхнею перекриття повинна бути не менше 0,8м.

Місткість закромів не повинна перевищувати 100т при зберіганні картоплі , буряка і брюкви; 60т - моркви і цибулі; 45т –капусти.

При розрахунку розмірів приміщень визначають об'єм продукції вантажні і будівельні площі.

Вантажний об'єм продукції, м^3 :

$$V_{\text{гр}} = M_{\text{пр}} \rho_{\text{н}} / m_{\text{у.в}}$$

де $M_{\text{пр}}$ -маса продукції, т; $m_{\text{у.в}}$ -питома місткість сховища, $\text{т}/\text{м}^3$; $\rho_{\text{н}}$ -насипна щільність плодів та овочів.

Насипну щільність плодів та овочів $\rho_{\text{н}}$ $\text{т}/\text{м}^3$, визначають за формулою:

$$\rho_{\text{н}} = \frac{\pi}{6} \rho_{\text{ф}} \varepsilon_{\text{н.р}},$$

де $\rho_{\text{ф}}$ -фізична щільність продукції $\text{т}/\text{м}^3$; $\varepsilon_{\text{н.р}}$ -коефіцієнт нерівномірності геометричних розмірів продукції $\varepsilon_{\text{н.р}}=1,05 \dots 1,15$.

Для продукції, що зберігається в контейнерах, вантажний об'єм $V_{\text{гр}}^{\text{к}}$, м^3 ;

$$V_{\text{гр}}^{\text{к}} = M_{\text{пр}} / m_{\text{у.в}},$$

або

$$V_{\text{гр}}^{\text{к}} = M_{\text{к}} / m_{\text{в}},$$

де: $M_{\text{к}}$ - місткість камери, т; $m_{\text{в}}$ -норма завантаження вантажного об'єму камери $\text{т}/\text{м}^3$. Для плодів та овочів $m_{\text{в}}=0,33 \dots 0,35 \text{ т}/\text{м}^3$.

Площа холодильника, м^2 :

$$A_{\text{хол}} = \Sigma_{\text{стр}} / \beta_{\text{хол}},$$

де $\Sigma_{\text{стр}}$ - сумарна будівельна площа виробничих приміщень, м^2 ; $\beta_{\text{хол}}$ -коефіцієнт, визначаючий наявність допоміжних приміщень в ізолюючому

контурі (для малих холодильників $\beta_{\text{хол}} = 0,7...0,75$; для середніх — $0,75...0,85$; для великих - $0,85...0,9$).

По даним з типових проектів вибирають сховище.

Типові проекти комплексів, скомпонованих із секцій, включають в собі камеру схову, що прилягає до неї вентиляційну камеру і транспортний коридор. Розміри уніфікованих секцій: 6 х 36 м, 12 х 36 м, 18 х 36 м. Місткість таких секцій при зберіганні картоплі насипом висотою 5 м становить відповідно 500, 1000, 1500 т, а при зберіганні капусти шаром 2,8 м - 250, 500 і 750 т.

До складу вентиляційної камери входять: вентилятор Ц4-70 № 10 або 2,3-130 № 8, змішувальний клапан КПШ-АВ 1000 х 1000, забірна и змішувальна шахта, а також блок автоматики шафи "Середовище-1". При цьому в секції розміром 6х36 м встановлюють одну приточну вентиляційну камеру, а в секціях 12 х 36 і 18 х 36 м - відповідно дві і три.

Контрольні питання

1. Вкажіть способи зволоження повітря в овочесховищі.
2. Способи зберігання овочевої продукції.
3. Які матеріали використовують для створення захисного шару.
4. Що називається кратністю повітрообміну?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3. РОЗРАХУНКИ СУШАРОК СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПРОДУКТІВ

План

1. Визначення вихідних даних та обсягів проектування.
2. Знаходження параметрів сушильного агента на вході та виході із сушарки.
3. Підрахунки кількості випареної вологи.

Мета. Навчитися відомим способам теплового розрахунку сушарок.

Завдання. Провести розрахунок зернової культури при заданих параметрах зовнішнього повітря та початкової і кінцевої вологості.

1. Визначення вихідних даних та обсягів проектування

Завдання на проект містить у собі:

- культуру, що надходить на сушіння, її витрата на вході в сушарку M_1 т/год;
- параметри зовнішнього повітря - температуру t_0 , °C, і відносну вологість ϕ_0 , %;
- вологість культури - на вході в сушарку ω_1 , %, на виході з неї ω_2 , %;
- температуру зерна на вході в зерносушарку θ_1 °C;
- паливо, на якому працює зерносушарка і його родовище.

Зовнішнє повітря з температурою t_0 , відотною вологістю ϕ_0 вологовмістом d_0 і ентальпією H_0 змішується із продуктами згоряння палива. Отриманий у такий спосіб агент сушіння з параметрами t_1 , ϕ_1 , d_1 і H_1 надходить у першу зону 3 сушильної камери. У камеру надходить M_1 , т/ч, вологого зерна з температурою θ_1 , і вологістю ω_1 . У процесі сушіння температура зерна підвищується до температури θ_2 , а вологість зменшується до значення ω_2 . Витрата зерна знижується від M_1 до M_2 . Параметри агенту сушіння після

першої зони сушильної камери мають значення t_2, φ_2, d_2 і H_2 . За першою зоною розташована друга зона 4 сушильної камери. Параметри зерна на вході в другу зону дорівнюють параметрам на виході з першої зони, а на виході із другої зони мають значення M_2, θ_2, ω_2 . Параметри агенту сушіння на вході і виході із другої зони відповідно $t'_1, \varphi'_1, d'_1, H'_1$ і $t'_2, \varphi'_2, d'_2, H'_2$.

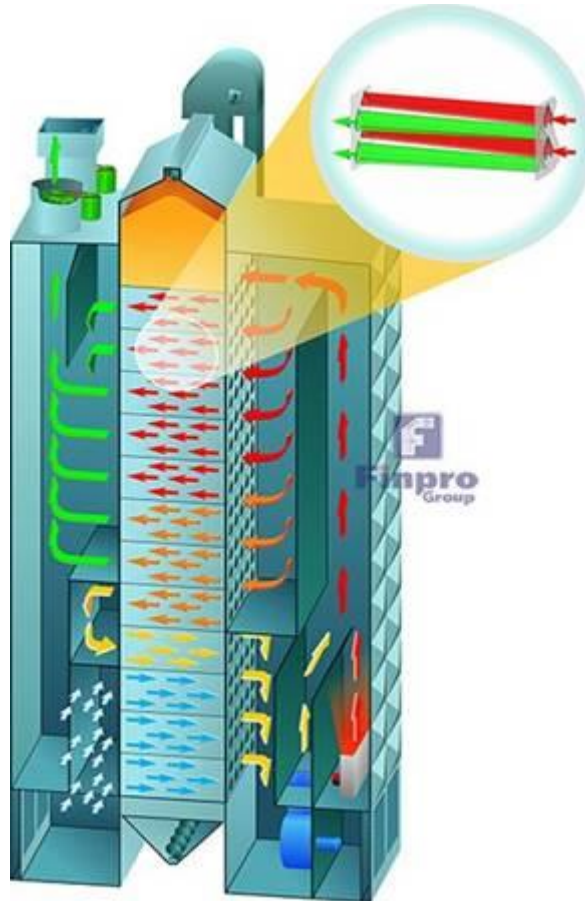


Рисунок 3.1. Загальна схема руху повітря в зерносушарці

Із сушильних камер зерно надходить в охолоджувальну камеру, де продувається зовнішнім повітрям з параметрами t_0, φ_0, d_0 і H_0 . У процесі охолодження зерна з нього випаровується частина вологи. На виході з охолоджувальної камери повітря має параметри t_3, φ_3, d_3 і H_3 . Втрата, вологість і температура зерна після охолодження – M_3, ω_3, θ_3 .

2. Параметри агенту сушіння на вході в зерносушарку

Для заданого виду палива по довіднику визначають його склад, а також теплоту згоряння. Вибирають значення температури t_1 сушильного агенту залежно від виду культури і початкової вологості.

При сушінні насінного зерна пшениці, жита, ячменя, гречки і проса вологістю до 19 % максимальне нагрівання зерна допускається до 40 °С, а температура агента сушіння до 70 °С. При сушінні насіння гороху, вики, чичевиці, квасолі, люпину і рису зерна граничні температури повинні бути: для нагрівання зерна 35 °С; для агента сушіння 60 °С. Якщо вологість зерна вище 19 %, то його слід сушити східчастим режимом. У всіх випадках температура зерна на виході з охолоджувальної камери не повинна перевищувати більш ніж на 8...10 °С температуру зовнішнього повітря.

Масу теоретичної кількості сухого повітря L_0 , кг/кг, при повному згорянні 1 кг розраховують по формулах: для твердого або рідкого палива

$$L_0 = 0,115C^p + 0,345H^p - 0,043(O^p - S_r^p);$$

для газоподібного палива

$$L_0 = 1,38 [(0,0179CO + 0,248H_2 + 0,44H_2S + \sum \frac{m + 0,25n}{12m + n} C_m H_n - O_2)],$$

де CO, H₂, H₂S, C_mH_n, O₂ – масові частки компонентів газу, %.

Ентальпію атмосферного повітря H_0 , кДж/кг, що надходить у топку, змішувальну камеру і зону охолодження зерносушарки, рекомендується визначати по *Hd*-діаграмі вологого повітря за відомими значенням t_0 і ϕ_0 :

$$H_0 = c_{с.в} t_0 + \frac{d_0}{1000} (2500 + 1,88t_0),$$

де $c_{с.в}$ - теплоємність сухого повітря, кДж/(кг · К).

Вологовміст зовнішнього повітря, г/кг с. в., визначають по Hd -діаграмі при відомих значеннях t_0 і ϕ_0 .

Контрольні питання

1. В чому полягає необхідність висушування сільськогосподарської продукції?
2. Сутність процесу висушування.
3. Який основний спосіб відносного руху зерна та сушильного агенту в сушарках?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК СУШАРОК

План

1. Виконання графоаналітичного розрахунку.
2. Визначення розрахункових параметрів.
3. Обрахунок габаритів сушильних камер.

Мета. Сформувати навички у використанні методичної та технічної літератури при виконанні розрахункових робіт.

Завдання. Використовуючи графоаналітичний спосіб виконати технологічний розрахунок зернової сушарки.

Вихідні дані задає викладач.

1. Виконання графоаналітичного розрахунку

Графоаналітичні розрахунки витрати агента сушіння й теплоти. Проводять за допомогою *Hd*-діаграми вологого повітря. При цьому на діаграмі наносять три точки, що характеризують стан зовнішнього повітря, агента сушіння після змішувальної камери і після його виходу із сушильної камери.

За заданими значенням t_0 і ϕ_0 зовнішнього повітря на *Hd*-діаграмі знаходять положення точки А.

Утворена газоповітряна суміш, що утворюється після топки, має параметри t_1 і d_1 . Значення $d_1 > d_0$ було визначено по формулі. На перетинанні ліній $d_1 = \text{const}$ і $t_1 = \text{const}$ одержують точку В, що характеризує стан агента до вступу його в сушильну камеру. Лінія АВ зображує на діаграмі процес змішання повітря із продуктами згоряння і, як наслідок, нагрівання першого.

Процес сушіння в теоретичній сушарці відбувається при рівності початкової і кінцевої ентальпій. Отже, він умовно але зображується лінією постійної ентальпії, проведеної від точки В до ізотерми заданої температури

агента сушіння t_2 . Точка C_0 відповідає параметрам агента сушіння при виході із сушильної камери теоретичної сушарки.

Процес, що відбувається в дійсній сушарці з урахуванням додаткових витрат теплоти, буде зображуватися на Hd -діаграмі лінією BC , що відхиляється від теоретичної лінії сушарки BC_0 :

- при $\Delta < 0$ і $H_2 > H_1$ лінія BC відхиляється вниз від лінії $H = \text{const}$;
- при $\Delta > 0$ і $H_2 > H_1$; лінія BC буде відхилятися нагору від лінії $H_1 = \text{const}$.

Внаслідок втрат теплоти через стінки сушильної камери $\Delta < 0$ ентальпія H_2 агента сушіння на виході з камери менше ентальпії H_1 .

2. Визначення розрахункових параметрів

Витрата сухого агента сушіння L_1 кг/год, у першій зоні сушильної камери:

$$M_1 \frac{\omega_1}{100} + L_1 \frac{d_1}{1000} = M_2 \frac{\omega_2}{100} + L_1 \frac{d_2}{1000},$$

де $M_1 \frac{\omega_1}{100}$ – волога, що входить в першу зону сушильної камери з зерном, кг/год; $M_2 \frac{\omega_2}{100}$ – волога, що випаровується з першої зони сушильної камери із просушеним зерном, кг/год; $L_1 \frac{d_1}{1000}$ – волога, що надходить із агентом сушіння, кг/год; $L_1 \frac{d_2}{1000}$ – волога, що уходить з агентом сушіння, кг/год.

Так як

$$W_1 = M_1 \frac{\omega_1}{100} - M_2 \frac{\omega_2}{100},$$

тому

$$L_1 = W_1 \frac{1000}{d_2 - d_1}$$

Питома витрата сухого агента сушіння на 1 кг випаруваної вологи:

$$l_1 = L_1/W_1 = 1000/(d_2 - d_1).$$

Витрата теплоти на сушіння зерна визначають із рівняння теплового балансу сушильної камери.

У шахтних зерносушарках з конвективним способом сушіння зерно переміщається під вагою власної маси, і тому транспортні пристрої відсутні. Крім того, можна прийняти, що в сушильній камері відсутнє додаткове джерело теплоти. У цьому випадку теплота Q , кДж/год, повідомлювана агентом сушіння в змішувальній камері, буде рівнятися витраті теплоти на нагрівання зерна, а також втратам теплоти через огороження сушильної камери й теплоти, що виділяється з камери агентом, що відробив агентом, сушіння.

Теплота, внесена в сушильну камеру з агентом сушіння, рівна $L_1 H_0$, кДж/год, а теплота, що уходить з камери з агентом, що виконав, сушіння, - $L_1 H_2$, кДж/год.

Із зерном у сушильну камеру надходить теплота M_1, c_1, θ_1 (тут c_1 і θ_1 - відповідно питома теплоємність, кДж/(кг · К), і температура, °С, сирого зерна).

Контрольні питання

1. Чому дорівнює середня швидкість агента в сушильній камері?
2. Розмірність коефіцієнта теплопередачі.
3. Розмірність коефіцієнта питомої теплоємності зерна.
4. Від чого залежать втрати тепла в оточуюче середовище?
5. Особливість сушки зерна в першому періоді сушки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5. ВИБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ СУШИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

План

1. Визначення кількості палива та коефіцієнту корисної дії.
2. Розрахунок топки.
3. Підбір вентилятора.

Мета. Закріпити навички роботи з технічною літературою та електронними ресурсами з продажу сільськогосподарського обладнання.

Завдання. На основі технологічного розрахунку обґрунтувати вибір теплогенеруючого обладнання сушильної установки.

1. Визначення кількості палива та коефіцієнту корисної дії

Для заданого виду палива по довіднику визначають його склад, а також теплоту згоряння.

Вибирають значення температури t_1 сушильного агента залежно від виду культури і початкової вологості.

При сушінні насінного зерна пшениці, жита, ячменя, гречки і проса вологістю до 19 % максимальне нагрівання зерна допускається до 40 °С, а температура агента сушіння до 70 °С. При сушінні насіння гороху, вики, чичевиці, квасолі, люпину і рису зерна граничні температури повинні бути: для нагрівання зерна 35 °С; для агента сушіння 60 °С. Якщо вологість зерна вище 19 %, то його слід сушити східчастим режимом. У всіх випадках температура зерна на виході з охолоджувальної камери не повинна перевищувати більш ніж на 8...10 °С температуру зовнішнього повітря.

Масу теоретичної кількості сухого повітря L_0 , кг/кг, при повному згорянні 1 кг розраховують по формулах: для твердого або рідкого палива

$$L_0 = 0,115C^p + 0,345H^p - 0,043(O^p - S_n^p);$$

для газоподібного палива

$$L_0 = 1,38 [(0,0179CO + 0,248H_2 + 0,44H_2S + \sum \frac{m + 0,25n}{12m + n} C_m H_n - O_2)],$$

де CO, H₂, H₂S, C_mH_n, O₂ – масові частки компонентів газу, %.

Ентальпію атмосферного повітря H₀, кДж/кг, що надходить у топку, змішувальну камеру і зону охолодження зерносушарки, рекомендується визначати по *Hd*-діаграмі вологого повітря за відомими значенням t₀ і φ₀:

$$H_0 = c_{c.v} t_0 + \frac{d_0}{1000} (2500 + 1,88t_0),$$

де c_{c.v} - теплоємність сухого повітря, кДж/(кг · К).

Коефіцієнт надлишку повітря α, яке повинен забезпечити необхідне значення температури агента сушіння t₁, розраховують по формулі

$$\alpha = \frac{Q_n^p \eta_T + c_T t_T - \frac{9H^p + W^p}{100} h_n - (1 - \frac{9H^p + W^p + A^p}{100})}{L_0 (\frac{d_0 h_n}{1000} - H_0 + c_{a.c} t_1)},$$

де η_T — коефіцієнт корисної дії топки.

Для топок, що працюють на твердому паливі, η_T = 0,85...0,9; на рідкому або газоподібному паливі η_T = 0,9...0,95. Менші значення η_T, ухвалюють для зимових умов; c_T, t_T — відповідно питома теплоємність, кДж/(кг · К), і температура, °С, палива. Температуру палива t_T ухвалюють рівній температурі зовнішнього повітря t₀; для рідкого палива, що зберігається в підземних резервуарах, для зимового періоду t_T = 0°С; c_{a.c} - теплоємність агента сушіння, кДж/(кг · К). Можна прийняти c_{a.c} = c_{c.v}.

3. Добір вентиляторів

Вибирають вентилятори для сушіння зерна, виходячи з подачі V , $\text{м}^3/\text{с}$, і тиску P_p , Па, які вони повинні забезпечити.

Необхідне значення тиску, що розвиває, вентилятор повинне дорівнювати сумі втрат тиску на всмоктувальному і нагнітальному режимі, включаючи втрати тиску при виході повітря або агента і сушки назовні, а також внаслідок опору зернової ділянки.

Далі зерносушарок втрати тиску можна прийняти орієнтовно: топки на рідкому або газоподібному паливі - 35...40 Па (для топок на твердому паливі - в 1, 5 рази більше); усмоктувальний повітропровод від топки до вентилятора - 100...110; усмоктувальний повітропровод до вентилятора шахти охолодження - 25...30; повітропровод від вентилятора до напірної камери - 35...42; вхід з дифузора в напірну камеру - 24...28; вхід і вихід з короба - 20; вихід в атмосферу – 10...15 Па.

Контрольні питання

1. За якими параметрами вибирають вентилятори?
2. Як визначається потужність вентиляторів?
3. Як визначається енергетична ефективність сушильного обладнання?
4. Від чого залежить об'єм топки?
5. З яких міркувань призначається верхня температурна межа сушильного агенту (температура нагрівання повітря)?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горобець В.Г. Теплоенергетичні установки і системи: [Навчальний посібник] Горобець В.Г. – К.: ЦП «Компринт», 2018. – 380 с.
2. Теплоенергетичні установки. Конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання зі спеціальності 208 «Агроінженерія» . Харків. ДБТУ; уклад.: С.О. Поляшенко, О.В. Єсіпов.– Харків: [б. в.], 2023.–109 с.
3. Проектування систем тепlopостачання сільського господарства: Навч. посіб. / Драганов Б.Х. та інш.; за ред. Б.Х. Драганова. – Київ: Техніка, 2003. – 161 С.
4. Прядко М.О., Павелко В.І., Василенко С.М. Теплові мережі: Навчальний посібник / За ред.. Прядка М.О. – К.: Алерта, 2005. -227с.
5. Єнін П.М., Швачко Н.А. Тепlopостачання. (частина 1. Теплові мережі та споруди: Навч. посібник. – К.: Кондор, 2007.- 244 с.
6. Конструкції елементів пневмоагрегатів [Текст] : навч. пос. / М. Г. Прокопов, С. М. Ванєєв, В. М. Козін, Ю. С. Мерзляков. – Суми : СумДУ, 2020. – 146 с.
7. Арсеньєв, В. М. Кріогенна техніка: основи теорії і розрахунку циклів кріогенних установок [Текст] : навч. посіб. / В. М. Арсеньєв, В. М. Козін. – Суми : СумДУ, 2021. – 272 с.
8. Козін, В. М. Холодильні технології: основи теорії, приклади і завдання [Текст] : навч. посіб. / В. М. Козін, С. О. Шарапов. – Суми : СумДУ, 2021. – 140 с.
9. Арсеньєв В. М. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи на тему «Розрахунок повітроохолоджувача поверхневого типу» з дисципліни «Проектування холодильних установок» [Текст] : для студ. спец. 142 «Енергетичне машинобудування» за освітньо-професійною програмою «Холодильні машини і установки» денної та заочної форм навчання / В. М. Арсеньєв, О. Ю. Чех, В. М. Козін. – Суми : СумДУ, 2020. – 32 с.

10. Методичні вказівки до практичних занять із дисципліни «Тепломасообмін» [Текст] : для здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти зі спец.: 142 «Енергетичне машинобудування» та 144 «Теплоенергетика» заочної форми навчання / В. М. Козін, С. С. Мелейчук. – Суми : СумДУ, 2020. – 90 с.

11. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи на тему «Розрахунок параметрів циклу» двоступеневої парокомпресійної холодильної машини з дисципліни «Теплофізичні основи низькотемпературної техніки» [Електронний ресурс] : для здобувачів за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти за спец. 142 «Енергетичне машинобудування» за освітньо-професійними програмами «Холодильні машини і установки» та «Опалення, вентиляція, кондиціювання повітря та штучний холод» денної, заочної та дистанційної форм навчання / В. М. Арсеньєв, В. М. Козін. – Суми : СумДУ, 2022. – 39 с.

Чепіжний Андрій Володимирович
Козін Віктор Миколайович
Сіренко Віктор Федорович

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ І СИСТЕМИ АПВ

Методичні вказівки щодо проведення лабораторних занять

Суми РВВ, Сумський національний аграрний університет, вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: січень, 2025р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman
Тираж: 50 примірників Замовлення _____ Умов. друк. арк. 2,1
