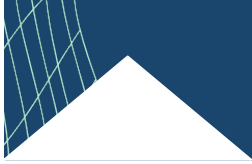


ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРИ:
методичні вказівки
до виконання індивідуальних завдань

Запоріжжя 2025



УДК 502/504(072)
Т38

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 6 від 28.02.2025 р.)

Укладач

Максимова Н.М., канд. техн. наук, доцент.

Т38 Технології захисту атмосфери : методичні рекомендації до виконання
індивідуальних завдань / уклад. Н. М. Максимова. Запоріжжя :
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025. 71 с.

У методичних рекомендаціях наведено тематику індивідуальних завдань, методичні пояснення щодо порядку їх виконання та відповідні приклади, питання для самоперевірки тощо.

УДК 502/504(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2025

ЗМІСТ

Вступ	4
Індивідуальне завдання № 1. Визначення об'єму аспірації при перевантаженні сипких матеріалів різної температури (на прикладі аспірації технологічного обладнання гірничозбагачувальних комбінатів)	6
1.1 Загальне рівняння для розрахунку аспірації технологічного обладнання	6
1.2 Перевантаження гарячих матеріалів	7
1.2.1 Перевантаження сухих матеріалів	16
1.2.2 Приклад № 1: визначення об'єму аспірації при перевантаженні сухого повернення з конвеєру на конвеєр	16
1.2.3 Перевантаження вологих матеріалів	24
1.2.4 Приклад № 2: визначення об'єму аспірації барабанного охолоджувача повернення	26
1.3 Перевантаження матеріалів помірної температури	35
1.3.1 Перевантаження кускових матеріалів	37
1.3.2 Приклад № 3: визначення об'ємів аспірації перевантажень руди з конвеєру на конвеєр	39
1.3.3 Перевантаження дрібнозернистих матеріалів	40
1.3.4 Приклад № 4: визначення об'єму аспірації перевантаження коксу з конвеєру на конвеєр	45
1.3.5 Перевантаження порошкоподібних матеріалів	47
1.4 Завдання № 1	48
1.5 Завдання № 2	49
Питання для самоперевірки	50
Перелік рекомендованих джерел	50
Індивідуальне завдання № 2. Питання захисту атмосфери.	
Розрахунок рукавного фільтру	52
2.1 Методика розрахунку тканинного рукавного фільтра	52
2.2 Приклад розрахунку рукавного фільтру	55
2.3 Завдання за варіантами	58
2.3.1 Завдання № 1	58
2.3.2 Завдання № 2	58
2.3.3 Завдання № 3	59
Питання для самоперевірки	61
Перелік рекомендованих джерел	61
Додаток А Приклад титульного аркушу комплекту робіт, виконаних здобувачем	62
Додаток Б Розрідження в аспіраційних укриттях	63
Додаток В Методика розрахунку суми коефіцієнтів місцевих опорів	66
Додаток Г Фізичні властивості повітря при атмосферному тиску	68

ВСТУП

У методичних рекомендаціях наведено тематика індивідуальних завдань, методичні пояснення щодо порядку їх виконання, питання для самоперевірки тощо.

Рівень сформованості знань та навичок здобувача вищої освіти з освітнього компоненту за виконання індивідуального завдання оцінюють за бальною шкалою, яка наведена в силабусі та робочій програмі.

Зміст та вимоги до контрольних точок

Назва контрольної точки	Опис контрольної точки, порядок її проходження та отримання балів
Складання індивідуального завдання	Індивідуальні завдання виконуються самостійно у зручний для студента час. Підготовлене есе у вигляді файлу *.docx, або *.pdf розміщується у відповідному розділі дисципліни в Moodle і перевіряється протягом тижня після завершення терміну подачі або раніше. Індивідуальні завдання передбачають їх публічний захист в рамках академічної групи (із підготуванням презентаційного матеріалу та доповіді). Оскарження оцінки може бути здійснене на останньому практичному занятті модуля. Мак 15 балів: – за умови захисту індивідуального завдання максимально можливо набрати 15 балів від передбаченої загальної кількості балів, а без захисту – лише до 8 балів; – студент виконав вірно завдання за власним варіантом, в якому: правильно визначив проблеми, комплекс факторів, які могли вплинути на їх виникнення, обґрунтував своє бачення теоретичними концепціями або моделями, виконав необхідні розрахунки в разі потреби, представив висновок або власне бачення виходу з проблеми і окреслив можливі перспективи і обмеженість такого рішення; завдання структуровано, викладено діловим, науковим або публіцистичним стилем української мови (6 балів); – здобувач демонструє низький рівень комунікативної культури, в роботі значна кількість помилок та недоліків, в тому числі значущих, не виконана обов'язкова графічна частина (за наявності вимоги), то оцінка за цим критерієм знижується (5 балів); – завдання містить комплексну, логічну і оригінальну пропозицію проблематики ситуаційного завдання аж до міждисциплінарного підходу; використання штучного інтелекту (ШІ) не забороняється, оскільки пропозиції відомих застосунків ШІ суттєво залежать від обміркованої постановки питання і уточнюючих питань; однак в разі, якщо відповідь, отримана з використанням ШІ, не є комплексною або не відповідає за стилем і викладеними позиціями іншим частинам есе або завдання, містить очевидно неправдиву інформацію, то оцінка за цим критерієм знижується (2 балів); – студент під час презентації / захисту завдання демонструє володіння термінологічним апаратом, відповідає на запитання, здатний швидко адаптувати позицію під зміни у вихідному ситуаційному завданні (5 балів); презентативність подання інформації під час захисту завдання (2 бали)

Додаткові зауваження:

- студент може оскаржити отримані оцінки в порядку, передбаченому Положенням про організацію освітнього процесу ([Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](https://polytechnic.metinvest.university.ua/)) та Положенням про політику та процедури врегулювання конфліктних ситуацій ([Академічні політики : Polytechnic \(metinvest.university\)](https://polytechnic.metinvest.university.ua/));
- оцінки, отримані за роботу на практичних заняттях, не можуть

бути відпрацьовані або покращені, окрім процедури оскарження, оцінки за інші види поточного контролю можуть бути покращені за індивідуальною домовленістю з викладачем.

Особливі підходи до визнання результатів навчання

– В разі, якщо дисципліна є обов'язковою для здобувача освіти, і він засвоїв повністю або частково відповідні програмні результати навчання під час отримання освіти на попередніх або такому ж рівні, то кредити та оцінка з дисципліни може бути перезарахована в порядку, передбаченому Положенням про організацію освітнього процесу ([Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#)). Консультацію з даного питання можна отримати у викладача, куратора або гаранта освітньої програми, завідувача кафедри, за якою закріплено цю дисципліну;

– В разі, якщо здобувач освіти обрав цю дисципліну як дисципліну вільного вибору, не зважаючи на той факт, чи вивчалася вона раніше, оцінка та кредити з цієї дисципліни не перезараховуються;

– В разі, якщо здобувач освіти хотів би самостійно вивчити певні курси з вивчення технологій захисту атмосфери (наприклад, Coursera, Udeemy або інших платформ, в т.ч. платформ відкритих курсів вітчизняних та/або закордонних університетів), то: 1) доцільно звернутися до списку рекомендованих вебресурсів або проконсультуватися з викладачем на предмет релевантності самостійно знайденого освітнього ресурсу програмі дисципліни; 2) в разі успішності опанування такого курсу, яке підтверджується сертифікатом або іншим способом, такому здобувачу у порядку, визначеному Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті [Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#), такі результати можуть бути зараховані замість оцінки з певного виду поточного контролю;

– В разі, якщо здобувач освіти реалізував певний вид наукової роботи (тези, стаття, результативна участь у студентській олімпіаді тощо), то у порядку, визначеному Положенням про визнання результатів навчання, набутих у неформальній/інформальній освіті [Нормативні документи : Polytechnic \(metinvest.university\)](#), такі результати можуть бути зараховані замість оцінки з певного виду поточного або навіть підсумкового контролю; консультацію з питань визнання результатів неформальної та інформальної освіти можна отримати в уповноваженої особи від кафедри, яка викладає дисципліну; перелік таких осіб можна знайти за посиланням [Студентам : Polytechnic \(metinvest.university\)](#).

Як приклад оформлення пояснювальної та розрахунково-графічної частини індивідуальних завдань слід орієнтуватись на відповідні приклади рішення, які наведені за змістом методичних рекомендацій. Титульний аркуш студентських робіт наведено наприкінці методичних вказівок, в додатку А.

Індивідуальне завдання № 1

Визначення об'єму аспірації при перевантаженні сипких матеріалів різної температури (на прикладі аспірації технологічного обладнання гірничозбагачувальних комбінатів)

1.1 Загальне рівняння для розрахунку аспірації технологічного обладнання (див. практичну роботу № 1)

В основу розрахункових методів визначення оптимального повітрообміну в аспіраційних укриттях технологічного обладнання покладено рівняння балансу маси: кількість повітря, яке відсмоктується з укриття, дорівнює кількості повітря, яке поступає в укриття по жолобу і через нещільності або робочі отвори [1, 4]

$$G = G_{\text{н}} + G_{\text{ж}} \quad (1.1)$$

- де G – кількість повітря, яке відсмоктується з укриття, кг/с;
 $G_{\text{н}}$ – кількість повітря, яке поступає через нещільності або робочі отвори, кг/с;
 $G_{\text{ж}}$ – кількість повітря, яке поступає в укриття по жолобу з матеріалом, кг/с

Кількість повітря, яке поступає через нещільності і робочі отвори, визначається величиною розрідження, яке підтримується в укритті, і загальною площею нещільностей та розраховується або по заданій (усередненій) швидкості повітря в отворах, або по заданому розрідженню в укритті

$$G_{\text{н}} = \sum_{i=1}^N \mu_i \sqrt{2\rho_0 P_i F_{\text{н}i}}, \quad (1.2)$$

- де N – кількість отворів в укритті;
 μ_i – коефіцієнт витрати i -того отвору;
 ρ_0 – щільність повітря, яке надходить через нещільності, кг/м³;
 P_i – розрідження в області i -того отвору, Н/м²;
 $F_{\text{н}i}$ – площа i -того отвору, м²

Коефіцієнт витрати можна виразити через коефіцієнту місцевого опору

$$\mu_i = \zeta_i^{-0,5}. \quad (1.3)$$

В більшості випадків нещільності відносно гідравлічного опору можна розглядати як отвори в тонкій стінці, для яких $\zeta_i = 2,4$ [4].

Розбиваючи нещільності на рівновеликі за площею живого перерізу

і заміряючи розрідження на внутрішній поверхні стінки укриття поблизу цих нещільностей, можна з урахуванням рівняння (1.3) визначити кількість повітря, яке просмоктується

$$G_H = 0,65 F_H \sqrt{2\rho_0 P}, \quad (1.4)$$

де F_H – загальна площа нещільностей в укритті, м^2
 P – середнє розрідження в укритті, дорівнює

$$P = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{P_i} \right)^2, \text{ Н/м}^2. \quad (1.5)$$

В розрахунках середнє розрідження приймається оптимальним та визначається дослідним шляхом. Для деяких укриттів величина оптимального розрідження і площ нещільностей наводяться в довідниках [4].

Найбільшою складністю під час проєктування аспіраційних систем є визначення кількості повітря, яке поступає в укриття з матеріалом $G_{\text{ж}}$ [1, 3-6]. Це пояснюється складністю процесу взаємодії матеріалу з повітрям, а також необхідністю врахування аеродинамічних властивостей деяких видів технологічного обладнання (молоткових і валкових дробарок, дезинтеграторів тощо), які створюють надлишковий тиск в укриттях.

1.2 Перевантаження гарячих матеріалів (див. практичну роботу № 1)

В загальному випадку аспірації перевантажень, коли по жолобу перевантажується сипкий матеріал з температурою, відмінною від температури навколишнього середовища, спрямований потік повітря в жолобі утворюється під дією двох основних сил: сили, характеризуючої ежекційні властивості матеріалу, і теплового напору, який виникає в результаті теплообміну між матеріалом і повітрям. Відповідно, коли температура матеріалу і повітря однакові, тепловий напір дорівнює нулю. Певний випадок – перевантаження холодних матеріалів.

Теоретично ежекцію повітря матеріалом, що подається, можна пояснити за допомогою основних рівнянь механіки двокomпонентного потоку газ – тверді частки. Розглянемо це для одновимірною стаціонарного потоку.

Інтегруючи рівняння динаміки газоподібного компонента, можна записати рівняння, яке відображає закон зміни кінетичної енергії одиничного об'єму,

$$\rho_{\Gamma}^K (v_{\Gamma}^K)^2 - \rho_{\Gamma}^0 (v_{\Gamma}^0)^2 = -(P_K - P_0) - \int_0^l (\rho_0 - \rho_{\Gamma}) g \sin \beta dx -$$

$$- \lambda \frac{1}{D} \int_0^l \frac{|v_{\Gamma}| v_{\Gamma}}{2} \rho_{\Gamma} dx + \int_0^l s k c \frac{|v_{\Gamma} - v_{\Gamma}^0| (v_{\Gamma} - v_{\Gamma}^0)}{2} \rho_{\Gamma} dx , \quad (1.6)$$

- де $\rho_{\Gamma}^0, \rho_{\Gamma}^K$ – щільність повітря на початку та в кінці жолоба, кг/м³;
 $v_{\Gamma}^0, v_{\Gamma}^K$ – швидкість повітря на початку та в кінці жолоба, м/с;
 P_0, P_K – тиск на початку та в кінці жолоба, Н/м²;
 l, D – довжина жолоба та його гідравлічний діаметр, м;
 ρ_0, ρ_{Γ} – щільність повітря в приміщенні та в жолобі, кг/м³;
 g – прискорення сили тяжіння, м/с²;
 β – кут нахилу жолоба до горизонту, град;
 λ – коефіцієнт гідравлічного опору жолоба;
 v_{Γ}, v_{Γ}^0 – швидкість повітря і матеріалу в жолобі, м/с;
 s – об'ємна концентрація матеріалу в жолобі, м/м³;
 k – відношення площі миделева в жолобі, м/м³;
 c – коефіцієнт лобового опору частинок

Другий член правої частини рівняння (тепловий напір) характеризує Архімедові сили, обумовлені міжкомпонентним тепло- і масообміном, а останній член, умовно названий ежекційним напором, враховує сумарний аеродинамічний опір часток матеріалу, який перевантажується по жолобу.

Знак абсолютної величини в останніх двох членах рівняння (1.6) вказує на зміну напрямку дії сили опору стінок жолоба при зміні напрямку потоку повітря та ежекційного напору при русі часток матеріалу зі швидкістю, меншою за швидкість повітряного потоку. За позитивний напрямок сил і швидкостей прийнято напрямок вздовж вісі жолоба згори до низу.

Після нескладних перетворень рівняння (1.6) отримуємо

$$v_{\Gamma}^K = \frac{P_e - P_T + P_2 - P_1}{\sum \zeta^* \frac{|v_{\Gamma}^K|}{2} \rho_{\Gamma}^K}, \quad (1.7)$$

- де $\sum \zeta^*$ – приведена сума коефіцієнтів місцевих опорів жолоба;
 P_1, P_2 – величина розрідження у верхньому та нижньому укриттях, Н/м²;
 P_e – ежекційний напір, Н/м², рівний

$$P_e = \int_0^l s k c \frac{|v_{\Gamma} - v_{\Gamma}^0| (v_{\Gamma} - v_{\Gamma}^0)}{2} \rho_{\Gamma} dx; \quad (1.8)$$

P_T – тепловий напір, Н/м²; рівний

$$P_T = \int_0^l (\rho_0 - \rho_r) g \sin \beta dx. \quad (1.9)$$

Рівняння (1.7) показує, що швидкість повітря і напрямок його руху у жолобі, що не аспірується, визначається різницею опорів $P_e - P_T$.

При позитивній величині різниці, швидкість пароповітряної суміші позитивна, тобто напрямок потоку газу співпадає з напрямком руху матеріалу, що пересипається. Кількість повітря, яка проходить по жолобу, в цьому випадку визначається за формулою

$$G_{\text{ж}} = F \sqrt{\frac{P_e - P_T + P_2 - P_1}{\zeta_{\text{ж}}^{\text{H}} \frac{1}{2\rho_r^{\text{K}}} + \frac{1}{\rho_r^{\text{K}}} - \left(\frac{1+m_0}{1+m_{\text{K}}}\right)^2 \frac{1}{\rho_r^0}}}, \quad (1.10)$$

де $\zeta_{\text{ж}}^{\text{H}}$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів, віднесених до швидкості повітря в кінці жолоба (див. довідники) [4];
 m_0, m_{K} – вологовміст повітря на початку та в кінці жолоба, кг/кг (див. додаток Г) [4];

Коли тепловий напір більше за ежекційний, повітря поступає у верхнє укриття. Витрата його дорівнює

$$G_{\text{ж}} = F \sqrt{\frac{P_T - P_e + P_1 - P_2}{\frac{1}{\rho_r^{\text{K}}} - \left(\frac{1+m_{\text{K}}}{1+m_0}\right)^2 (0,5\zeta_{\text{ж}}^{\text{B}} - 1) + \frac{1}{\rho_r^0}}}, \quad (1.11)$$

де $\zeta_{\text{ж}}^{\text{B}}$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів жолоба при русі повітря догори (див. довідники, додаток В) [4];

Таким чином, кількість повітря, яка поступає в укриття по жолобу, можна розрахувати, якщо відомі тепловий та ежекційний опори.

Для рівноприскореного руху матеріалу по жолобу, що буває практично при всіх перевантаженнях гарячих матеріалів на фабриках грудкування, ежекційний опір дорівнює

$$P_e = \frac{\bar{c} \varepsilon G_T [|v_{\text{K}} - v_r|^3 - |v_0 - v_r|^3]}{4dFa_T}, \quad (1.12)$$

де $\bar{c}$ – усереднений по довжині жолоба коефіцієнт лобового опору, умовно названий приведеним коефіцієнтом

- опору;
- ε – відношення щільності повітря до щільності матеріалу;
- G_T – витрата матеріалу, кг/с;
- v_0, v_K – швидкість матеріалу на початку і в кінці жолоба, м/с;
- d – середній діаметр часток, м;
- a_T – прискорення руху матеріалу в жолобі, м/с²

Як показали чисельні дослідження, приведений коефіцієнт лобового опору залежить від об'ємної концентрації і крупності часток. Пояснюється це впливом стисненості на гідродинамічні умови обтікання часток.

В результаті обробки дослідних даних для матеріалів, які перероблюються на фабриках гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК), при $10^{-4} < s < 10^{-2}$ отримана емпірична залежність [4]

$$\bar{c} = 1,8 \exp \left(-\frac{2,3}{d \cdot 10^3} \sqrt{\bar{s} \cdot 10^3} \right), \quad (1.13)$$

- де $\bar{s}$ – усереднена по довжині жолоба об'ємна концентрація матеріалу, яка дорівнює

$$\bar{s} = \frac{2G_T}{\rho_T F(v_0 + v_K)}, \quad (1.14)$$

- де ρ_T – щільність матеріалу, кг/м³

Для матеріалів поліфракційного складу середній діаметр часток розраховується за формулою

$$d = \sum_{i=1}^N y_i d_i, \quad (1.15)$$

- де y_i – масова частка часток i -ої фракції;
- d_i – діаметр часток i -ої фракції, м

Швидкість матеріалу в кінці жолоба, де потік не відхиляється стінками, визначається за формулою

$$v_K = \sqrt{2gH}, \quad (1.16)$$

- де g – прискорення сили тяжіння, м/с²;
- H – вертикальна відстань від гори привідного барабану верхнього конвеєру до входу матеріалу в нижнє укриття, м

Матеріал, який скидається з конвеєру, зустрінеться зі стінкою (рис. 1.1) [4], якщо

$$H_1 = \frac{g\tau_1^2}{2} < H_0, \quad (1.17)$$

де τ_1 – час, необхідний для досягнення матеріалом стінки укриття при русі з горизонтальною швидкістю, яка дорівнює швидкості конвеєру, с:

$$\tau_1 = \frac{l_r}{v_{\text{конв}}},$$

де l_r – горизонтальна відстань від вісі барабану до стінки укриття, м;

$v_{\text{конв}}$ – швидкість верхнього конвеєра (який подає), м/с

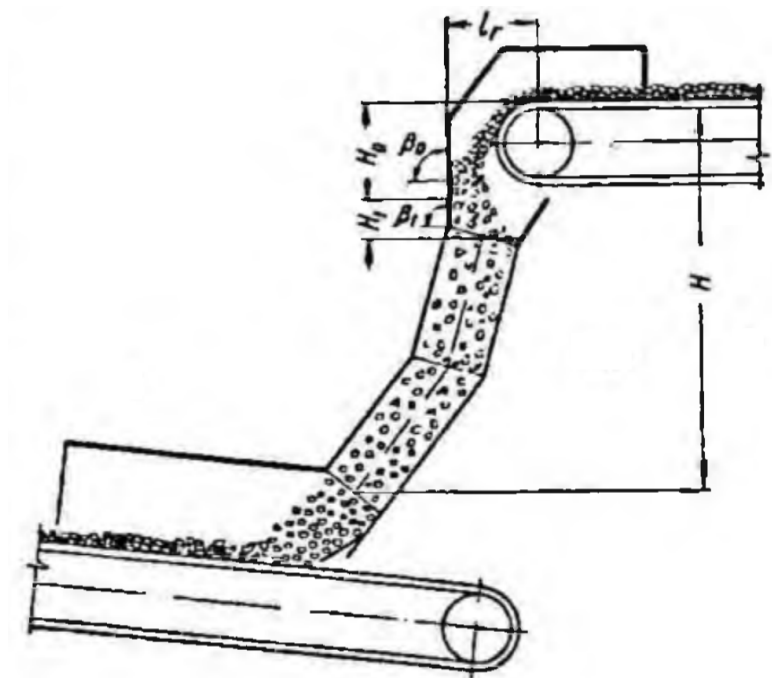


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема для визначення кінцевої швидкості руху матеріалів [4]

В цьому випадку для визначення коефіцієнта зменшення швидкості матеріалу в результаті зустрічі зі стінкою необхідно визначити кут повороту

$$\gamma = 180^\circ - \left(\beta_0 + \arctg \frac{4,43\sqrt{H_1}}{v_{\text{конв}}} \right), \quad (1.18)$$

де β_0 – кут нахилу стінки

Швидкість v_i при наявності поворотів жолоба і при зустрічі потоку матеріалів зі стінкою визначаються послідовним розрахунком всіх прямолінійних ділянок за формулою

$$v_i = \sqrt{(v_{i-1}k_{ni})^2 + 2a_{\tau i} \frac{H_i}{\sin \beta_i}}, \quad (1.19)$$

- де v_{i-1} – швидкість руху матеріалу в кінці попередньої ділянки жолоба або в момент зустрічі зі стінкою (в останньому випадку v_{i-1} , визначається як рівнодіюча векторів швидкості $v_{\text{конв}}$ і швидкості, набутої при вертикальному падінні на відстані $H = H_i$), м/с;
- k_{ni} – коефіцієнт зменшення швидкості при повороті потоку на початку i -ої ділянки або при зустрічі зі стінкою;
- $a_{\tau i}$ – прискорення матеріалу на i -тій ділянці жолоба;
- H_i – висота перепаду матеріалу на i -тій прямолінійній ділянці жолоба, м;
- β_i – кут нахилу i -тої ділянки жолоба до горизонтальної площини, град.

$$a_{\tau i} = g(1 - f_{\text{тр}} \operatorname{ctg} \beta_i) \sin \beta_i, \quad (1.20)$$

- де $f_{\text{тр}}$ – коефіцієнт тертя матеріалу, який рухається, о днище жолобу (при сталевому днищі $f_{\text{тр}} = 0,51$, при породній подушці $f_{\text{тр}} = 0,7$)

Значення k_{ni} в залежності від кута повороту наступні [4]:

Кут повороту, град	5	10	20	30	40	45
k_{ni}	1,0	0,97	0,93	0,85	0,75	0,69

Швидкість v_k визначається послідовним розрахунком всіх прямолінійних ділянок жолоба. Розрахункове прискорення, яке отримує матеріал, визначається за формулою

$$a_{\tau} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_{\tau i}, \quad (1.21)$$

- де N – кількість прямолінійних ділянок жолоба

Швидкість матеріалу на початку жолоба v_0 визначається за формулою

$$v_0 = v_{\text{вх}} \sin \beta_1, \quad (1.22)$$

де $v_{\text{вх}}$ – швидкість матеріалу при вході на першу ділянку жолоба, м/с;
 β_1 – кут нахилу першої ділянки жолоба, град.

Величина теплового напору залежить від інтенсивності міжкомпонентного теплообміну і визначається зміною температури повітря по довжині жолоба. Для практичних розрахунків можна використовувати наступну залежність:

$$P_T = \frac{\rho_0 - \rho_y}{2} gH, \quad (1.23)$$

де ρ_y – щільність повітря, яке поступає в укриття по жолобу, кг/м³;
 H – висота перепаду матеріалу, м

Враховуючи складність розрахунків міжкомпонентного теплообміну, щільність повітря ρ_y для перевантаження гарячих матеріалів фабрик рекомендується визначати при температурі

$$t_y = k_i \frac{t_0 + t_T}{2}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.24)$$

де t_0 – температура повітря в приміщенні, $^\circ\text{C}$;
 t_T – температура матеріалу, $^\circ\text{C}$;
 k_i – поправочний коефіцієнт, який визначається в залежності від різниці температур ($\Delta t = t_T - t_0$) за табл. 1.1 [4]

Таблиця 1.1 – Поправочний коефіцієнт k_i [4]

Δt	k_i	Δt	k_i
15 – 50	1,0	200 – 300	0,60
50 – 100	0,9	300 – 400	0,55
100 – 150	0,75	400 – 500	0,50
150 – 200	0,65	500 – 600	0,45

Слід відмітити, що дані цієї табл. 1.1 отримані на підставі дослідних замірів в умовах фабрик грудкування [4]. Для застосування їх при

розрахунку аспірації перевантажень інших виробництв необхідно провести додаткові випробування [4].

Як правило, в умовах фабрик грудкування направлений повітряний потік в жолобах формується за схемою прямогоку. Для локалізації пиловиділення передбачається установка верхнього та нижнього аспіраційного укриття.

Продуктивність відсмоктувачів розраховується за формулами:

- для верхнього укриття

$$G_1 = G_{B1} - G_{\text{ж}} \frac{1+m_0}{1+m_k}, \quad (1.25)$$

- для нижнього укриття

$$G_2 = G_{H2} + G_{\text{ж}}, \quad (1.26)$$

де G_1, G_2 – продуктивність верхнього і нижнього відсмоктувачів відповідно, кг/с;
 G_{B1}, G_{H2} – кількість повітря, яка просмоктується крізь нещільності верхнього і нижнього укриття відповідно, кг/с

Порядок розрахунку.

При вихідних даних визначаються:

- за формулою (1.15) середній (умовний) діаметр матеріалу;
- за формулами (1.16) – (1.22) – швидкість матеріалу на початку і в кінці жолобу, а також прискорення a_T ;
- за формулою (1.14) об'ємна концентрація матеріалу в жолобі;
- за формулою (1.13) приведений коефіцієнт лобового опору.

Розраховується кількість повітря, яка поступає по жолобу в нижнє укриття.

Для цього визначають за формулою (1.23) тепловий напір, задаються швидкістю повітря v_T та за формулою (1.12) розраховується ежекційний напір. Потім за формулою (1.10) визначають кількість повітря, яка поступає в укриття, і розраховують справжню швидкість

$$v_H = \frac{G_T}{\rho_y F}, \quad (1.27)$$

Якщо окажется, що v_H не дорівнює раніше прийнятій швидкості v_T , виконують перерахунок, знов задаючись швидкістю, і т. д. до тих пір, доки не стане

$$\frac{v_H - v_\Gamma}{v_H} \leq 0,1.$$

За розрахункову величину приймають

$$v = \frac{v_H + v_\Gamma}{2}, \quad (1.28)$$

кількість повітря, яка поступає в укриття по жолобу, визначається за формулою

$$G_{\text{ж}} = v \rho_y F. \quad (1.29)$$

Визначають продуктивність місцевих відсмоктувачів.

Для цього за формулою (1.4) розраховують кількість повітря, яка просмоктується крізь нещільності укриття. При цьому площа нещільностей приймається за довідниками [4]. Потім за формулами (1.25) та (1.26) визначається продуктивність місцевих відсмоктувачів.

Під час розрахунків може виконатись умова, що $G_1 < 0$. Це значить, що для знепилення перевантаження достатньо тільки нижнього відсмоктувача. Продуктивність розраховують в тій же послідовності, однак при розрахунку кількості повітря $G_{\text{ж}}$ слід замість формули (1.10) використовувати рівняння

$$G_{\text{ж}} = F \sqrt{\frac{P_e - P_T + P_2}{\zeta_H \frac{1}{2\rho_\Gamma^K} + \frac{1}{\rho_\Gamma^K} - \left(\frac{1+m_0}{1+m_K}\right)^2 \frac{1}{\rho_\Gamma^0}}}, \quad (1.30)$$

де ζ^H – сума коефіцієнтів місцевих опорів з урахуванням опорів входу повітря у верхнє укриття (див. дод. В) [4]

Під час розрахунку за формулою (1.10) може виконатись умова $P_e - P_T + P_2 - P_1 < 0$. Це значить, що повітря в жолобі рухається догори (з нижнього укриття у верхнє). Розрахунок продуктивності місцевих відсмоктувачів виконується у тій же послідовності, однак при розрахунку повітря, яке поступає в укриття по жолобу, слід використовувати замість формули (1.10) рівняння (1.11). продуктивність місцевих відсмоктувачів розраховується за формулами:

- для верхнього укриття

$$G_1 = G_{H1} - G_{\text{ж}}, \quad (1.31)$$

- для нижнього укриття

$$G_2 = G_{H2} - G_{ж} \frac{1 + m_k}{1 + m_0}. \quad (1.32)$$

Загальний об'єм аспірації дорівнює сумі об'ємів повітря, яке просмокується крізь нещільності верхнього та нижнього укриття, та пари, яка утворюється під час перевантаження нагрітих вологих матеріалів. Приведені розрахункові залежності дозволяють визначити перерозподіл цих об'ємів між верхнім та нижнім відсмоктувачами. Враховуючи, що вихідні дані ненадійні і що деякі з них орієнтовні (оптимальне розрідження в укриттях, площа нещільностей), при розрахунку продуктивність відсмоктувачів для гарячих матеріалів слід вводити коефіцієнти запасу: для продуктивності верхнього відсмоктувача $k_3 = 1,2$; для нижнього $k_3 = 1,1$.

1.2.1 Перевантаження сухих матеріалів (див. практичну роботу № 1)

Гарячі матеріали (агломерат, котуни, обпалений вапняк, обпалена руда), які перероблюються на фабриках гірничозбагачувальних комбінатів, як правило, сухі – їх вологість не перевищує 0,1 %.

Водяна пара при перевантаженні таких матеріалів практично не виділяється. Паровиділення відбувається лише при транспортуванні гарячих матеріалів після зрошення водою (в барабанних охолоджувачах і в змішувальних барабанах) або після змішування їх з холодним вологим матеріалом.

Розрахунок аспірації перевантаження сухих гарячих матеріалів дещо спрощується, оскільки не потрібно враховувати збільшення вологовмісту, внаслідок відсутності міжкомпонентного масообміну вологовміст повітря в жолобі не змінюється. Отже, в розрахункових формулах (1.10), (1.11), (1.25), (1.30), (1.32) виключається член $\frac{1+m_k}{1+m_0} = 1$, який враховує збільшення вологовмісту.

1.2.2 Приклад № 1: визначення об'єму аспірації при перевантаженні сухого повернення з конвеєру на конвеєр (див. практичну роботу № 1)

Приклад № 1

Визначити об'єм аспірації при перевантаженні сухого повернення з конвеєра на конвеєр (рис. 1.2).

Вихідні дані:

- витрата повернення $G_T = 38$ кг/с;
- гранулометричний склад повернення:

Клас, мм	20 – 10	10 – 5	5 – 2,5	2,5 – 1,25	1,25 – 0,63	0,63 – 0
Вихід, %	2	31	25	24	8	10

- температура повернення $t_T = 38^\circ \text{C}$;
- щільність повернення $\rho_T = 3700 \text{ кг/м}^3$;
- температура повітря в приміщенні $t_0 = 18^\circ \text{C}$;
- висота перепаду повітря $H = 4,9 \text{ м}$;
- площа поперечного перерізу жолоба $F = 0,36 \text{ м}^2$;
- ширина верхнього конвеєру $B_K = 800 \text{ мм}$;
- периметр нижнього укриття в плані $\Pi = 10 \text{ м}$;
- площі нещільностей та оптимальні розрідження в укриттях для даного аспірованого вузла: $F_{\Pi 1} = 0,96 \text{ м}^2$, $P_1 = 5 \text{ Н/м}^2$, $F_{\Pi 2} = 0,02 \cdot 10 = 0,2 \text{ м}^2$, $P_2 = 8 \text{ Н/м}^2$, де F_{Π} – площі відкритих проємів, м^2 ; P – розрідження в укриттях, Н/м^2 .

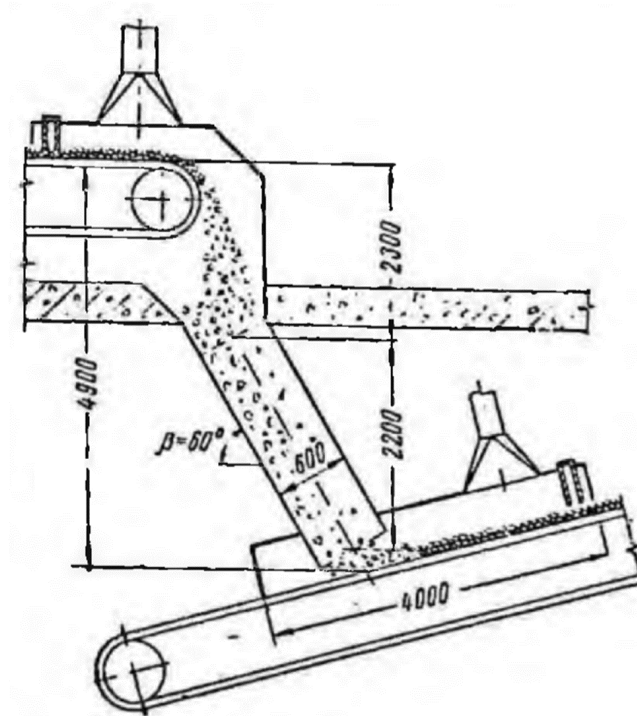


Рисунок 1.2 – Розрахункова схема для визначення об'єму аспірації при перевантаженні матеріалу з конвеєру на конвеєр [4]

Для матеріалів поліфракційного складу середній діаметр часток розраховується за формулою (1.15)

$$d = \sum_{i=1}^N y_i d_i ,$$

де y_i – масова частка часток i -ої фракції;
 d_i – діаметр часток i -ої фракції, м

$$d = 0,01 \left(\left(\frac{20+10}{2} \right) \cdot 2 + \left(\frac{10+5}{2} \right) \cdot 31 + \left(\frac{5+2,5}{2} \right) \cdot 25 + \left(\frac{2,5+1,25}{2} \right) \cdot 24 + \left(\frac{1,25+0,63}{2} \right) \cdot 8 + \left(\frac{0,63+0}{2} \right) \cdot 10 \right) = 0,01(15 \cdot 2 + 7,5 \cdot 31 + 3,75 \cdot 25 + 1,88 \cdot 24 + 0,99 \cdot 8 + 0,315 \cdot 10) = 4,1 \text{ мм} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

Швидкість матеріалу на початку жолоба v_0 визначається за формулою (1.22)

$$v_0 = v_{\text{вх}} \sin \beta_1,$$

де $v_{\text{вх}}$ – швидкість матеріалу при вході на першу ділянку жолоба, м/с;

β_1 – кут нахилу першої ділянки жолоба, град.

В даному розрахунковому випадку ($H = 2,3$ м, $\beta_1 = 60^\circ$, див. рис. 1.2) отримуємо

$$v_0 = v_{\text{вх}} \sin \beta_1 = \sqrt{2gH} \sin \beta_1 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,3} \sin 60^\circ = 5,8 \text{ м/с};$$

Розрахункове прискорення, яке отримує матеріал, визначається за формулою (1.20)

$$a_{\text{т}} = g(1 - f_{\text{тр}} \operatorname{ctg} \beta_i) \sin \beta_i =$$

$$= 9,8(1 - 0,51 \operatorname{ctg} 60^\circ) \sin 60^\circ = 6,0 \text{ м/с}^2$$

де $f_{\text{тр}}$ – коефіцієнт тертя матеріалу, який рухається, о днище жолобу (при сталевому днищі $f_{\text{тр}} = 0,51$, при породній подушці $f_{\text{тр}} = 0,7$). В даному випадку $f_{\text{тр}} = 0,51$.

Швидкість v_i при наявності поворотів жолоба і при зустрічі потоку матеріалів зі стінкою визначаються послідовним розрахунком всіх прямолінійних ділянок за формулою (1.19)

$$v_i = \sqrt{(v_{i-1} k_{ni})^2 + 2a_{\text{т}i} \frac{H_i}{\sin \beta_i}},$$

В даному (ділянка прямолінійна, тому коефіцієнт зменшення швидкості при повороті потоку на початку i -ої ділянки або при зустрічі зі стінкою $k_{ni} = 1$; висота перепаду матеріалу на i -тій прямолінійній ділянці

жолоба $H_i = 2,2$ м (див. рис. 1.2)) випадку маємо

$$v_k = \sqrt{(v_0)^2 + 2a_{Ti} \frac{H_i}{\sin \beta_i}} = \sqrt{(5,8)^2 + 2 \cdot 6,0 \cdot \frac{2,2}{\sin 60^\circ}} = 8,0 \text{ м/с}$$

Визначаємо емпіричну залежність (1.14) [4]

$$\bar{s} = \frac{2G_T}{\rho_T F(v_0 + v_k)} = \frac{2 \cdot 38}{3700 \cdot 0,36 \cdot (5,8 + 8,0)} = 0,00413 = 4,1 \cdot 10^{-3};$$

Перевіряємо виконання умови [4]

$$10^{-4} < s < 10^{-2}$$

$$10^{-4} < 4,1 \cdot 10^{-3} < 10^{-2}$$

Визначаємо емпіричну залежність (1.13) [4]

$$\begin{aligned} \bar{c} &= 1,8 \exp\left(-\frac{2,3}{d \cdot 10^3} \sqrt{\bar{s} \cdot 10^3}\right) = \\ &= 1,8 \exp\left(-\frac{2,3}{4,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3} \sqrt{4,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}\right) = \\ &= 1,8 \exp\left(-\frac{2,3}{4,1} \sqrt{4,1}\right) = \\ &= 1,8 e^{\left(-\frac{2,3}{4,1} \sqrt{4,1}\right)} = 1,8 \cdot 0,321 = 0,578 = 0,6. \end{aligned}$$

1. Визначаємо кількість повітря, яка надходить по жолобу до нижнього укриття.

Розраховуємо тепловий напір $[\rho_0 = 1,213 \text{ кг/м}^3 \text{ при } t_0 = 18^\circ\text{C}; \rho_y = 1,083 \text{ кг/м}^3 \text{ при температурі за формулою (1.24)}$

$$t_y = k_i \frac{t_0 + t_T}{2} = 0,9 \frac{18 + 100}{2} = 53^\circ\text{C}$$

де $t_0 = 18^\circ\text{C}$ – температура повітря в приміщенні, $^\circ\text{C}$;
 $t_T = 100^\circ\text{C}$ – температура матеріалу, $^\circ\text{C}$ (прийнята);
 k_i – поправочний коефіцієнт, який визначається в залежності від різниці температур ($\Delta t = t_T - t_0 = 100 - 18 = 82$) за табл. 1.1, звідки $k_i = 0,9$ [4]

За дод. Г [4] отримуємо:

Температура, °C	Парціальний тиск водяної пари, мм рт. ст.	Щільність повітря, кг/м ³		Вологовміст насиченого повітря, г/кг	Тепловміст насиченого повітря, кДж/кг
		сухого	насиченого		
53	107,2	1,083	1,025	102,2	319

Величина теплового напору залежить від інтенсивності міжкомпонентного теплообміну і визначається зміною температури повітря по довжині жолоба. Для практичних розрахунків можна використовувати наступну залежність (1.23):

$$P_T = \frac{\rho_0 - \rho_y}{2} gH,$$

де ρ_y – щільність повітря, яке поступає в укриття по жолобу, кг/м³;

$H = 4,9$ м – висота перепаду матеріалу (див. рис. 1.2), м

$$P_T = \frac{\rho_0 - \rho_y}{2} gH = \frac{1,213 - 1,083}{2} 9,8 \cdot 4,9 = 3,1 \text{ Н/м}^2.$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів (див. довідники, дод. В) [4] дорівнює

$$\zeta_{\text{ж}}^H = 0,3 + 0,3 + 1,05 = 1,65.$$

Примітка. За даними довідників (дод. В) [4] обираємо:

- вхід повітря з укриття в жолоб: при русі повітря вниз $\zeta'_{\text{ін}} = 0,3$;

- вихід повітря з жолоба в укриття: при русі повітря вниз $\zeta'_{\text{ін}} = 1,05$.

Оскільки напрямок потоку газу співпадає з напрямком руху матеріалу, що пересипається, то кількість повітря, яка проходить по жолобу (площею поперечного перерізу $F = 0,36$ м² (див. вихідні дані)), в визначається за формулою (1.10) з урахуванням спрощення (для аспірації перевантаження сухих гарячих матеріалів $\frac{1+m_k}{1+m_0} = 1$, оскільки не враховується збільшення вологовмісту)

$$G_{\text{ж}} = F \sqrt{\frac{P_e - P_T + P_2 - P_1}{\zeta_{\text{ж}}^H \frac{1}{2\rho_{\Gamma}^K} + \frac{1}{\rho_{\Gamma}^K} - \frac{1}{\rho_{\Gamma}^0}}}$$

де $\zeta_{\text{ж}}^H$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів, віднесених до швидкості повітря в кінці жолоба (див. довідники) [4];

m_0, m_k – вологовміст повітря на початку та в кінці жолоба, кг/кг

(див. додаток Г) [4];

$$G_{\text{ж}} = 0,36 \sqrt{\frac{P_e - 3,1 + 8 - 5}{1,65 \cdot \frac{1}{2 \cdot 1,083} + \frac{1}{1,083} - \frac{1}{1,213}}} = 0,36 \sqrt{\frac{P_e - 0,1}{0,76 + 0,92 - 0,82}} =$$

$$= 0,36 \sqrt{\frac{P_e - 0,1}{0,86}} = 0,36 \frac{\sqrt{P_e - 0,1}}{\sqrt{0,86}} = 0,36 \frac{\sqrt{P_e - 0,1}}{0,93} = 0,39 \sqrt{P_e - 0,1} \text{ кг/с.}$$

З урахуванням формул (1.27) та (1.12) визначаємо
- справжня швидкість

$$v_{\Gamma} = \frac{G_{\text{ж}}}{\rho_y F} = \frac{0,39 \sqrt{P_e - 0,1}}{1,083 \cdot 0,36} = \frac{0,39 \sqrt{P_e - 0,1}}{0,39} = \sqrt{P_e - 0,1} \text{ м/с} \quad (\text{A})$$

- ежекційний опір

$$P_e = \frac{\bar{c} \varepsilon G_{\text{T}} [|v_{\text{к}} - v_{\Gamma}|^3 - |v_0 - v_{\Gamma}|^3]}{\rho_{\text{T}} 4 d F a_{\text{T}}} =$$

$$= \frac{0,6 \cdot 1,083 \cdot 38 \cdot [|8 - v_{\Gamma}|^3 - |5,8 - v_{\Gamma}|^3]}{3700 \cdot 4 \cdot (4,1 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,36 \cdot 6} =$$

$$= \frac{24,692 \cdot [|8 - v_{\Gamma}|^3 - |5,8 - v_{\Gamma}|^3]}{129,5} = 0,189 [|8 - v_{\Gamma}|^3 - |5,8 - v_{\Gamma}|^3] \text{ н/м}^3. \quad (\text{B})$$

Вирішуючи методом послідовних наближень (бажано використовувати Excel) спільно рівняння (A) та (B), знаходимо розрахункову швидкість повітря, яке поступає по жолобу в нижнє укриття $v = 3,73 \text{ м/с}$ та його витрату.

P_e підставляється	$v_{\Gamma} = \sqrt{P_e - 0,1}$ визначається	$P_e = 0,189 [8 - v_{\Gamma} ^3 - 5,8 - v_{\Gamma} ^3]$ визначається	Примітка
1	0,95	44,66	
2	1,38	38,51	
3	1,7	34,23	
4	1,97	30,82	
5	2,21	27,94	
6	2,43	25,43	
7	2,63	23,25	
8	2,81	21,37	
9	2,98	19,67	
10	3,15	18,04	
11	3,3	16,67	
12	3,45	15,35	
13	3,59	14,17	
14	3,73	13,04	Приймається

Кількість повітря, яка поступає в укриття по жолобу, визначається за формулою (1.29)

$$G_{\text{ж}} = v\rho_y F = 3,73 \cdot 1,083 \cdot 0,36 = 1,45 \text{ кг/с.}$$

2. Визначаємо продуктивність відсмоктувачів.

За формулою (1.4) знаходимо

$$G_{\text{н}} = 0,65 F_{\text{н}} \sqrt{2\rho_0 P},$$

де $F_{\text{н}}$ – загальна площа нещільностей в укритті, м²
 P – середнє розрідження в укритті, дорівнює

$$G_{\text{н1}} = 0,65 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,213 \cdot 5} = 2,17 \text{ кг/с;}$$

$$G_{\text{н2}} = 0,65 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,213 \cdot 8} = 0,57 \text{ кг/с.}$$

Тоді продуктивність відсмоктувачів з урахуванням коефіцієнтів запасу (для продуктивності верхнього відсмоктувача $k_3 = 1,2$; для нижнього $k_3 = 1,1$) дорівнює

- для верхнього

$$G_1 = (G_{\text{н1}} - G_{\text{ж}})k_3 = (2,17 - 1,45) \cdot 1,2 = 0,86 \text{ кг/с;}$$

- для нижнього

$$G_2 = (G_{\text{н2}} + G_{\text{ж}})k_3 = (0,57 + 1,45) \cdot 1,1 = 2,22 \text{ кг/с.}$$

Для ненагрітого повернення розрахунок набагато спрощується ($\rho_y = \rho_0 = 1,213 \text{ кг/м}^3$; $P_{\text{т}} = 0$).

Враховуючи, що потрібен лише один (нижній) відсмоктувач, слід визначити суму коефіцієнтів місцевих опорів з урахуванням опорів входу повітря у верхнє укриття (див. дод. В) [4].

Примітка. За даними довідників (дод. В) [4] обираємо:

- вхід повітря з укриття в жолоб: при русі повітря вниз $\zeta'_{\text{ін}} = 0,3$;

- вихід повітря з жолоба в укриття: при русі повітря вниз $\zeta'_{\text{ін}} = 1,05$.

Сума коефіцієнтів місцевих опорів (див. довідники, дод. В) [4] дорівнює

$$\zeta_{\text{ж}}^{\text{н}} = 0,3 + 0,3 + 1,05 = 1,65.$$

При русі повітря по жолобу з верхнього укриття в нижнє сума коефіцієнтів місцевих опорів (к.м.о.) розраховується за формулою:

- при відсмоктуванні лише з нижнього укриття

$$\zeta^H = \sum_{i=1}^N \zeta_{iH} + 2,4 \left(\frac{F}{F_{H1}} \right)^2 = 1,65 + 2,4 \cdot \left(\frac{0,36}{0,96} \right)^2 = 1,9875 = 2,0$$

де F – площа перерізу жолоба в світлі нормально до поздовжньої вісі його в місці входу матеріалу в укриття, м² (див. дод. В) [4];

F_{H1} – площа нещільностей верхнього укриття, м²

Враховуючи, що потрібен лише один (нижній) відсмоктувач, за формулою (1.30) визначаємо

$$G_{ж} = F \sqrt{\frac{P_e + P_1}{\zeta^H \frac{1}{2\rho_0}}},$$

де ζ^H – сума коефіцієнтів місцевих опорів з урахуванням опорів входу повітря у верхнє укриття (див. дод. В) [4]

$$\begin{aligned} G_{ж} &= F \sqrt{\frac{P_e + P_1}{\zeta^H \frac{1}{2\rho_0}}} = 0,36 \cdot \sqrt{\frac{P_e + 8}{2,0 \cdot \frac{1}{2 \cdot 1,213}}} = 0,36 \cdot \sqrt{\frac{P_e + 8}{\frac{1}{1,213}}} = 0,36 \cdot \sqrt{\frac{P_e + 8}{0,824}} = \\ &= 0,36 \cdot \frac{\sqrt{P_e + 8}}{\sqrt{0,824}} = \frac{0,36}{0,91} \cdot \sqrt{P_e + 8} = 0,396 \sqrt{P_e + 8} = 0,4 \sqrt{P_e + 8}. \end{aligned}$$

Звідки справжня швидкість

$$v_{\Gamma} = \frac{G_{ж}}{\rho_y F} = \frac{0,4 \sqrt{P_e + 8}}{1,213 \cdot 0,36} = \frac{0,4 \sqrt{P_e + 8}}{0,43} = 0,92 \sqrt{P_e + 8} \text{ м/с}, \quad (C)$$

де ежекційний опір

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{\bar{c} \varepsilon G_{\Gamma} [|v_{\kappa} - v_{\Gamma}|^3 - |v_0 - v_{\Gamma}|^3]}{\rho_{\Gamma} 4 d F a_{\Gamma}} = \\ &= \frac{0,6 \cdot 1,213 \cdot 38 \cdot [|8 - v_{\Gamma}|^3 - |5,8 - v_{\Gamma}|^3]}{3700 \cdot 4 \cdot (4,1 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,36 \cdot 6} = \\ &= \frac{27,656 \cdot [|8 - v_{\Gamma}|^3 - |5,8 - v_{\Gamma}|^3]}{129,5} = 0,2 [|8 - v_{\Gamma}|^3 - |5,8 - v_{\Gamma}|^3] \text{ Н/м}^3. \end{aligned} \quad (D)$$

Розраховуючи сумісно рівняння (С) та (D), знаходимо розрахункове значення швидкості ($v_r = 4,0$ м/с) (бажано використовувати *Excel*) та витрату повітря, що поступає по жолобу в нижнє укриття, з урахуванням формули (1.29)

$$G_{\text{ж}} = v_r \rho_y F = 4,0 \cdot 1,213 \cdot 0,36 = 1,75 \text{ кг/с.}$$

P_e	$v_r = 0,92\sqrt{P_e + 8}$	$P_e = 0,2[8 - v_r ^3 - 5,8 - v_r ^3]$	Примітка
підставляється	визначається	визначається	
1	2,76	23,16	
2	2,91	21,55	
3	3,05	20,1	
4	3,19	18,7	
5	3,32	17,45	
6	3,44	16,34	
7	3,56	15,26	
8	3,68	14,22	
9	3,79	13,3	
10	3,9	12,41	
11	4,01	11,56	Приймається
12	4,11	10,81	
13	4,22	10,01	
14	4,32	9,32	
15	4,41	8,72	

Продуктивність нижнього відсмоктувача складе

$$G_2 = G_{\text{H2}} + G_{\text{ж}} = 0,57 + 1,75 = 2,32 \text{ кг/с.}$$

Промислові досліді місцевих відсмоктувачів на перевантаженнях гарячих матеріалів агломераційних фабрик показали, що розрахункові заведеною методикою об'єми аспірації задовільно співпадають з даними експериментальних замірів. Відносна похибка не перевищує $\pm 15 \%$.

1.2.3 Перевантаження вологих матеріалів (див. практичну роботу № 1)

Вплив масообміну під час перевантаження вологих матеріалів з об'єму аспірації можна відслідкувати на прикладі розрахунку аспірації барабанних охолоджувачів.

Процес охолодження матеріалу в барабанних охолоджувачах супроводжується інтенсивним виділенням пари, яка проникає разом з пилом через нещільності та отвори в робочі приміщення. Для локалізації шкідливостей, які виділяються, в практиці застосовуються ємкі укриття з різною схемою установки місцевих відсмоктувачів [4].

Аспірацію барабанних охолоджувачів можна розглядати як окремий випадок аспірації перевантаження гарячого матеріалу у велику ємність, де в результаті тепло- та масообміну відбувається ще й інтенсивне виділення водяної пари.

Тому визначити оптимальний об'єм суміші, який відсмоктується, можна за наведеною вище методикою (див. п. 1.1-1.2), розглядаючи ємність барабану як нижнє укриття завантажувального або як верхнє укриття розвантажувального жолобу [4]. До необхідних об'ємів аспірації в цьому випадку додається об'єм пари, яка виділяється.

Розраховуємо об'єм повітрообміну в барабані на основі рівняння теплового балансу

$$G_T I_T + G_B I_B \pm \frac{G_1 I_1}{1+m_1} + G_H I_H \pm = G'_T I'_T + \frac{G_6 I_6}{1+m_6} \pm \frac{G_2 I_2}{1+m_2} + Q_T, \quad (1.33)$$

та рівняння масового балансу для сухої частини повітря

$$\frac{G_H}{1+m_H} \pm \frac{G_1}{1+m_1} = \frac{G_6}{1+m_6} \pm \frac{G_2}{1+m_2}, \quad (1.34)$$

- де G_T, G'_T – витрата матеріалу, завантаженого в барабан та вивантаженого з нього, кг/с;
- G_B – витрата води, яка подається в барабан, кг/с;
- G_1, G_2 – витрата пароповітряної суміші в кінці завантажувального та на початку розвантажувального жолоба, кг/с;
- G_6, G_H – витрата суміші, яка аспірується з барабану і просмоктується крізь нещільності, кг/с;
- I_T, I'_T – тепловміст матеріалу, який поступає в барабан та вивантажується з нього, кДж/кг;
- I_B – тепловміст води, яка поступає в барабан, кДж/кг;
- I_1, I_2 – тепловміст пароповітряної суміші в кінці завантажувального жолоба та на початку розвантажувального, кДж/кг;
- I_6, I_H – тепловміст аспірованої суміші та суміші, яка просмоктується крізь нещільності, кДж/кг;
- m_1, m_2 – вологовміст пароповітряної суміші в кінці завантажувального та на початку розвантажувального жолобів, кг/кг;
- m_H, m_6 – вологовміст суміші, яка просмоктується в барабан через нещільності та аспірованої з барабану, кг/кг;
- Q_T – тепловтрати крізь стінки барабану та його укриття, кДж/с

Знак плюс відповідає прямотоку (напряму руху пароповітряної суміші та матеріалу в жолобах співпадають), а знак мінус – протитоку (суміш

рухається назустріч матеріалу, який перевантажується).

Аналіз рівняння (1.33) показав, що практично кількість тепла, яка вноситься у барабан матеріалом, набагато вище за тепло, яке поступає з повітрям та водою, які просмоктуються. Нехтуючи втратами тепла в навколишнє середовище, рівняння теплового балансу при прямотоці (що має місце в більшості випадків) приймає вид

$$G_T(I_T - I'_T) = G_1(I_6 - I_1) + G_H I_6 \quad (1.35)$$

Звідки

$$I_6 = \frac{G_T(I_T - I'_T) + G_1 I_1}{G_1 + G_H} \quad (1.36)$$

Розрахунок об'ємів аспірації складається з:

- визначення тепловмісту I_1 та кількості повітря G_1 , яке поступає по завантажувальному жолобу в барабан;
- визначення кількості повітря G_H , яке просмоктуються крізь нещільності в барабан;
- розрахунку за формулою (1.36) тепловміст I_6 пароповітряної суміші, яка уходить по розвантажувальному жолобу і в місцевий відсмоктувач барабану. Так як пароповітряна суміш, яка видаляється, насичена, температуру і вологовміст її t_6 та m_6 слід приймати за таблицями дод. Г [4];
- розрахунку кількості пароповітряної суміші G_2 , яка уходить по розвантажувальному жолобу в нижнє укриття;
- визначення кількості пароповітряної суміші, яка відсмоктуються від барабану,

$$G_6 = (G_1 + G_H)(1 + m_6) - G_2. \quad (1.37)$$

1.2.4 Приклад № 2: визначення об'єму аспірації барабанного охолоджувача повернення (див. практичну роботу № 1)

Приклад № 2

Визначити об'єм аспірації барабанного охолоджувача повернення (рис. 1.3) [4].

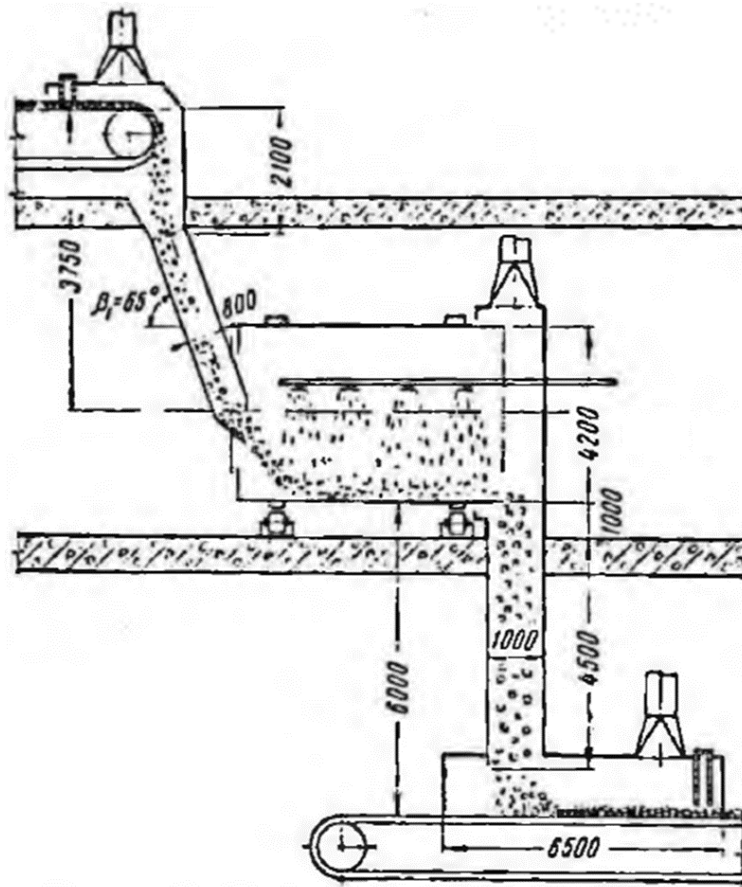


Рисунок 1.3 – Розрахункова схема для визначення об'єму аспірації при перевантаженнях, прилеглих до барабанного охолоджувача [4]

Вихідні дані:

- витрата матеріалу $G_T = 83,5$ кг/с;
- гранулометричний склад повернення такий же, як в прикладі 1 (п.п. 1.2.2);

Клас, мм	20 – 10	10 – 5	5 – 2,5	2,5 – 1,25	1,25 – 0,63	0,63 – 0
Вихід, %	2	31	25	24	8	10

- температура повернення до охолодження в барабані $t_T = 450^\circ \text{C}$, після охолодження $t'_T = 100^\circ \text{C}$,
- щільність повернення $\rho_T = 4100$ кг/м³;
- температура повітря в приміщенні $t_0 = 18^\circ \text{C}$;
- висота перепаду матеріалу з пластинчастого живильника в барабан $H_1 = 3,75$ м та з барабану на конвеєр $H_2 = 6$ м;
- кут нахилу верхнього жолоба $\beta_1 = 65^\circ$, нижнього – $\beta_2 = 90^\circ$;
- площа поперечного перерізу верхнього жолоба $F_1 = 0,8$ м², нижнього – $F_2 = 1$ м²;
- площі нещільностей та оптимальні розрідження в укриттях (див. довідники, дод. Б) [4]:
 - привідного барабану пластинчастого живильника $F_{H1} = 1,4$ м², $P_1 = 5$ Н/м²;

- барабанного охолоджувача $F_H = 0,5 \text{ м}^2$, $P_6 = 15 \text{ Н/м}^2$;
- башмака розвантажувального жолоба $F_{H2} = 0,3 \text{ м}^2$, $P_2 = 8 \text{ Н/м}^2$;
- середній діаметр часток повернення $d = 4,1 \text{ мм}$ (див. приклад № 1, п.п. 1.2.2);

Рішення

Прискорення та швидкість матеріалу на початку і в кінці завантажувального жолоба ($\beta_1 = 65^\circ$, див. вихідні дані; $H = 2,1 \text{ м}$, див. рис. 1.3) з урахуванням формули (1.22):

- швидкість матеріалу на початку завантажувального жолоба

$$v'_0 = v_{\text{BX}} \sin \beta_1 = \sqrt{2gH} \sin \beta_1 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,1} \sin 65^\circ = 5,8 \text{ м/с};$$

- прискорення, яке отримує матеріал, визначається за формулою (1.20)

$$a'_T = g(1 - f_{\text{тр}} \operatorname{ctg} \beta_i) \sin \beta_i = 9,8(1 - 0,51 \operatorname{ctg} 65^\circ) \sin 65^\circ = 6,75 \text{ м/с}^2;$$

- швидкість матеріалу в кінці завантажувального жолоба (висота перепаду матеріалу на i -тій прямолінійній ділянці жолоба $H_i = 1,65 \text{ м}$ за розрахунковою схемою рис. 1.3) за формулою (1.19)

$$v'_K = \sqrt{(v_0)^2 + 2a_{Ti} \frac{H_i}{\sin \beta_i}} = \sqrt{(5,8)^2 + 2 \cdot 6,75 \cdot \frac{1,65}{\sin 65^\circ}} = 7,6 \text{ м/с}$$

Прискорення та швидкість матеріалів на початку і в кінці розвантажувального жолоба ($\beta_2 = 90^\circ$, див. вихідні дані; $H = 1,0 \text{ м}$, див. рис. 1.3):

- швидкість матеріалу на початку розвантажувального жолоба

$$v''_0 = v_{\text{BX}} \sin \beta_1 = \sqrt{2gH} \sin \beta_1 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,0} \sin 90^\circ = 4,4 \text{ м/с};$$

- прискорення, яке отримує матеріал, визначається за формулою (1.20)

$$a''_T = g = 9,8 \text{ м/с}^2;$$

Примітка. $\operatorname{ctg}(90^\circ) = 0$, тому враховується лише прискорення сили тяжіння $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

- швидкість матеріалу в кінці завантажувального жолоба (висота перепаду матеріалу на i -тій прямолінійній ділянці жолоба $H_i = 4,5 \text{ м}$ за розрахунковою схемою рис. 1.3) за формулою (1.19)

$$v''_K = \sqrt{(v_0)^2 + 2a_{Ti} \frac{H_i}{\sin \beta_i}} = \sqrt{(4,4)^2 + 2 \cdot 9,8 \cdot \frac{4,5}{\sin 90^\circ}} = 10,4 \text{ м/с}$$

Усереднена об'ємна концентрація матеріалу за формулою (1.14):
- у завантажувальному жолобі

$$\bar{s}' = \frac{2G_T}{\rho_T F(v_0 + v_K)} = \frac{2 \cdot 83,5}{4100 \cdot 0,8 \cdot (5,8 + 7,6)} = 3,8 \cdot 10^{-3}$$

$$10^{-4} < 3,8 \cdot 10^{-3} < 10^{-2}$$

- у розвантажувальному жолобі

$$\bar{s}'' = \frac{2G_T}{\rho_T F(v_0 + v_K)} = \frac{2 \cdot 83,5}{4100 \cdot 1,0 \cdot (4,4 + 10,4)} = 2,75 \cdot 10^{-3}$$

$$10^{-4} < 2,75 \cdot 10^{-3} < 10^{-2}$$

Приведений коефіцієнт лобового опору часток повернення за формулою (1.13):

- у завантажувальному жолобі

$$\begin{aligned} \bar{c}' &= 1,8 \exp\left(-\frac{2,3}{d \cdot 10^3} \sqrt{\bar{s} \cdot 10^3}\right) = \\ &= 1,8 \exp\left(-\frac{2,3}{4,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3} \sqrt{3,8 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}\right) = \\ &= 1,8 \exp\left(-\frac{2,3}{4,1} \sqrt{3,8}\right) = \\ &= 1,8 e^{\left(-\frac{2,3}{4,1} \sqrt{3,8}\right)} = 1,8 \cdot 0,335 = 0,603 = 0,60. \end{aligned}$$

- у розвантажувальному жолобі

$$\begin{aligned} \bar{c}'' &= 1,8 \exp\left(-\frac{2,3}{d \cdot 10^3} \sqrt{\bar{s} \cdot 10^3}\right) = \\ &= 1,8 \exp\left(-\frac{2,3}{4,1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3} \sqrt{2,75 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3}\right) = \\ &= 1,8 \exp\left(-\frac{2,3}{4,1} \sqrt{2,75}\right) = \end{aligned}$$

$$= 1,8 e^{\left(-\frac{2,3}{4,1}\sqrt{2,75}\right)} = 1,8 \cdot 0,394 = 0,710 = 0,71.$$

Сума коефіцієнтів місцевих опорів (див. довідники, дод. В) [4]:
- для завантажувального жолоба

$$\zeta'_{\text{ж}} = 0,3 + 0,3 + 1,05 = 1,65$$

- для розвантажувального жолоба

$$\zeta''_{\text{ж}} = 0,3 + 1,05 = 1,35.$$

Примітка. За даними довідників (дод. В) [4] обираємо:

- вхід повітря з укриття в жолоб: при русі повітря вниз $\zeta'_{\text{ін}} = 0,3$;
- вихід повітря з жолоба в укриття: при русі повітря вниз $\zeta'_{\text{ін}} = 1,05$.

1. Визначаємо кількість повітря G_1 , яке надходить по завантажувальному жолобу у барабанний охолоджувач.

Для цього розраховуємо:

- температуру повітря, яке надходить по жолобу у барабан, визначають за формулою (1.24)

$$t'_y = k_i \frac{t_0 + t_T}{2} = 0,5 \frac{450 + 18}{2} = 117^\circ \text{C};$$

Примітка. Поправочний коефіцієнт, який визначається в залежності від різниці температур ($\Delta t = t_T - t_0 = 450 - 18 = 432^\circ \text{C}$) за табл. 3, звідки $k_i = 0,5$ [4].

- тепловий напір ($\rho'_y = 0,905 \text{ кг/м}^3$ при $t'_y = 117^\circ \text{C}$; $\rho'_0 = 1,213 \text{ кг/м}^3$ при $t'_0 = 18^\circ \text{C}$) визначається за формулою (2.23)

$$P_T' = \frac{\rho_0 - \rho_y}{2} gH = \frac{1,213 - 0,905}{2} 9,8 \cdot 3,75 = 5,6 \text{ Н/м}^2.$$

Примітка. За дод. Г [4] отримуємо:

Температура, °C	Парціальний тиск водяної пари, мм рт. ст.	Щільність повітря, кг/м ³		Вологовміст насиченого повітря, г/кг	Тепловміст насиченого повітря, кДж/кг
		сухого	насиченого		
18	15,47	1,213	1,204	12,93	50,7
100	760,0	0,947	0,588	-	-
117		x = 0,905			
120		0,898			

При $t'_y = 117^\circ \text{C}$ отримуємо методом інтерполяції значення щільності сухого повітря:

$$\begin{aligned}
120\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{ }^{\circ}\text{C} &= 20\text{ }^{\circ}\text{C} & 0,898\text{ кг/м}^3 - 0,947\text{ кг/м}^3 &= -0,049\text{ кг/м}^3, \\
117\text{ }^{\circ}\text{C} - 100\text{ }^{\circ}\text{C} &= 17\text{ }^{\circ}\text{C} & x', & \\
\text{тоді: } x' &= (-0,049 / 20) \cdot 17 = -0,04165, & & \\
100\text{ }^{\circ}\text{C} + 17\text{ }^{\circ}\text{C} &= 117\text{ }^{\circ}\text{C} & x &= 0,947 + x' = 0,947 + (-0,04165) = 0,905\text{ кг/м}^3
\end{aligned}$$

- ежекційний напір з урахуванням формули (1.12)

$$\begin{aligned}
P'_e &= \frac{\bar{c}' \varepsilon G_T [|v'_k - v'_r|^3 - |v'_0 - v'_r|^3]}{4dF_1 a'_T} = \\
&= \frac{\bar{c}' \rho'_y G_T [|v'_k - v'_r|^3 - |v'_0 - v'_r|^3]}{\rho_T 4dF_1 a'_T} = \\
&= \frac{0,6 \cdot 0,905 \cdot 83,5 [|7,6 - v'_r|^3 - |5,8 - v'_r|^3]}{4100 \cdot 4 \cdot 0,0041 \cdot 0,8 \cdot 6,75} = \\
&= 0,125 \cdot [|7,6 - v'_r|^3 - |5,8 - v'_r|^3], \text{ Н/м}^2;
\end{aligned} \tag{A}$$

- швидкість повітря в жолобі (при $m_0 = m_H$ – масообмін в завантажувальному жолобі відсутній) з урахуванням формули (1.27) та формули (1.10)

$$\begin{aligned}
v'_r &= \frac{G_{\text{ж}}}{\rho_y F} = \frac{F_1}{\rho_y F_1} \sqrt{\frac{P_e - P_T + P_6 - P_1}{\zeta'_{\text{ж}} \frac{1}{2 \cdot \rho'_y} + \frac{1}{\rho'_y} - \frac{1}{\rho'_0}}} = \frac{0,8}{0,905 \cdot 0,8} \sqrt{\frac{P_e - 5,6 + 15 - 5}{1,65 \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,905} + \frac{1}{0,905} - \frac{1}{1,213}}} = \\
&= \sqrt{P_e + 4,4} \text{ м/с.}
\end{aligned} \tag{B}$$

Вирішуючи методом послідовних наближень (бажано використовувати Excel) спільно рівняння (A) та (B), знаходимо розрахункову швидкість повітря, яке поступає у барабан $v = 3,44$ м/с та витрату повітря з урахуванням формули (1.29)

$$G'_1 = v'_r \rho'_y F_1 = 3,44 \cdot 0,905 \cdot 0,8 = 2,491 = 2,5 \text{ кг/с.}$$

P_e підставляється	$v'_r = \sqrt{P_e + 4,4}$ визначається	$P'_e = 0,125 \cdot [7,6 - v'_r ^3 - 5,8 - v'_r ^3]$ визначається	Примітка
1	2,32	13,13	
2	2,53	11,92	
3	2,72	10,87	
4	2,9	9,93	
5	3,07	9,08	
6	3,22	8,36	
7	3,38	7,62	
7,1	3,39	7,58	
7,2	3,41	7,49	
7,3	3,42	7,44	

P_e	$v'_r = \sqrt{P_e + 4,4}$	$P'_e = 0,125 \cdot [7,6 - v'_r ^3 - 5,8 - v'_r ^3]$	Примітка
підставляється	визначається	визначається	
7,4	3,44	7,36	Приймається
7,5	3,45	7,31	
7,6	3,46	7,27	
8	3,52	7,01	

2. Визначаємо кількість повітря, яка поступає крізь нещільності в укриття з пластинчастого живильника, визначається за формулою (1.4)

$$G_H = 0,65 F_{H1} \sqrt{2 \rho'_0 P_1} = 0,65 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,213 \cdot 5} = 3,17 \text{ кг/с.}$$

3. Визначаємо продуктивність відсмоктувача пластинчастого живильника

$$G_{пл} = (G_H - G_1) = (3,17 - 2,50) = 0,67 \text{ кг/с;}$$

Або продуктивність відсмоктувача з урахуванням коефіцієнтів запасу ($k_3 = 1,2$) дорівнює

$$G_{пл} = (G_H - G_1) k_3 = (3,17 - 2,50) \cdot 1,2 = 0,67 \cdot 1,2 = 0,80 \text{ кг/с;}$$

4. Визначаємо кількість повітря, яка просмоктується крізь нещільності у барабан, за формулою (1.4)

$$G_{нб} = 0,65 F_{H1} \sqrt{2 \rho'_0 P_1} = 0,65 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,213 \cdot 15} = 1,96 \text{ кг/с.}$$

5. Визначаємо тепловміст, вологовміст та температуру пароповітряної суміші, яка уходить через розвантажувальний жолоб і в місцевий відсмоктувач барабану.

За формулою (1.36) знаходимо

$$I_6 = \frac{G_T(I_T - I'_T) + G_1 I_1}{G_1 + G_H} = \frac{G_T \cdot 0,75(t_T - t'_T) + G_1 \cdot 1 \cdot t'_y}{G_1 + G_H} =$$

$$= \frac{83,5 \cdot 0,75(450 - 100) + 2,50 \cdot 1 \cdot 117}{2,50 + 1,96} = 4\,980 \text{ кДж/кг,}$$

де 0,75 – питома теплоємність повернення, кДж/(кг·град.);
1 – питома теплоємність повітря, кДж/(кг·град.)

При заданому I_6 (див. дод. Г) [4] знаходимо вологовміст насиченого повітря $m'_0 = 1,83 \text{ кг/кг}$, його температуру $t'_0 = 92^\circ \text{ С}$ та щільність $\rho'_0 = 0,694 \text{ кг/м}^3$.

Примітка. За дод. Г [4] отримуємо:

Температура, °C	Парціальний тиск водяної пари, мм рт. ст.	Щільність повітря, кг/м ³		Вологовміст насиченого повітря, г/кг	Тепловміст насиченого повітря, кДж/кг
		сухого	насиченого		
92	567,1	0,967	0,694	1 830	4 980

6. Визначаємо загальну кількість пароповітряної суміші, яка уходить з барабану (з урахуванням формули (1.37))

$$G_6 + G_2 = ((G_1 + G_{\text{нб}})(1 + m'_0) - G_2) + G_2 = (G_1 + G_{\text{нб}})(1 + m'_0) = \\ = (2,50 + 1,96)(1 + 1,83) = 12,6 \text{ кг/с}$$

7. Визначаємо кількість пароповітряної суміші, яка поступає з барабану в укриття башмака нижнього жолоба.

Для цього розраховуємо температуру пароповітряної суміші, яка поступає по жолобу в укриття за формулою (1.24)

$$t''_y = k_i \frac{t'_{0} + t'_{\tau}}{2} = 1,0 \frac{92 + 100}{2} = 96^{\circ} \text{C};$$

Примітка. Поправочний коефіцієнт, який визначається в залежності від різниці температур ($\Delta t = t'_{\tau} - t'_0 = 100 - 92 = 18^{\circ}\text{C}$) за табл. 1.1, звідки $k_i = 1,0$ [4].

При $t''_y = 96^{\circ} \text{C}$ (див. дод. Г) [4] щільність суміші $\rho''_y = 0,643 \text{ кг/м}^3$ та вологовміст $m''_k = 4 \text{ кг/кг}$ (див. дод. Г) [4].

Примітка. За дод. Г [4] отримуємо:

Температура, °C	Парціальний тиск водяної пари, мм рт. ст.	Щільність повітря, кг/м ³		Вологовміст насиченого повітря, г/кг	Тепловміст насиченого повітря, кДж/кг
		сухого	насиченого		
96	657,7	0,957	0,643	4 000	10 800

Тепловий напір визначається за формулою (1.23)

$$P''_{\tau} = \frac{\rho'_{0} - \rho''_y}{2} gH = \frac{1,213 - 0,643}{2} 9,8 \cdot 6,0 = 16,8 \text{ Н/м}^2.$$

Ежекційний напір з урахуванням формули (1.12)

$$\begin{aligned}
P_e'' &= \frac{\bar{c}'' \varepsilon G_T [|v''_K - v''_r|^3 - |v''_0 - v''_r|^3]}{4dF_2 a''_T} = \\
&= \frac{\bar{c}'' \rho''_y G_T [|v''_K - v''_r|^3 - |v''_0 - v''_r|^3]}{\rho_T 4dF_2 a''_T} = \\
&= \frac{0,7 \cdot 0,643 \cdot 83,5 [|10,4 - v''_r|^3 - |4,4 - v''_r|^3]}{4100 \cdot 4 \cdot 0,0041 \cdot 1 \cdot 9,8} = \\
&= 0,058 \cdot [|10,4 - v''_r|^3 - |4,4 - v''_r|^3] \text{ Н/м}^2.
\end{aligned} \tag{C}$$

Швидкість повітря у жолобі з урахуванням формули (1.27) та формули (1.10)

$$\begin{aligned}
v''_r &= \frac{G_{ж}}{\rho''_y F} = \frac{F_2}{\rho''_y F_2} \sqrt{\frac{P_e - P_{T''} + P_2 - P_6}{\zeta''_{ж2} \frac{1}{\rho''_{y2}} + \frac{1}{\rho''_{y1}} - \left(\frac{1+m''_0}{1+m''_K}\right)^2 \frac{1}{\rho''_0}}} = \\
&= \frac{1}{0,643 \cdot 1} \sqrt{\frac{P_e - 16,8 + 8 - 15}{1,35 \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,643} + \frac{1}{0,643} - \left(\frac{1+1,83}{1+4}\right)^2 \frac{1}{1,213}}} = \\
&= \frac{1}{0,643} \sqrt{\frac{P_e - 23,8}{1,050 + 1,555 - 0,32 \cdot 0,824}} = \frac{1}{0,643} \frac{\sqrt{P_e - 23,8}}{\sqrt{2,341}} = \frac{1}{0,643} \frac{\sqrt{P_e - 23,8}}{1,530} = \\
&= 1,02 \sqrt{P_e - 23,8} \text{ м/с}.
\end{aligned} \tag{D}$$

Вирішуючи методом послідовних наближень (бажано використовувати Excel) спільно рівняння (C) та (D), знаходимо швидкість $v = 2,4$ м/с та витрату суміші, яка поступає в укриття башмака розвантажувального жолоба, з урахуванням формули (1.29)

$$G''_2 = v''_r \rho''_y F_2 = 2,4 \cdot 0,643 \cdot 1,0 = 1,54 \text{ кг/с}.$$

P_e	$v''_r = 1,02 \sqrt{P_e - 23,8}$	$P''_e = 0,058 \cdot [10,4 - v''_r ^3 - 4,4 - v''_r ^3]$	Примітка
підставляється	визначається	визначається	
24	0,46	53,41	
25	1,12	44,31	
26	1,51	39,35	
27	1,82	35,64	
28	2,09	32,57	
29	2,33	29,97	
29,1	2,35	29,76	
29,2	2,37	29,55	
29,3	2,39	29,34	Приймається
29,4	2,41	29,13	
30	2,54	27,79	
31	2,74	25,8	

Кількість пароповітряної суміші, яка уходить з барабану по розвантажувальному жолобу, дорівнює

$$G'''_2 = G''_2 \left(\frac{1+m'_0}{1+m''_K} \right) = 1,54 \cdot \left(\frac{1+1,83}{1+4} \right) = 0,87 \text{ кг/с.}$$

8. Визначаємо продуктивність місцевого відсмоктувача барабану

$$G_6 = G_H - G'''_2 = 12,6 - 0,87 = 11,7 \text{ кг/с;}$$

з урахуванням коефіцієнту запасу ($k_3 = 1,2$) дорівнює

$$G_6 = G_6 k_3 = 11,7 \cdot 1,2 = 14,04 \text{ кг/с.}$$

9. Визначаємо кількість пароповітряною сумішшю, яка поступає в укриття башмака розвантажувального жолоба крізь нещільності, за формулою (1.4)

$$G_{H2} = 0,65 F_{H2} \sqrt{2 \rho''_0 P_2} = 0,65 \cdot 0,3 \cdot \sqrt{2 \cdot 1,213 \cdot 8} = 0,86 \text{ кг/с.}$$

10. Визначаємо кількість пароповітряної суміші, яка відсмоктується з укриття башмака розвантажувального жолоба,

$$G_{y6} = G_{H2} + G''_2 = 0,86 + 1,54 = 2,40 \text{ кг/с}$$

або з урахуванням коефіцієнту запасу для нижнього відсмоктувача $k_3 = 1,1$

$$G_{y6} = G_{y6} k_3 = 2,40 \cdot 1,1 = 2,64 \text{ кг/с.}$$

Об'єми аспірації, розраховані за наведеною методикою (п. 1.2, п.п. 1.2.4, приклад № 2), відповідали даним експериментальних досліджень місцевих відсмоктувачів барабанних охолоджувачів обпаленої руди ГЗК за даними [4]. Відхилення розрахованих об'ємів аспірації від фактичних коливань в межах 1,8 – 24 %, в середньому 10 % [4].

1.3 Перевантаження матеріалів помірної температури

Направлений потік повітря в жолобах при перевантаженнях нагрітих матеріалів визначається лише дією ежекційного напору. Як видно з рівняння (1.7), направлення повітряного потоку співпадає з напрямком руху потоку матеріалу (прямоток). Ежектоване повітря поступає з

верхнього укриття в нижнє. Тому для ефективного знепилювання перевантажень ненагрітих матеріалів передбачається улаштування аспірованого укриття лише в місцях завантаження конвеєрів.

Початкове рівняння для розрахунку об'ємів аспірації (1.6) у випадку пересипання холодних матеріалів спрощується. Ліва частина цього рівняння, враховуючи сталість поперечного перерізу жолоба, дорівнює нулю. Другий член правої частини дорівнює також нулю, оскільки відсутній міжкомпонентний теплообмін.

Таким чином,

$$\zeta_H \frac{v_T^2}{2} \rho_0 = \int_0^l s_{KC} \frac{|v_T - v_T| (v_T - v_T)}{2} \rho_0 dx + P_2, \quad (1.38)$$

або після нескладних перетворень

$$\zeta_H \frac{\rho_0}{2F^3} L_e^3 = \int_0^l \frac{G_T}{\rho_T} KC \frac{|v_T - v_T| (v_T - v_T)}{2} \psi \rho_0 dx + P_2 L_e, \quad (1.39)$$

де ζ_H – сума коефіцієнтів місцевих опорів жолоба з урахуванням входу повітря у верхнє укриття (див. дод. В) [4];

L_e – кількість ежектованого повітря, м³/с;

ψ – коефіцієнт ковзання фаз

Рівняння (1.39) вирішено при $\psi = \bar{\psi} = 1$ та $v_T - v_T > 0$. В цьому випадку маємо

$$\zeta_H \frac{\rho_0}{2F^2} L_e^3 = \int_0^l n P_L dx, \quad (1.40)$$

де n – кількість падаючих часток, с⁻¹:

$$n = \frac{G_T}{\rho_T \Omega_T},$$

Ω_T – об'єм частки, м³;

P_L – сила лобового опору

$$P_L = cf \frac{(v_T - v_T)^2}{2} \rho_0, \text{ Н/м}^2 \quad (1.41)$$

де f – площа міделевого перерізу, м²

Найбільше досконалі методики розрахунку кількості аспірованого повітря при перевантаженнях холодних матеріалів засновані на рівнянні (1.40). Незважаючи на деякі допущення, прийняті при виведенні цього рівняння, головним з яких є одномірність потоку, розроблені за цією методикою задовільно описують явище ежекції в реальних умовах та отримують все більше розповсюдження в практиці проектування [4].

При вирішенні рівняння (1.40) та розробки методики розрахунку виникла необхідність всі холодні матеріали розділити на три класи: кускові зі середнім діаметром часток $d \geq 3$ мм; дрібнозернисті зі середнім діаметром $0,2 < d < 3$ мм та вміст часток діаметром менше 3 мм не менше 40 %; порошкоподібні, які містять частки діаметром менше 0,15 мм більше 50 % при максимальному розмірі часток не більше 1,5 мм.

1.3.1 Перевантаження кускових матеріалів

Для перевантаження кускового матеріалу, враховуючи відносно великий розмір часток та їх щільність, при розрахунку швидкості руху силами лобового опору можна знехтувати. Вважаючи, таким чином, рух матеріалу в жолобі рівноприскореним, а також вважаючи

$$c = c_0 = 0,45\Phi, \quad (1.42)$$

де	c_0	– коефіцієнт лобового опору часток в автомоделній області чисел Рейнольдса;	
	Φ	– динамічний коефіцієнт форми часток:	
		округлої форми	2,42
		продовгуватої	3,08
		шароподібної	1,00
		неправильний	3,49

Нейков О.Д. після інтегрованого рівняння (1.40) отримав [4]

$$\frac{\lambda^3}{6\lambda^2 - 8\lambda + 3} = \frac{K}{N}, \quad (1.43)$$

де	λ	– відношення швидкості повітря в жолобі до кінцевої швидкості матеріалу ($\lambda = \frac{v_r}{v_k}$);
----	-----------	--

$$T = 0,125 \frac{c_0}{\zeta_H} \cdot \frac{G_T v_k}{\rho_T F a_T d}, \quad (1.44)$$

$\frac{K}{N} = T$ – безрозмірний коефіцієнт

Таким чином, визначивши за вихідними даними T та визначивши за формулою (1.43) або за графіком (рис. 1.4) коефіцієнт λ , знаходимо кількість ежектованого повітря

$$L_e = \lambda v_k F, \quad (1.45)$$

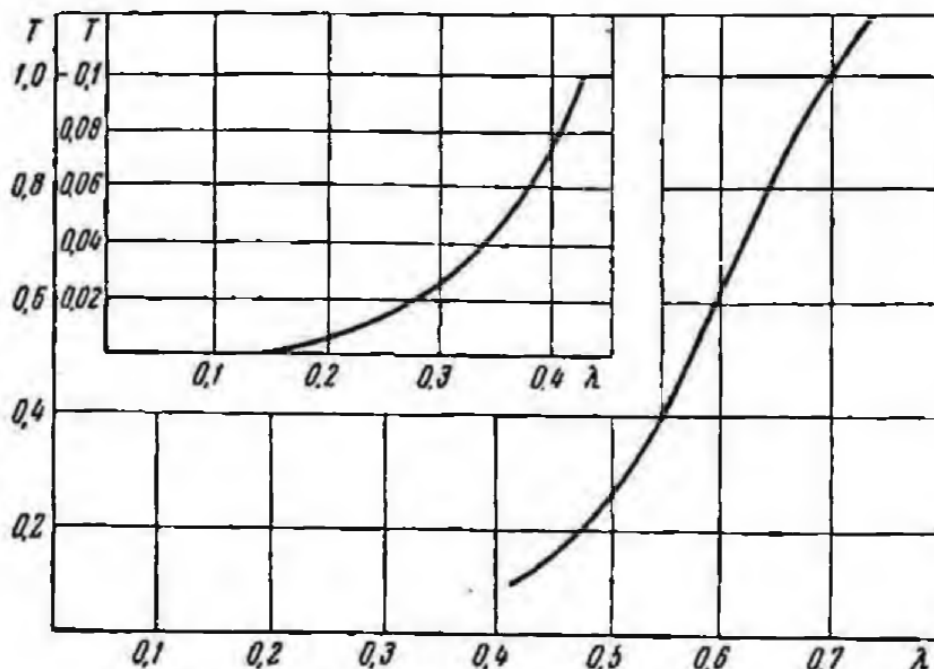


Рисунок 1.4 – Залежність $T = f(\lambda)$

Порядок визначення об'ємів аспірації для перевантаження кускових матеріалів наступний:

1. Розраховуємо кількість ежектованого повітря. Для цього визначаємо:

- за формулами (1.19) та (1.21) кінцеву швидкість матеріалу v_k та прискорення a_T ;
- сума коефіцієнтів місцевих опорів ζ^H (див. дод. В) [4];
- за формулою (1.15) середній діаметр d часток матеріалу;
- за формулою (1.44) безрозмірний коефіцієнт T ;
- коефіцієнт λ за графіком (див. рис. 1.4), попередньо розрахувавши T . За формулою (1.45) розраховуємо кількість ежектованого повітря.

2. За формулою (1.4) визначаємо кількість повітря, яка просмоктується крізь нещільності укриття

$$L_H = 0,65 F_{H2} \sqrt{\frac{2P_2}{\rho_0}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.46)$$

3. Визначаємо об'єм аспірації

$$L = k_p L_e + L_H, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.47)$$

де k_p – поправочний коефіцієнт, який враховує кількість повітря, яка ежектуюється, завдяки розрідженню в укритті, дорівнює

$$k_p = 1 + 0,2\sqrt{P_2}, \quad (1.48)$$

1.3.2 Приклад № 3: визначення об'ємів аспірації перевантажень руди з конвеєру на конвеєр

Приклад № 3

Визначити об'єми аспірації перевантажень руди з конвеєру на конвеєр (схема перевантаження див. рис. 1.2).

Вихідні дані:

- витрата матеріалу $G_T = 42$ кг/с;
- гранулометричний склад:

Клас, мм	120 – 75	75 – 45	45 – 20	20 – 10	10 – 6	6 – 0
Вихід, %	45	19	18	9	2,5	6,5

- частки руди неправильної форми ($\Phi = 3,49$; $C_0 = 1,57$);
- щільність матеріалу $\rho_T = 3900$ кг/м³;
- $F = 0,36$ м²; $F_{H1} = 0,96$ м²; $P_1 = 5$ Н/м², $F_{H2} = 0,2$ м², $P_2 = 8$ Н/м²; $a_T = 6,0$ м/с²; $v_K = 8$ м/с; $\zeta^H = 2,0$; $\rho_0 = 1,213$ кг/м³ (див. приклад № 1, п.п. 1.2.2 та/або практичну роботу № 1).

Рішення

1. Для визначення кількості ежектованого повітря виконуємо нижче наведений алгоритм дій.

Для матеріалів поліфракційного складу середній діаметр часток розраховується за формулою (1.15)

$$d = \sum_{i=1}^N y_i d_i,$$

- де y_i – масова частка часток i -ої фракції;
 d_i – діаметр часток i -ої фракції, м

$$\begin{aligned} d &= 0,01 \left(\left(\frac{120+75}{2} \right) \cdot 45 + \left(\frac{75+45}{2} \right) \cdot 19 + \left(\frac{45+20}{2} \right) \cdot 18 + \left(\frac{20+10}{2} \right) \cdot 9 + \left(\frac{10+6}{2} \right) \cdot 2,5 + \left(\frac{6+0}{2} \right) \cdot 6,5 \right) = \\ &= 0,01(97,5 \cdot 45 + 60 \cdot 19 + 32,5 \cdot 18 + 15 \cdot 9 + 8 \cdot 2,5 + 3 \cdot 6,5) = \\ &= 63 \text{ мм} = 63 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{aligned}$$

При безрозмірному коефіцієнті (див. формулу (1.44))

$$T = 0,125 \frac{c_0}{\zeta_H} \cdot \frac{G_T v_K}{\rho_T F a_T d} =$$
$$= 0,125 \cdot \frac{1,57}{2,0} \cdot \frac{42 \cdot 8}{3900 \cdot 0,36 \cdot 6,0 \cdot 63 \cdot 10^{-3}} = 0,062;$$

$\lambda = 0,36$ – визначаємо за рис. 1.4 за залежністю $T = f(\lambda)$;

Знаходимо кількість ежектованого повітря за формулою (1.45)

$$L_e = \lambda v_K F = 0,36 \cdot 8 \cdot 0,36 = 1,04 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2. Визначаємо об'єм повітря, що просмоктується крізь нещільності нижнього укриття, за формулою (1.46)

$$L_H = 0,65 F_{H2} \sqrt{\frac{2P_2}{\rho_0}} = 0,65 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 8}{1,213}} = 0,47 \text{ м}^3/\text{с}$$

3. Визначаємо поправочний коефіцієнт, який враховує кількість повітря, яка ежектується, завдяки розрідженню в укритті, за формулою (1.48)

$$k_p = 1 + 0,2\sqrt{P_2} = 1 + 0,2\sqrt{8} = 1,57;$$

Визначаємо об'єм аспірації за формулою (1.47)

$$L = k_p L_e + L_H = 1,57 \cdot 1,04 + 0,47 = 2,10 \text{ м}^3/\text{с}.$$

1.3.3 Перевантаження дрібнозернистих матеріалів

Характерним для перевантаження дрібнозернистих матеріалів (шихта, кокс, дроблений вапняк, концентрат) є те, що сили аеродинамічного опору при падінні часток в жолобі співставні з силами тяжіння. При розрахунку швидкості руху дрібнозернистого матеріалу на відміну від кускового необхідно враховувати опір середовища.

Тому при рішенні вихідного рівняння (1.40) приймають

$$c = 4,1 Re^{-0,3}, \quad (1.49)$$

де Re – число Рейнольдса

$$Re = \frac{v_{\tau} d}{\nu};$$

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с

Після інтегрування рівняння (1.40) та наступних спрощень отримуємо

$$\frac{\lambda^3}{1-2,28\lambda+1,28\lambda^3} = A, \quad (1.50)$$

де A – параметр

$$A = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Phi}{\zeta_H} \cdot \frac{G_{\tau} v_1^{0,7}}{\rho_{\tau} F d^{1,3}} \quad (1.51)$$

Швидкість матеріалу v_1 визначається з урахуванням опору середовища за формулою

$$H = 0,051 v_1^2 + 3,37 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{d^{-1,3} v_1^{3,7} \Phi}{\rho_{\tau}} + 2,85 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{d^{-2,6} v_1^{6,4} \Phi^3}{\rho_{\tau}^2} + \\ + 2,6 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{d^{-3,9} v_1^{7,1} \Phi^3}{\rho_{\tau}^3} + 2,58 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{d^{-5,2} v_1^{8,8} \Phi^4}{\rho_{\tau}^4} \quad (1.52)$$

Формула (1.52) отримана інтегруванням рівняння динаміки частки

$$\frac{dv_1}{d\tau} = g - \kappa \varepsilon c \frac{v_1^2}{2}, \quad (1.53)$$

де ε – відношення щільності повітря до щільності матеріалу;
 c – коефіцієнт лобового опору, визначаємий за формулою (1.49);
 H – висота перепаду матеріалу, м

При розрахунку аспірації швидкість v_1 рекомендується визначати за табл. 1.2, яка складена на основі рівняння (1.52).

Таблиця 1.2 – Залежність швидкості частинки, м/с, від висоти падіння, її щільності та розміру [4]

Розмір частинки <i>d</i> , мм	<i>ρ_т</i> , кг/м ³															
	1000				2000				3000				4000			
	<i>h_{пр}</i> , м															
	<0,5	=1,0	=1,5	>2,0	<0,5	=1,0	=1,5	>2,0	<0,5	=1,0	=1,5	>2,0	<0,5	=1,0	=1,5	>2,0
0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1
0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4
0,6	0,85	0,85	0,85	0,85	1,3	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	1,6
0,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,6	1,7	1,7	1,7	2,1	2,1	2,1	2,1	2,4	2,5	2,5	2,5
1,0	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	2,0	2,0	2,0	2,3	2,3	2,3	2,3	2,8	3,3	3,3	3,3
1,5	2,3	2,5	2,5	2,5	2,1	2,4	2,5	2,5	2,8	3,2	3,2	3,2	2,9	3,5	3,9	3,9
2,0	2,7	3,0	3,0	3,0	2,5	3,2	3,3	3,3	3,1	4,0	4,2	4,2	3,1	3,8	4,4	4,4
2,5	2,9	3,3	3,5	3,5	2,6	3,3	3,6	3,7	3,2	4,6	4,9	4,9	3,2	4,0	4,9	4,9
3,0	3,1	3,5	3,7	3,7	2,7	3,6	4,2	4,2	3,3	4,9	5,1	5,3	3,3	4,2	5,3	5,7

Для цього визначається приведена висота падіння матеріалу

$$h_{пр} = \frac{v_k^2}{2g}, \text{ м} \quad (1.54)$$

де v_k – кінцева швидкість матеріалу, визначається за формулою (1.19)

Потім при заданій щільності ρ_T матеріалу, який перевантажується, та розрахованому середньому діаметрі d часток визначається v_1 .

При розрахунку об'ємів повітря, ежектованого потоком дрібнозернистого матеріалу, визначають величину $\zeta_{п}$ (див. дод. В) [4].

По даним гранулометричного складу розраховують діаметр часток матеріалу, який перевантажується. При цьому враховують лише ті частки, швидкість руху яких більше швидкості ежектованого повітря, тобто

$$d = \frac{100-a}{\sum_{i=1}^n \frac{N_i}{d_i}}, \text{ м} \quad (1.55)$$

де a – сумарний вміст часток, швидкість вітання котрих менше або дорівнює швидкості ежектованого повітря;

N_i – масовий вміст часток крупністю d_i , %

За табл. 1.2 визначають швидкість руху матеріалу v_i [4].

Орієнтовно можна не враховувати наступні частки:

d , мм	ρ_T , кг/м ³
$\leq 0,8$	1000
$\leq 0,6$	2000
$\leq 0,5$	3000
$\leq 0,4$	4000

За формулою (1.51) розраховують параметр A .

За формулою (1.50) або за графіком (рис. 1.5) визначають коефіцієнт λ .

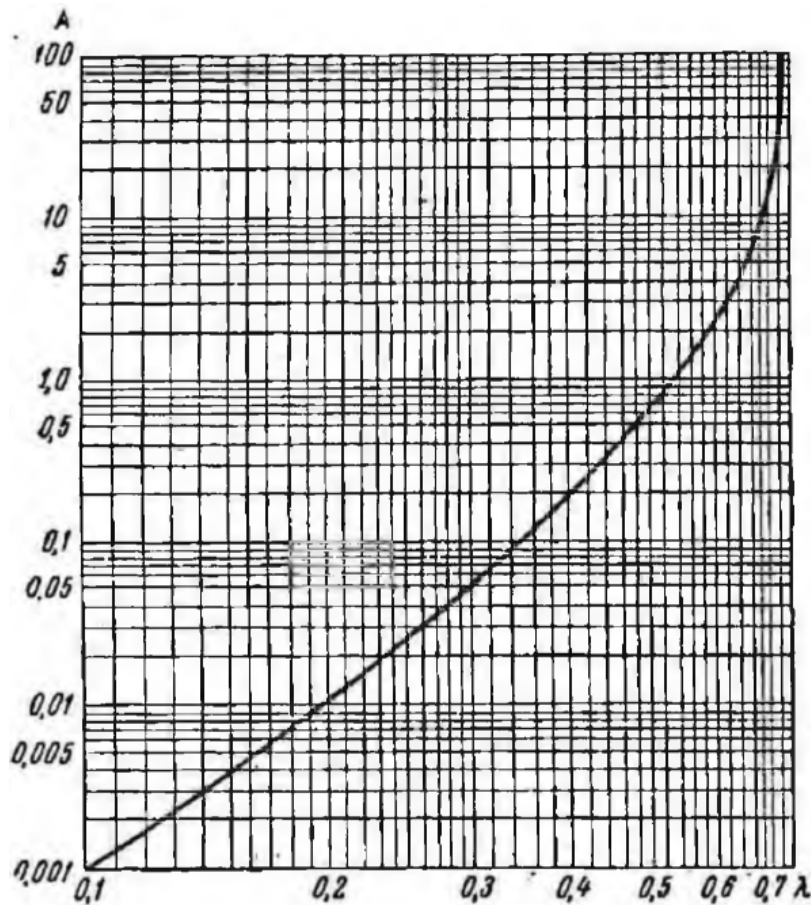


Рисунок 1.5 – Залежність $A = f(\lambda)$

Визначають кількість ежектованого повітря

$$L_e = k_p \lambda v_1 F, \quad (1.56)$$

де k_p – коефіцієнт, який враховує збільшення об'ємів ежекції при наявності розрідження в укритті, визначається за формулою (1.48)

Експериментальні дослідження динаміки потоку дрібнозернистого матеріалу в похилому жолобі показали, що розподіл часток по висоті поперечного перерізу носить виражений експоненціальний характер [4]. Об'ємна концентрація різко змінюється по висоті поперечного перерізу. Отже, умови гідродинамічного обтікання часток, які знаходяться на різних глибині потоку, неоднакові. Порушується умова одномірності, покладене в основу аналітичного висновку початкового рівняння (1.40). Як показали результати експериментів, об'єми ежекції в похилих жолобах менші, ніж у вертикальних (при інших рівних умовах у вертикальному жолобі потік часток рівномірно заповнює весь переріз). Тому при розрахунку об'ємів

ежектованого повітря в похилих жолобах слід вводити поправочний коефіцієнт k_β , який має наступні значення:

β , град	45	50	60	70	80	90
k_β	0,62	0,72	0,82	0,90	0,95	1,0

Визначають кількість ежектованого повітря

$$L_e = k_p \lambda v_1 F, \quad (1.56)$$

де k_p – коефіцієнт, який враховує збільшення об'ємів ежекції при наявності розрідження в укритті, визначається за формулою (1.48)

Експериментальні дослідження динаміки потоку дрібнозернистого матеріалу в похилому жолобі показали, що розподіл часток по висоті поперечного перерізу носить виражений експоненціальний характер [4]. Об'ємна концентрація різко змінюється по висоті поперечного перерізу. Отже, умови гідродинамічного обтікання часток, які знаходяться на різній глибині потоку, неоднакові. Порушується умова одномірності, покладене в основу аналітичного висновку початкового рівняння (1.40). Як показали результати експериментів, об'єми ежекції в похилих жолобах менші, ніж у вертикальних (при інших рівних умовах у вертикальному жолобі потік часток рівномірно заповнює весь переріз). Тому при розрахунку об'ємів ежектованого повітря в похилих жолобах слід вводити поправочний коефіцієнт k_β , який має наступні значення:

β , град	45	50	60	70	80	90
k_β	0,62	0,72	0,82	0,90	0,95	1,0

Для вертикальних перевантажень принцип одномірності потоку дрібнозернистості матеріалу порушується при русі в бункероподібних жолобах або у жолобах з великою площею поперечного перерізу, коли потік матеріалу займає лише частину жолобу. В цьому випадку у розрахунок слід вводити не фактичний переріз жолобу, а умовний

$$F_{\text{ум}} = 3,14 \cdot 10^{-2} \left(H + 8,9 \sqrt{\frac{G_T}{\rho_T v_{\text{конв}}}} \right)^2, \text{ м}^2 \quad (1.57)$$

За умови, що $F_{\text{ум}} > F$, для розрахунку слід приймати F .

Експериментальне встановлено, що на об'єми ежектованого повітря як при вертикальних, так і при похилих жолобах суттєво впливає питома навантаження матеріалу. Пояснюється це тим, що при збільшенні кількості перевантажуваного матеріалу зростає об'ємна концентрація

часток в потоці та змінюються гідродинамічні умови обтікання часток. Враховуючи це, пропонується вводити у розрахунок поправочний коефіцієнт k_q , який має наступні значення:

$q = \frac{G_T}{F}, \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$	200	250	300	350	400	500	600	700	800
k_q	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,34	0,23	0,17	0,13

Таким чином, об'єм ежектованого повітря слід визначати за формулою

$$L_e = k_p k_\beta k_q \lambda v_1 F_{\text{ум}}. \quad (1.58)$$

1.3.4 Приклад № 4: визначення об'єму аспірації перевантаження коксу з конвеєру на конвеєр

Приклад № 4

Визначити об'єм аспірації перевантаження коксу з конвеєру на конвеєр (схема перевантаження див. рис. 1.2, див. приклад № 1 та/або практичну роботу № 1).

Вихідні дані:

- витрата матеріалу $G_T = 12,0 \text{ кг/с}$;
- гранулометричний склад повернення:

Клас, мм	9 – 5	5 – 3	3 – 1,6	1,6 – 0,8	0,8 – 0,23	0,23 – 0,1	0,1 – 0
Вихід, %	1,2	1,56	24,1	22,6	21,9	10,76	17,88

- частки коксу мають неправильну форму $\Phi = 3,49$;
- щільність матеріалу $\rho_T = 1400 \text{ кг/м}^3$;
- оптимальне розрідження в нижньому укритті $P_2 = 6 \text{ Н/м}^2$;
- швидкість верхнього конвеєру $v_{\text{копв}} = 1,4 \text{ м/с}$;
- $F = 0,36 \text{ м}^2$; $F_{\text{H2}} = 0,2 \text{ м}^2$; $\zeta^H = 2,0$; $v_K = 8 \text{ м/с}$; $H = 4,9 \text{ м}$; $\beta = 60^\circ$; $\rho_0 = 1,213 \text{ кг/м}^3$ (див. приклад № 1, п.п. 1.2.2 та/або практичну роботу № 1).

Рішення

1. Визначаємо d . В першому наближенні не враховуються частки $d_i < 0,8 \text{ мм}$, тобто сумарний вміст часток, швидкість вітання котрих менше або дорівнює швидкості ежектованого повітря складе

$$a = 21,9 + 10,76 + 17,88 = 50,54 \text{ \%}.$$

Тоді середній діаметр часток з урахуванням формули (1.15) складе:

$$d = \frac{100-50,54}{\frac{1,2}{(9+5)/2} + \frac{1,56}{(5+3)/2} + \frac{24,1}{(3+1,6)/2} + \frac{22,6}{(1,6+0,8)/2}} = \frac{100-50,54}{\frac{1,2}{7} + \frac{1,56}{4} + \frac{24,1}{2,3} + \frac{22,6}{1,2}} = 1,7 \text{ мм} = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

Приведена висота падіння матеріалу визначається за формулою (1.54)

$$h_{\text{пр}} = \frac{v_{\text{к}}^2}{2g} = \frac{8^2}{2 \cdot 9,8} = 3,3 \text{ м}$$

За табл. 1.2 при $d = 1,7 \text{ мм}$, $\rho_{\text{т}} = 1400 \text{ кг/м}^3$ та $h_{\text{пр}} = 3,3 \text{ м}$ знаходимо методом інтерполяції $v_1 = 2,82 \text{ м/с}$.

Визначаємо параметр A за формулою (1.51)

$$A = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\Phi}{\zeta_{\text{н}}} \cdot \frac{G_{\text{т}} v_1^{0,7}}{\rho_{\text{т}} F d^{1,3}} = 6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3,49}{2,0} \cdot \frac{12,0 \cdot 2,82^{0,7}}{1400 \cdot 0,36 \cdot (1,7 \cdot 10^{-3})^{1,3}} = 2,05$$

За рис. 1.5 за кривою залежності $A = f(\lambda)$ визначаємо $\lambda = 0,58$.
Умовний переріз жолобу визначається за формулою (1.57)

$$F_{\text{ум}} = 3,14 \cdot 10^{-2} \left(H + 8,9 \sqrt{\frac{G_{\text{т}}}{\rho_{\text{т}} v_{\text{копв}}}} \right)^2 =$$

$$3,14 \cdot 10^{-2} \left(4,9 + 8,9 \sqrt{\frac{12,0}{1400 \cdot 1,4}} \right)^2 = 0,98 \text{ м}^2$$

Перевіряємо умову

$$F_{\text{ум}} > F,$$

$$0,98 > 0,36 \text{ м}^2.$$

2. Отже, для розрахунку приймаємо $F = 0,36 \text{ м}^2$.

Коефіцієнт, який враховує збільшення об'ємів ежекції при наявності розрідження в укрітті, визначається за формулою (1.48)

$$k_{\text{р}} = 1 + 0,2\sqrt{P_2} = 1 + 0,2\sqrt{6} = 1,49,$$

$$k_{\beta} = 0,82 \text{ при } \beta = 60 \text{ град.}$$

$$\text{При } q = \frac{G_{\text{т}}}{F} = \frac{12}{0,36} = 33,3 < 200 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}, \text{ маємо } k_q = 1,0.$$

3. За формулами (1.58) та (1.46) відповідно знаходимо

$$L_e = k_p k_\beta k_q \lambda v_1 F_{ym} = 1,49 \cdot 0,82 \cdot 1,0 \cdot 0,58 \cdot 2,82 \cdot 0,36 = 0,72 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$L_n = 0,65 F_{n2} \sqrt{\frac{2P_2}{\rho_0}} = 0,65 \cdot 0,2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 6}{1,213}} = 0,41 \text{ м}^3/\text{с}$$

4. Об'єм аспірації дорівнює

$$L = L_e + L_n = 0,41 + 0,72 = 1,13 \text{ м}^3/\text{с}$$

Промислові дослідження місцевих відсмоктувачів на агломераційній фабриці ГЗК показали, що розраховані за вище наведеною методикою об'єми аспірації задовільно співпадають з виміряними експериментально (за даними [4]).

Добрі співпадиння з результатами експериментальних замірів було також отримано при дослідженнях аспірації перевантажень мідно-нікелевих котунів, шихти та магнезиту (за даними [4]).

1.3.5 Перевантаження порошкоподібних матеріалів

Порошкоподібні матеріали можуть переміщуватися по жолобу у вигляді так званих пакетів, які частково руйнуються під час падіння. У зв'язку зі зміною розміру пакетів характер динамічного впливу матеріалу з повітрям ускладнюється. Питання аспірації таких перевантажень можливо вирішити емпіричним або напівемпіричним шляхом.

Порівнюючи об'єми повітря, ежектовані потоки матеріалу різної крупності, дослідники [4] помітили, що об'єм повітря, який захоплюється порошкоподібним матеріалом крупністю менше 0,14 мм, чисельно дорівнює об'єму повітря, ежектованого матеріалом крупністю 10-20 мм (при рівних витратах матеріалу). Враховуючи це, була запропонована методика розрахунку об'ємів ежектованого повітря на основі рівняння (1.40), шляхом введення поняття умовного діаметру d_y (потік порошкоподібного матеріалу замінювався потоком монофракції крупністю d_y таким чином, щоб кінцевий матеріал – об'єм ежектованого повітря – при інших рівних умовах залишався тим самим) [4]. Експериментальними дослідженнями встановлено, що умовний діаметр цієї монофракції залежить від питомого навантаження (рис. 1.6) [4].

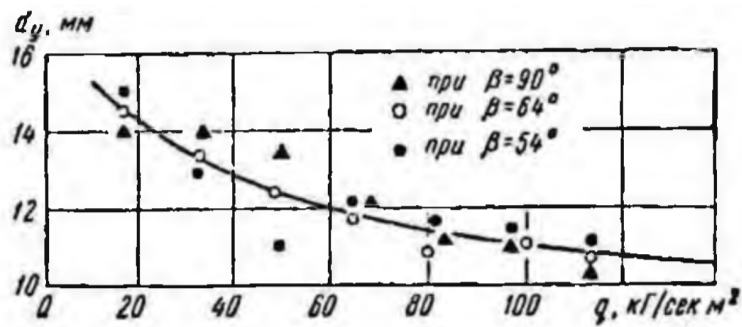


Рисунок 1.6 – Залежність $d_y = f(q)$ для порошкоподібного матеріалу [4]

В умовах фабрик ГЗК до порошкоподібних матеріалів відноситься рудний концентрат та бентоніт. Наприклад, перевантаження концентрату на комбінатах може не аспіруватись у зв'язку з його суттєвою вологістю. В подальшому для покращення умов окускування, можливо, буде застосовуватись сушка концентрату. Тоді можливо застосовувати запропоновану методику [4] для визначення об'єму аспірації.

Кількість ежектованого повітря визначається за формулою

$$L_e = \lambda v_k F_{ум} k_p k'_\beta, \quad (2.59)$$

- де λ – коефіцієнт, який визначається за графіком (див. рис. 1.4);
- $F_{ум}$ – умовний переріз, який визначається за формулою (1.57), м²;
- k_p – поправочний коефіцієнт, який визначається за формулою (1.48)
- k'_β – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив похилу жолоба ($k'_\beta = 0,5$ при $\beta \leq 45^\circ$; $0,8$ при $\beta = 50^\circ$; 1 при $\beta \geq 60^\circ$;))

1.4 Завдання № 1

Визначити об'єми аспірації перевантажень руди з конвеєру на конвеєр (схема перевантаження див. рис. 1.2). Вихідні дані наведені табл. 1.3, а інші вихідні дані приймаємо наступним чином: для варіанту № 0 – з прикладу № 1 (див. п.п. 1.2.2); для інших варіантів – див. практичну роботу № 1, завдання № 1. Приклад рішення завдання наведено в п.п. 1.3.2 «Приклад № 3: визначення об'ємів аспірації перевантажень руди з конвеєру на конвеєр».

Таблиця 1.3 – Вихідні дані до завдання № 1 за варіантами

№ варіанту	Витрата повернення G_T , кг/с	Клас, мм					
		120 – 75	75 – 45	45 – 20	20 – 10	10 – 6	6 – 0
0 (приклад)	42	Вихід, %					
		45	19	18	9	2,5	6,5
1	41	46	18	19	8	1,5	7,5
2	43	45	20	17	9	1,5	7,5
3	44	45	17	20	7	2,5	8,5
4	41	46	19	18	8	0,5	8,5
5	44	47	16	21	6	3	7
6	45	46	18	19	7	3	7
7	43	45	18	19	8	2	8
8	45	44	19	21	6	2	8
9	46	44	17	20	7	3	9
10	43	45	19	18	8	1	9
11	46	46	16	21	6	3,5	7,5
12	47	45	18	19	7	3,5	7,5
13	44	47	15	22	5	2,5	8,5
14	45	46	17	20	6	2,5	8,5
15	46	43	17	20	7	3,5	9,5
16	43	46,5	18	22	5	1,5	7
17	46	45	16	21	6	4	8
18	47	45	18	19	7	4	7
19	44	47	15	22	5	3	8
20	47	46	17	20	6	3	8
21	48	46	14	23	4	4	9
22	45	49,5	16	21	5	2	6,5
23	48	46	16	21	6	3,5	7,5
24	44	46	17	23	4	3,5	6,5
25	46	48	15	22	5	2,5	7,5

1.5 Завдання № 2

Визначити об'єм аспірації перевантаження коксу з конвеєру на конвеєр (схема перевантаження див. рис. 1.2). Вихідні дані наведені табл. 1.4, а інші вихідні дані приймаємо наступним чином: для варіанту № 0 – з прикладу № 1 (див. п.п. 1.2.2); для інших варіантів – див. практичну роботу № 1, завдання № 1. Приклад рішення завдання наведено в п.п. 1.3.4 «Приклад № 4: визначення об'єму аспірації перевантаження коксу з конвеєру на конвеєр».

Таблиця 1.4 – Вихідні дані до завдання № 2 за варіантами

№ варіанту	Витрата повернення G_T , кг/с	Клас, мм					
		9 – 5	5 – 3	3 – 1,6	1,6 – 0,8	0,8 – 0,23	0,23 – 0,1
0 (приклад)	12	Вихід, %					
		1,56	24,1	22,6	21,9	10,76	17,88
1	11	1,64	24,58	23,05	22,34	10,22	16,91
2	13	1,72	25,07	23,51	22,79	9,71	15,88
3	14	1,81	25,57	23,98	23,25	9,22	14,78
4	11	1,9	26,08	24,46	23,72	8,76	13,62
5	14	2	26,6	24,95	24,19	8,32	12,41
6	15	2,1	27,13	25,45	24,67	7,9	11,14
7	13	2,21	27,67	25,96	25,16	7,51	9,8

№ варіанту	Витрата повернення G_T , кг/с	Клас, мм					
		9 – 5	5 – 3	3 – 1,6	1,6 – 0,8	0,8 – 0,23	0,23 – 0,1
8	15	2,32	27,12	25,44	24,66	7,13	11,56
9	16	2,44	26,58	24,93	24,17	6,77	13,25
10	13	2,32	26,05	24,43	23,69	7,18	14,56
11	16	2,2	25,53	23,94	23,22	7,61	15,82
12	17	2,09	25,02	23,46	22,76	8,07	17
13	14	1,99	24,52	22,99	22,3	8,55	18,13
14	15	1,89	24,03	22,53	21,85	9,06	19,2
15	16	1,8	23,55	22,08	21,41	9,6	20,19
16	13	1,71	23,08	21,64	20,98	10,18	21,11
17	16	1,62	22,62	21,21	20,56	10,79	21,96
18	17	1,54	22,17	20,79	20,15	11,44	22,73
19	14	1,46	21,73	20,37	19,75	12,13	23,44
20	17	1,5	21,3	19,96	19,36	12,86	23,87
21	18	1,55	20,87	19,56	18,97	13,63	24,24
22	15	1,6	20,45	19,17	18,59	14,45	24,52
23	18	1,65	20,04	18,79	18,22	15,32	24,72
24	14	1,7	19,64	18,41	17,86	16,24	24,85
25	16	1,75	19,25	18,04	17,5	17,21	24,91

Питання для самоперевірки

1. Який розрахунковий алгоритм для визначення кількості повітря, що поступає по жолобу в нижнє укриття, під час перевантаження сухого повернення з конвеєру в конвеєр?
2. Як відображається розрахунково вплив паровиділення на об'єм аспірації при перевантаженні гарячого матеріалу у велику ємність?
3. Про що свідчать знаки «плюс» та «мінус» під час визначення об'єму повітрообміну в барабані на основі рівняння теплового балансу та рівняння масового балансу для сухої частини повітря?
4. Де необхідно обов'язково влаштовувати аспіроване укриття для ефективного знепилювання перевантажень ненагрітих матеріалів?
5. Перевантаження яких саме дрібнозернистих матеріалів можуть відбуватись на гірничо-збагачувальних комбінатах? Наведіть приклади.

Перелік рекомендованих джерел

1. Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing / A. B. Cecala et al. Pittsburgh : U.S., 2019. 406 p. DOI: <https://doi.org/10.26616/NIOSHPUB2019124>.
2. The Global Health Cost of PM 2.5 Air Pollution: A Case for Action Beyond 2021. International Development in Focus. Washington, DC : World Bank, 2021. DOI <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1816-5>. URL: <https://read.kortext.com/reader/pdf/2149376/Front%20Cover>. (дата звернення: 14.08.2024).

3. Галай В. А., Максимова Н. М. Вдосконалення технологічної системи аспірації в процесах транспортування сипких матеріалів на прикладі дільниці коксосортування. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2024. Вип. 3. С. 147-156. DOI [https://doi.org/10.15589/znp2024.3\(496\).22](https://doi.org/10.15589/znp2024.3(496).22).

4. Джерела та процеси забруднення атмосфери : конспект лекцій / уклад.: В. Є. Бекетов, Г. П. Євтухова. Харків : ХНУМГ ім. О. Н. Бекетова, 2019. 113 с.

5. Процеси та апарати пилогазоочищення : практикум / укладачі: О. В. Рибалова, Б. М. Цимбал, О. О. Бондаренко. Харків : НУЦЗУ, 2023. 54 с.

6. Технології захисту навколишнього середовища (захист атмосфери) : підручник / В. Г. Петрук та ін. Херсон : Олді-плюс, 2019. 432 с.

Індивідуальне завдання № 2

Питання захисту атмосфери. Розрахунок рукавного фільтра

2.1 Методика розрахунку тканинного рукавного фільтра

Необхідна площа фільтрувальної тканини в рукавному фільтрі визначається втратою тиску газу, яка залежить від швидкості фільтрації, частоти регенерації та низки інших чинників [1].

Швидкість фільтрації приймають, як правило, на підставі дослідних даних залежно від виду застосовуваної тканини, методу регенерації та властивостей пилу.

Рекомендовані швидкості фільтрації залежно від виду пилу і способу регенерації фільтра наведено в табл. 2.1 [1].

Таблиця 2.1 – Рекомендовані швидкості фільтрації в рукавних фільтрах, м/с [1]

Клас пилу	Вид пилу	Спосіб регенерації фільтра		
		струшуванням і продуванням	імпульсним продуванням	зворотнє продування
1	Сажа, кремнезем, возгони свинцю і цинку, активоване вугілля, цемент	0,0075-0,0100	0,0133-0,0333	0,0055-0,0075
2	Возгони заліза і феросплавів, ливарні пили, вапно, глинозем	0,0100-0,0125	0,0250-0,0417	0,0075-0,0092
3	Кам'яне вугілля, вапняк, рудні пили, фрита емалей	0,0117-0,0133	0,0333-0,0583	0,0100-0,0150
4	Азбест, волокнисті пили, солі, пил шліфувальних процесів	0,0133-0,0258	0,0417-0,0750	–
5	Деревний пил, грубі рослинні волокна (пенька, джут та ін.)	0,0150-0,0333	0,0417-0,1000	–

У фільтрі, що складається з n секцій, площа фільтрувальної поверхні однієї секції становитиме:

$$F_c = \frac{V}{v_\phi \cdot (n - n_p) - n_p \cdot v_p}, \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

де V – об'єм газу, що надходить на очищення, за робочих умов у розрахунку на одну секцію, м³/с;

v_ϕ – швидкість фільтрації, м/с;

n_p – число секцій фільтра, що одночасно перебувають у режимі регенерації;

v_p – швидкість газу в процесі регенерації, м/с

Загальна площа фільтрувальної поверхні становитиме:

$$F = n \cdot F_c, \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Зазвичай питоме навантаження на фільтрувальну тканину в процесі регенерації зворотним продуванням у 1,5-2,0 рази перевищує навантаження під час фільтрації в процесі очищення газу, тобто $v_p/v_\phi=1,5-2,0$ [1]. Для синтетичних і скляних тканин це відношення приймається дещо меншим, щоб уникнути руйнування тканин від інтенсивного зворотного продування.

Під час регенерації фільтра струшуванням або імпульсним продуванням у формулі (2.1) n_p і v_p дорівнюють нулю. Витрата газу на імпульсне продування зазвичай не перевищує 0,1-0,2% від кількості газу, що надходить на очищення, та враховується відповідним збільшенням витрати газу у формулі (2.1), яка в разі регенерації імпульсним продуванням набуває вигляду [1]:

$$F_c = \frac{V+V_p}{v_\phi \cdot n}, \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

де V_p – витрата повітря на регенерацію імпульсним продуванням

Після обчислення площі фільтрувальної поверхні за формулами (2.1) і (2.2) обирають (за каталогами) відповідний фільтр або групу фільтрів і визначають фактичну швидкість фільтрації:

$$v_\phi' = \frac{V+n_p \cdot F_c \cdot v_p}{F_c \cdot (n-n_p)}, \text{ м/с} \quad (2.4)$$

Втрата тиску у фільтрі (фільтрувальному елементі) визначається виразом:

$$\Delta p = \frac{817 \cdot \mu \cdot v_\phi' \cdot (1-m_\Pi)}{d_\Pi^2 \cdot m_\Pi^3} \cdot \left[0,82 \cdot 10^{-6} \cdot d_\Pi^{0,25} \cdot m_T^3 \cdot (1-m_\Pi) \cdot h^{0,67} + \frac{z_1 \cdot v_\phi' \cdot \tau_p}{\rho_\Pi} \right], \text{ Па} \quad (2.5)$$

- де μ – динамічна в'язкість газу за робочих умов, Па·с;
 m_Π – пористість шару пилу, частки од.;
 d_Π – середній розмір частинок пилу, визначений методом повітропроникності, м;
 m_T – пористість фільтрувальної тканини, частки од.;
 h – питомий гідравлічний опір чистої тканини, віднесений до товщини тканини 1 м за швидкості фільтрації повітря 1 м/с, Па;
 z_1 – початкова запиленість газу, що очищається, кг/м³;
 τ_p – час між регенераціями, с;
 ρ_Π – щільність пилу, кг/м³

Значення m_T і h для деяких фільтрувальних тканин наведено в табл. 2.2 [1].

Таблиця 2.2 – Характеристика фільтрувальних тканин [1]

Тканина	Термостійкість, °С	Стійкість до впливу		Пористість (m_T), частки од.	Питомий гідравлічний опір (h), 10^5 Па
		кислот	лугів		
Бавовна	65-80	низька	висока	0,60	-
Вовна	80-100	невисока	низька	0,86-0,91	0,84
Нітрон	120	висока	невисока	0,83	1,80
Лавсан	140	висока	невисока	0,75	3,50
Оксалон	250	висока	-	-	7,20
Скло	250-300	висока	невисока	0,55	8,40

Пористість шару пилу m_n залежить від крупності пилу, режиму фільтрації, вологості газу, температури газу тощо. Для металургійних пилів величина m_n становить $0,80 \div 0,95$.

При заданому значенні втрати тиску у фільтрі залежність (1.8) дає змогу визначити час між регенераціями фільтра τ_p або швидкість фільтрації v_{ϕ}' .

Режим роботи фільтра (швидкість фільтрації та допустиме значення втрати тиску) також може бути обраний за експериментальними даними, отриманими на дослідних установках у промислових умовах. Наприклад, на рис. 2.1 показано результати промислових випробувань фільтрувального рукава з металевої сітки С-120 під час очищення від пилу газів мартенівської печі в період продування ванни киснем, температура очищуваного газу – 600°C . Графік на рис. 2.1 дає змогу встановити поєднання v_{ϕ}' і Δp , що забезпечують вміст пилу в очищеному газі в межах санітарних норм [1].

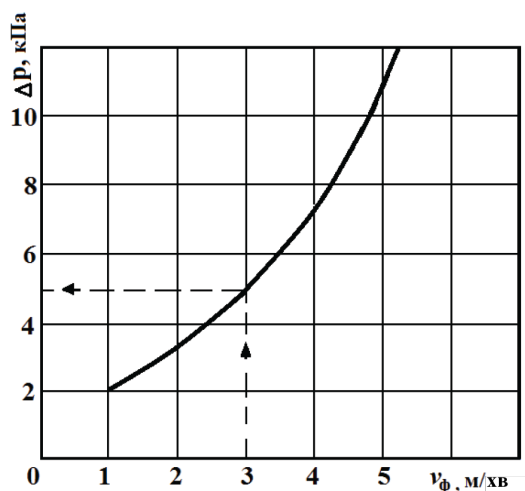


Рисунок 2.1 – Мінімальні опори Δp металотканини С-120 перед регенерацією, що забезпечують очищення газу мартенівських печей до санітарної норми за різних швидкостей фільтрації v_{ϕ} [1]

2.2 Приклад розрахунку рукавного фільтра

Задача № 1 (приклад)

Розрахувати рукавний фільтр за таких вихідних даних [1]:

- об'ємна витрата очищуваного газу за робочих умов (на одну секцію фільтра) – $V_c=48 \text{ м}^3/\text{с}$;
- запиленість газу, що надходить на очищення, – $z_1=4 \text{ г}/\text{м}^3$;
- щільність пилу – $\rho_n=3500 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- середній розмір частинок пилу – $d_n=1 \text{ мкм}$;
- пористість шару пилу – $m_n=0,85$;
- температура газу – $t=100^\circ\text{C}$;
- динамічна в'язкість газу за робочих умов – $\mu=22 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$;
- допустимий опір фільтра – $\Delta p=1 \text{ кПа}$.

Згідно із завданням доцільно вибрати фільтр із тканини нітрон, термостійкість якої 120°C , пористість $m_t=0,83$, питомий опір $h=1,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$ (див. табл. 2.2).

Рішення

Для уловлювання возгонного пилу в чорній і кольоровій металургії часто застосовуються фільтри ФРГ, УРФМ та деякі інші [1].

Наприклад, вибираємо фільтр УРФМ (укрупнений рукавний фільтр, модернізований), який складається з 20 секцій, що мають загальну площу фільтрувальної поверхні 2300 м^2 . Регенерація фільтра проводиться струшуванням і зворотним продуванням.

Згідно з табл. 2.1 для возгонного пилу ($d_n=1 \text{ мкм}$) і способу регенерації обраного фільтра (струшуванням і продуванням) слід прийняти швидкість фільтрації $v_\phi=0,0125 \text{ м}/\text{с}$. У цьому випадку необхідна загальна площа фільтрувальної поверхні відповідно до (2.1) і (2.2) становитиме:

$$F_c = \frac{V}{v_\phi \cdot (n - n_p) - n_p \cdot v_p}, \text{ м}^2$$
$$F = n \cdot F_c, \text{ м}^2 \quad (2.6)$$

$$F = \frac{n \cdot V_c}{v_\phi \cdot (n - n_p) - n_p \cdot v_p}, \text{ м}^2$$

$$F = \frac{20 \cdot 48}{0,0125 \cdot (20 - 1) - 1 \cdot 2 \cdot 0,0125} = 4518 \text{ м}^2$$

де $n = 20$, $n_p = 1$, $v_p = 2 \cdot v_\phi$.

Приймаємо до установки два фільтри УРМФ, оскільки $4518/2300=1,96$.

У двох фільтрах у режимі регенерації одночасно перебуватимуть дві секції ($n_p = 2$) і фактична швидкість фільтрації за формулою (2.4) становитиме:

$$v'_\phi = \frac{V_c + n_p \cdot \left(\frac{2300}{20}\right) \cdot v_p}{\left(\frac{2300}{20}\right) \cdot (2 \cdot n - n_p)} = \frac{48 + 2 \cdot 115 \cdot 0,025}{115 \cdot (40 - 2)} = 0,0123 \text{ м/с}$$

де $2300/20$ – площа фільтрувальної поверхні однієї секції F_c обраного фільтра

Отримана швидкість перебуває в рекомендованих межах швидкостей фільтрації (див. табл. 2.1).

За допустимого опору фільтра $\Delta p = 1$ кПа і фактичної швидкості фільтрації $v'_\phi = 0,0123$ м/с час між регенераціями фільтра в відповідно до формули (2.5) складе:

$$\tau_p = \frac{\rho_n \cdot (\Delta p - A \cdot B)}{A \cdot z_1 \cdot v'_\phi}, \quad (2.7)$$

де

$$A = \frac{(817 \cdot \mu \cdot v'_\phi \cdot (1 - m_n))}{d_n^2 \cdot m_T^3},$$

$$B = 0,82 \cdot 10^{-6} \cdot d_n^{0,25} \cdot m_T^3 \cdot (1 - m_n) \cdot h^{\frac{2}{3}},$$

$$A = \frac{(817 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 0,0123 \cdot (1 - 0,85))}{(1 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,85^3} = 54 \cdot 10^6,$$

$$B = 0,82 \cdot 10^{-6} \cdot (1 \cdot 10^{-6})^{0,25} \cdot 0,83^3 \cdot (1 - 0,85) \cdot (1,8 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}} = 7,09 \cdot 10^{-6},$$

$$\tau_p = \frac{3500 \cdot (1000 - 54 \cdot 10^6 \cdot 7,09 \cdot 10^{-6})}{54 \cdot 10^6 \cdot 0,004 \cdot 0,0123} = 813 \text{ с} \approx 14 \text{ хв.}$$

Задача № 2 (приклад)

Розрахувати фільтр з металотканини для очищення газів мартенівської печі перед котлом-утилізатором за таких вихідних даних [1]:

- об'єм газу за робочих умов – $V = 400\,000 \text{ м}^3/\text{год}$;
- запиленість газу – $z_1 = 5 \text{ г/м}^3$;
- температура газу – $t = 600 \text{ }^\circ\text{C}$;
- пил возгонний – $d_n = 1 \text{ мкм}$;
- швидкість фільтрації – $v_\phi = 3 \text{ м/хв.}$

Рішення

У цьому випадку доцільно використовувати експериментальні дані, представлені на рис. 2.1 [1].

Відповідно до графіка на рис. 2.1 фільтр із металотканини С-120 при швидкості фільтрації $v_{\phi}=3$ м/хв (0,05 м/с) забезпечує очищення газу мартенівської печі до санітарної норми при опорі перед регенерацією $\Delta p=5$ кПа [1].

Приймається каркасний фільтр з імпульсною регенерацією стисненим повітрям. Витрата повітря на регенерацію V_p приймається 0,2% від об'єму газу, що надходить на очищення, V :

$$V_p = 0,002 \cdot V = 0,002 \cdot 400\,000 = 800 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Необхідна площа фільтрувальних елементів фільтра складе:

$$F = \frac{V+V_p}{3600 \cdot v_{\phi}}, \text{ м}^2,$$

$$F = \frac{400\,000+800}{3600 \cdot 0,05} = 2227 \text{ м}^2.$$

При діаметрі фільтрувальних рукавів $D=0,34$ м і довжині $L=10$ м площа поверхні одного рукава становитиме:

$$F_{\phi p} = \pi \cdot D \cdot L = 3,14 \cdot 0,34 \cdot 10 = 10,68 \text{ м}^2$$

Необхідне число фільтрувальних рукавів складе:

$$n_{\phi p} = \frac{F}{F_{\phi p}} = \frac{2227}{10,68} = 208,5$$

Число фільтрувальних рукавів приймається $n_{\phi p} = 210$, що дасть змогу розмістити рукави в 15 рядах по 14 рукавів у кожному. При цьому фактична швидкість фільтрації становитиме:

$$v'_{\phi} = \frac{V+V_p}{3600 \cdot F_{\phi p} \cdot n_{\phi p}}, \text{ м/с},$$

$$v'_{\phi} = \frac{400\,000+800}{3600 \cdot 10,68 \cdot 210} = 0,05 \text{ м/с}.$$

Час між регенераціями фільтра за прийнятого режиму ($v_{\phi p}=0,05$ м/с і $\Delta p=5$ кПа) за дослідними даними становить близько 10 хв.

2.3 Завдання за варіантами

2.3.1 Завдання № 1

Розрахувати рукавний фільтр. Вихідні дані наведені за варіантами у табл. 2.3, а інші вихідні дані приймаються за прикладом № 1 (див. п. 2.2): щільність пилу – $\rho_p=3500 \text{ кг/м}^3$; середній розмір частинок пилу – $d_p=1 \text{ мкм}$; пористість шару пилу – $m_p=0,85$; температура газу – $t=100^\circ\text{C}$; динамічна в'язкість газу за робочих умов – $\mu=22 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$; допустимий опір фільтра – $\Delta p=1 \text{ кПа}$. Розгляд фільтру із тканини нітрон.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані за варіантами для рішення завдання № 1

№ варіанту	Об'ємна витрата очищуваного газу за робочих умов (на одну секцію фільтра) $V_c, \text{ м}^3/\text{с}$	Запиленість газу, що надходить на очищення, $z_1, \text{ г/м}^3$
0 (приклад)	48	4
1	47	3,9
2	49	3,8
3	46	3,7
4	50	3,6
5	44	3,5
6	45	4,1
7	43	3,9
8	46	3,8
9	47	3,7
10	49	3,6
11	48	3,5
12	47	3,9
13	49	3,8
14	46	3,7
15	50	3,6
16	44	3,5
17	45	3,7
18	43	3,6
19	46	3,5
20	47	4,1
21	49	3,9
22	48	3,8
23	47	3,6
24	49	3,5
25	46	4,1

2.3.2 Завдання № 2

Розрахувати фільтр з металотканини для очищення газів печі перед котлом-утилізатором. Вихідні дані наведені за варіантами у табл. 2.4, а інші вихідні дані приймаються за прикладом № 2 (див. п. 2.2):

- температура газу – $t=600^\circ\text{C}$;
- пил возгонний – $d_p=1 \text{ мкм}$;
- швидкість фільтрації – $v_\phi=3 \text{ м/хв}$.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані за варіантами для рішення завдання № 2

№ варіанту	Об'єм газу за робочих умов V, тис. м ³ /год	Запиленість газу, що надходить на очищення, z ₁ , г/м ³	Температура газу t, °C
0 (приклад)	400	5	600
1	390	4,9	590
2	380	4,8	580
3	370	4,7	570
4	360	4,6	560
5	350	4,5	540
6	410	4,1	530
7	420	5,1	520
8	430	5,2	580
9	440	5,3	610
10	390	4,2	620
11	380	4,3	630
12	370	5,3	480
13	360	4,8	490
14	350	5,4	580
15	410	5,2	570
16	420	4,6	560
17	430	4,7	540
18	440	4,8	530
19	390	4,9	520
20	380	4,1	580
21	370	5,2	610
22	360	5,3	620
23	350	5,1	630
24	410	4,9	640
25	420	4,1	590

2.3.3 Завдання № 3

Наведіть стисле есе (аналітичний огляд) за темою згідно до варіанту (табл. 2.5) [4], при цьому пропонується здобувачу з двох запропонованих обрати одну тему (на власний розсуд). Орієнтовний об'єм до 0,5-1,0 сторінки із зазначенням по тексту джерел використаної літератури та наведенням відповідного переліку використаної літератури наприкінці за рекомендаціями ДСТУ 8302:2015 [2]. При цьому під час розкриття теми [3, 5] опис ГОУ чи технологічних схем необхідно супроводжувати відповідними ілюстраціями (схемами).

Таблиця 2.5 – Перелік теоретичних питань індивідуального завдання [4]

№ варіанта	Теоретичні питання індивідуального завдання*
1	1. Класифікація і характеристика домішок, що виділяються в атмосферу. 2. Абсорбційний метод очищення газів.
2	1. Структура і газовий склад атмосфери. Постійні і змінні компоненти атмосфери. 2. Мокрі циклони.
3	1. Механізм «парникового ефекту» і його наслідки. 2. Тканинні фільтри.
4	1. Коротка характеристика методів, застосовуваних для уловлювання твердих частинок з газоповітряних сумішей. 2. Адсорбційний метод очищення газів. Суть методу і область його застосування.
5	1. Застосування електрофільтрів для очищення газів. 2. Інерційні апарати очистки.
6	1. Класичний і фотохімічний смог. 2. Контроль і нормування шкідливих викидів. Поняття ГДК, ГДВ.
7	1. Сучасні засоби очистки газів від пилу. 2. Електрофільтри. Принцип роботи та галузь застосування.
8	1. Пилівідсаджувальні камери. 2. Каталітичне знешкодження газів.
9	1. Інерційні жалюзійні пиловловлювачі. 2. Метод спалювання в полум'ї.
10	1. Метод каталітичного очищення газів. 2. Підприємства – основні забруднювачі атмосфери.
11	1. Принципова схема циклону і його робота. 2. Якість повітряного середовища в Україні.
12	1. Апарати мокрого очищення. 2. Фізико-механічні властивості пилу.
13	1. Скрубери. 2. Абсорбційний метод очищення газів.
14	1. Основні критерії вибору і обґрунтування комплексних схем очищення газопилових викидів. 2. Барботажні абсорбери.
15	1. Критерії вибору пилоуловлюючих пристроїв. 2. Природне і штучне забруднення повітряного середовища.
16	1. Фільтрація. Принцип дії, недоліки і переваги. 2. Метод спалювання в полум'ї
17	1. Циклони з водяною плівкою. 2. Основні речовини, що надходять з викидами в атмосферу.
18	1. Основні критерії вибору і обґрунтування комплексних схем очищення газопилових викидів. 2. Коротка характеристика методів, застосовуваних для уловлювання твердих частинок з газоповітряних сумішей.
19	1. Турбулентний та ламінарний режими руху газів в апаратах газоочистки. 2. Основні речовини, що надходять з викидами в атмосферу.
20	1. Метод фільтрації для очищення викидів. 2. Пилівідсаджувальні камери.

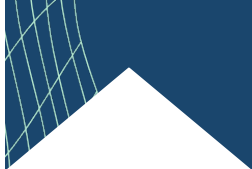
Примітка. «*» За бажанням здобувач може звернутись до викладача і за умови обов'язкового узгодження може переобрати тему, в якій він більше зацікавлений.

Питання для самоперевірки

1. Які способи регенерації рукавних фільтрів Вам відомі?
2. З якої тканини виконують рукава? Що відноситься до основних параметрів такої тканини?
3. В яких галузях поширене застосування рукавних фільтрів? Наведіть приклади.

Перелік рекомендованих джерел

1. Гічев Ю. А. Очищення газів. Частина II : Конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 48 с.
2. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. Офіц. Київ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
3. Процеси та апарати пилогазоочищення : практикум / укладачі: О. В. Рибалова, Б. М. Цимбал, О. О. Бондаренко. Харків : НУЦЗУ, 2023. 54 с.
4. Технології захисту атмосферного повітря : методичні рекомендації до виконання курсової роботи / уклад. О. С. Ковров. Дніпро : НТУ «ДП», 2019. 24 с.
5. Технології захисту навколишнього середовища (захист атмосфери) : підручник / В. Г. Петрук та ін. Херсон : Олді-плюс, 2019. 432 с.



Приклад титульного аркушу комплекту робіт, виконаних здобувачем

ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

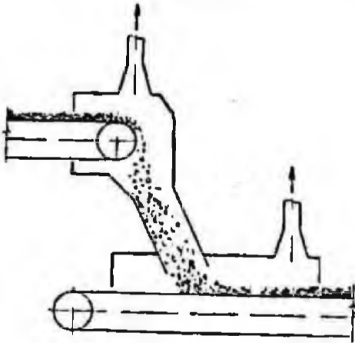
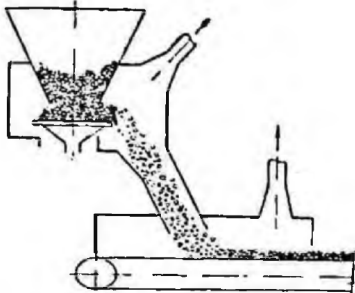
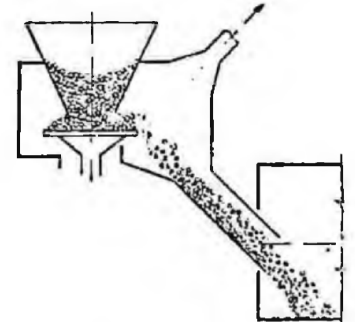
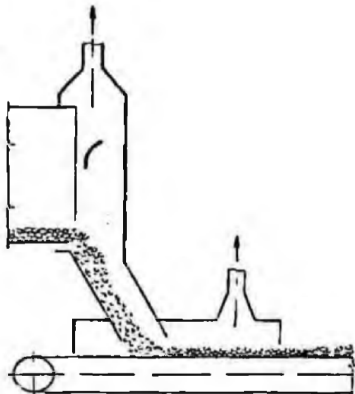
ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРИ:

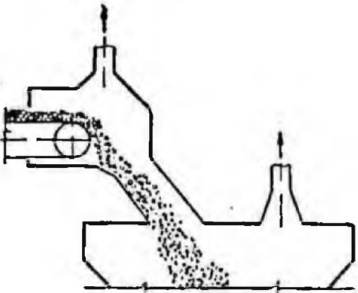
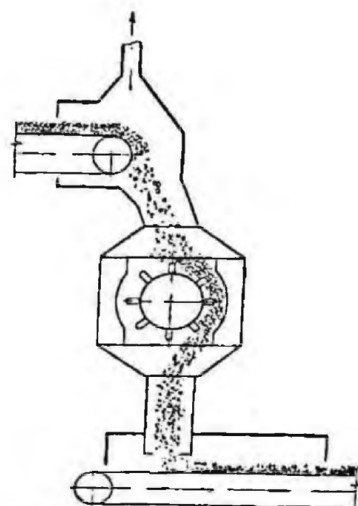
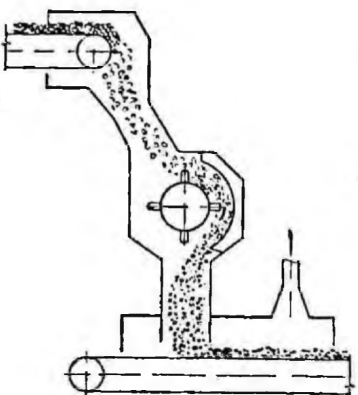
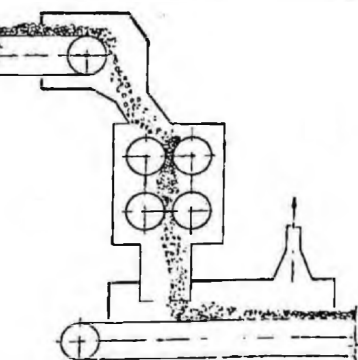
Індивідуальне завдання № 1 за варіантом № _

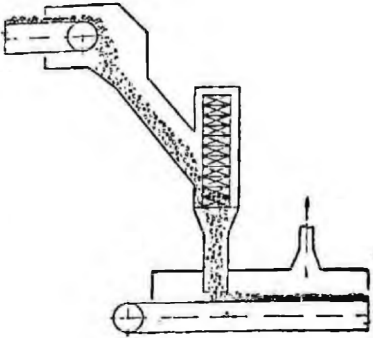
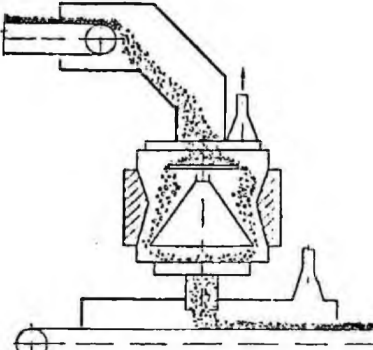
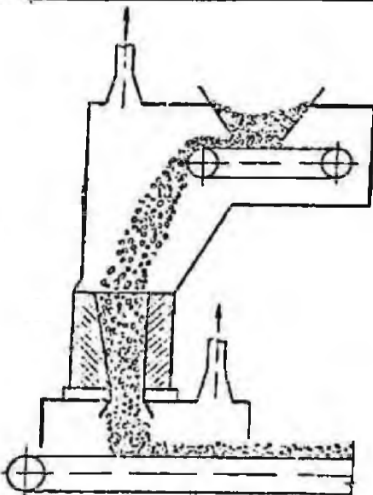
Виконав:
здобувач вищої освіти
групи 183-22-1
Прізвище І.П.

Перевірила:
доц. Максимова Н.М.

Розрідження в аспіраційних укриттях [4]

Вузол, який аспірується	Схема аспірації	Розрідження в укритті, Н/м ²	
		верхнє	нижнє
Перевантаження: - з конвеєра на конвеєр		5	6 – 8
- з дискового живильника на конвеєр		6	8
- з дискового живильника у барабанний охолоджувач		6	15
Вивантаження з барабанного охолоджувача на конвеєр		15	8

Вузол, який аспірується	Схема аспірації	Розрідження в укрітті, Н/м ²	
		верхнє	нижнє
Перевантаження з конвеєра у бункер		5	1 – 2
Дробарка: - молоткова реверсна		8	-
- молоткова нереверсна		-	10
- чотирьохвалкова		-	6

Вузол, який аспірується	Схема аспірації	Розрідження в укрітті, Н/м ²	
		верхнє	нижнє
- дезинтегратор		-	15
- конусна		2	8
- щокова		2	8

Примітка. 1. Величина розрідження та площі нещільностей приведені по даним [4] експериментальних замірів місцевих відсмоктувачів фабрик гірничозбагачувальних комбінатів. В розрахунках слід приймати розрідження не менше, а площі нещільностей не більше приведених даних у [4].

2. Рекомендовані розрідження у верхніх укріттях слід враховувати лише при розрахунку аспірації перевантажень гарячих матеріалів молоткових реверсивних, конусних та щоккових дробарок.

Для нижніх укріттів більше розрідження приймають при розрахунку перевантаження гарячих матеріалів і кускових ненагрітих матеріалів, менше – для дрібнозернистих і порошкоподібних матеріалів.

Для розрахунку аспірації бункерів, завантажених крізь відкриті отвори (завантажувальні щілини), приймати менше розрідження, а більше – при закритих отворах.

B_n – ширина стрічки конвеєра, м; L – периметр укріття в плані, м; D_n – діаметр дискового живильника, м; D_6 – діаметр барабану, м; B_3 – ширина завантажувального отвору дробарки, м; F_{np} – площа відкритих отворів, м²

Методика розрахунку суми коефіцієнтів місцевих опорів [4]

Сума коефіцієнтів місцевих опорів (к.м.о.) характеризує гідравлічний опір жолоба і прилеглих до нього укриттів та являється одним з основних параметрів, що визначає кількість повітря, яке ежектується.

Під час визначення об'ємів аспірації технологічного обладнання величину цієї суми слід розраховувати з урахуванням напрямлення потоку повітря в жолобі та схеми розташування місцевих відсмоктувачів.

1. При русі повітря по жолобу з верхнього укриття в нижнє сума к.м.о. розраховується за формулами:

- при відсмоктуванні повітря лише з нижнього укриття

$$\zeta^H = \sum_{i=1}^N \zeta_{iH} + 2,4 \left(\frac{F}{F_H} \right)^2$$

- при відсмоктуванні

$$\zeta_{\text{ж}}^H = \sum_{i=1}^N \zeta_{iH}$$

Коли повітря поступає по жолобу з нижнього укриття у верхнє, сума к.м.о. визначається за формулами:

- при відсмоктуванні повітря лише з верхнього укриття

$$\zeta^B = \sum_{i=1}^N \zeta_{iB} + 2,4 \left(\frac{F}{F_{H2}} \right)^2$$

- при відсмоктуванні повітря з верхнього і нижнього укриття

$$\zeta_{\text{ж}}^B = \sum_{i=1}^N \zeta_{iB},$$

- де F – Площа перерізу жолоба у світлі нормально до поздовжньої вісі його в місці входу матеріалу в укриття, м^2 ;
- F_{B1}, F_{H2} – площі нещільностей верхнього та нижнього укриття, м^2 ;
- ζ_{iH}, ζ_{iB} – к.м.о. i -тої ділянки жолоба при русі повітря відповідно вниз і вгору

Вхід повітря з укриття в жолоб: при русі повітря догори $\zeta'_{iB} = 0,7$; при русі повітря вниз $\zeta'_{iH} = 0,3$.

Поворот потоку в жолобі

Кут повороту, град	20	30	40	60
ζ'_i	0,2	0,3	0,35	0,7

Плавне звуження (розширення) потоку в жолобі $\zeta'_i = 0,2$.

Решітка (сітка) грохоту

Відношення живого перерізу до загальної площі решітки	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
ζ'_i	15	7,5	5	2	1

Вихід повітря з жолобу в укриття: при русі повітря вниз $\zeta'_{iH} = 1,05$; при русі повітря вверх $\zeta'_{iB} = 0,5$.

Вихід повітря з внутрішньої камери у зовнішню (для укриття з подвійними стінками)

Відношення висоти щілини для проходу повітря до висоти укриття	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6
ζ'_i	23	15	10	6,5	4,0	2,5

Фізичні властивості повітря при атмосферному тиску [4]

Температура, °C	Парціальний тиск водяних парів, мм. рт. ст.	Щільність повітря, кг/м ³		Вологовміст насиченого повітря, г/кг	Тепловміст насиченого повітря, кДж/кг
		сухого	насиченого		
10	9,21	1,247	1,242	7,63	29,2
11	9,84	1,243	1,237	8,16	31,6
12	10,51	1,239	1,232	8,73	34,0
13	11,23	1,234	1,227	9,33	36,5
14	11,98	1,229	1,222	9,97	39,2
15	12,78	1,226	1,218	10,64	41,9
16	13,63	1,221	1,213	11,36	44,8
17	14,53	1,217	1,208	12,12	47,7
18	15,47	1,213	1,204	12,93	50,7
19	16,47	1,209	1,199	13,78	54,0
20	17,53	1,205	1,194	14,68	57,4
21	18,65	1,201	1,190	15,64	60,7
22	19,82	1,197	1,185	16,66	64,5
23	21,07	1,193	1,180	17,73	68,3
24	22,37	1,189	1,177	18,87	72,0
25	23,75	1,185	1,170	20,07	76,2
26	25,21	1,181	1,166	21,34	80,4
27	28,35	1,177	1,161	22,68	85,0
28	28,74	1,173	1,156	24,10	89,6
29	30,04	1,169	1,151	25,60	94,2
30	31,82	1,165	1,147	27,18	99,7
31	33,70	1,161	1,142	28,68	105
32	35,66	1,157	1,137	30,63	110
33	37,73	1,154	1,132	32,49	116
34	39,90	1,150	1,127	34,47	120
35	42,18	1,146	1,122	36,55	128
36	44,56	1,142	1,117	38,80	136
37	47,08	1,139	1,112	41,07	142
38	49,70	1,135	1,107	43,52	150
39	52,45	1,131	1,102	46,11	157
40	55,34	1,128	1,096	48,85	166
41	58,36	1,124	1,092	51,73	174
42	61,51	1,121	1,086	54,78	183
43	64,82	1,117	1,081	58,00	193
44	68,28	1,114	1,076	61,40	203
45	71,90	1,110	1,070	64,99	213
46	75,68	1,107	1,065	68,79	224
47	79,63	1,103	1,059	72,80	235
48	83,75	1,100	1,054	77,03	247
49	88,06	1,096	1,048	81,52	250
50	92,56	1,093	1,043	86,26	273
51	97,25	1,090	1,037	91,27	288

Температура, °C	Парціальний тиск водяних парів, мм. рт. ст.	Щільність повітря, кг/м ³		Вологовміст насиченого повітря, г/кг	Тепловміст насиченого повітря, кДж/кг
		сухого	насиченого		
52	102,1	1,086	1,031	96,57	303
53	107,2	1,083	1,025	102,2	319
54	112,6	1,080	1,019	108,1	335
55	118,1	1,076	1,013	114,5	353
56	123,9	1,073	1,007	121,1	371
57	129,8	1,070	1,001	128,0	394
58	136,1	1,066	0,994	135,8	410
59	142,7	1,063	0,988	143,8	435
60	149,5	1,060	0,981	152,3	456
61	156,5	1,057	0,974	161,3	482
62	163,8	1,054	0,967	171,0	511
63	171,5	1,051	0,961	181,2	536
64	179,4	1,048	0,954	192,2	569
65	187,6	1,044	0,947	203,9	599
66	196,2	1,041	0,940	216,5	628
67	205,1	1,038	0,932	230,0	670
68	214,3	1,035	0,925	244,3	708
69	223,9	1,032	0,917	259,7	754
70	233,8	1,029	0,909	276,3	795
71	244,1	1,026	0,901	294,3	846
72	254,8	1,023	0,893	313,7	900
73	265,8	1,020	0,885	334,6	955
74	277,3	1,017	0,877	357,3	1020
75	289,2	1,014	0,868	382,1	1080
76	301,5	1,011	0,860	409,1	1160
77	314,3	1,009	0,851	438,5	1230
78	327,5	1,006	0,842	471,0	1320
79	341,1	1,003	0,832	506,6	1420
80	355,3	1,000	0,823	546,0	1530
81	369,9	0,997	0,814	589,9	1640
82	385,1	0,994	0,804	638,8	1780
83	400,7	0,992	0,794	693,7	1930
84	416,9	0,989	0,783	755,8	2090
85	433,6	0,986	0,773	826,4	2280
86	450,9	0,983	0,762	907,3	2500
87	468,7	0,981	0,752	1001	2750
88	487,2	0,978	0,741	1110	3050
89	506,2	0,975	0,729	1240	3400
90	525,9	0,973	0,718	1400	3820
91	546,2	0,970	0,706	1590	4350
92	567,1	0,967	0,694	1830	4980
93	588,7	0,965	0,682	2140	5820
94	614,0	0,962	0,668	2616	7080
95	634,0	0,959	0,656	3730	8500
96	657,7	0,957	0,643	4000	10800
97	682,1	0,955	0,630	5450	14700

Температура, °C	Парціальний тиск водяних парів, мм. рт. ст.	Щільність повітря, кг/м ³		Вологовміст насиченого повітря, г/кг	Тепловміст насиченого повітря, кДж/кг
		сухого	насиченого		
98	707,3	0,951	0,616	8350	22500
99	733,3	0,949	0,602	17000	46000
100	760,0	0,947	0,588	-	-
120	н.д.	0,898	н.д.	н.д.	н.д.
140	н.д.	0,854	н.д.	н.д.	н.д.
160	н.д.	0,815	н.д.	н.д.	н.д.
180	н.д.	0,779	н.д.	н.д.	н.д.
200	н.д.	0,746	н.д.	н.д.	н.д.
250	н.д.	0,674	н.д.	н.д.	н.д.
300	н.д.	0,615	н.д.	н.д.	н.д.
350	н.д.	0,566	н.д.	н.д.	н.д.
400	н.д.	0,524	н.д.	н.д.	н.д.
500	н.д.	0,456	н.д.	н.д.	н.д.
600	н.д.	0,404	н.д.	н.д.	н.д.
700	н.д.	0,362	н.д.	н.д.	н.д.
800	н.д.	0,329	н.д.	н.д.	н.д.
900	н.д.	0,301	н.д.	н.д.	н.д.
1000	н.д.	0,277	н.д.	н.д.	н.д.
1100	н.д.	0,257	н.д.	н.д.	н.д.



Навчально-методичне видання

Наталія Миколаївна Максимова

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРИ:

**методичні вказівки
до виконання індивідуальних завдань:**

самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції