

**Міністерство освіти і науки України**



**Одеська державна академія будівництва та архітектури**  
**Інститут гідротехнічного будівництва та цивільної інженерії**  
**Кафедра теплогазопостачання і вентиляції**

## **МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

**до виконання  
курсowego проекту**

**з дисципліни  
«Новітні системи вентиляції будівель і споруд»**

для студентів другого (магістерського) рівня,  
що навчаються за освітньо-професійною програмою  
Теплогазопостачання і вентиляція  
спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

**ОДЕСА–2020**

УДК 691:002:006.354 (075)

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Вченою радою інституту  
гідротехнічного будівництва та  
цивільної інженерії

Укладачі: к.т.н., доц. Даніченко М.В.

к.т.н., доц. Гераскіна Е.А.

к.т.н., доц. Шевченко Л.Ф.

Рецензенти: директор ТОВ "ОМЗЗ-Монтаж" Піроженко Ю.І.,

доц. кафедри ТГПіВ Семенов С.В.

Відповідальний за випуск: зав. кафедрою ТГПіВ доц. Елькін Ю.Г.

## ЗМІСТ

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                     | 4  |
| 1.ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ ПРОЕКТУ.....                                                            | 4  |
| 2.ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....                                                                      | 5  |
| 3.ПРИНЦИПОВІ РІШЕННЯ З ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АСПІРАЦІЇ.....                                      | 7  |
| 4.РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АСПІРАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....                                               | 8  |
| 4.1. Аспіраційні укриття.....                                                                  | 8  |
| 4.2. Оцінка герметичності укриття.....                                                         | 13 |
| 4.3. Ежекція повітря сипучим матеріалом.....                                                   | 16 |
| 4.4. Конструювання і розрахунок систем аспірації.....                                          | 24 |
| 4.5.Приклад компонування і розрахунку аспіраційної системи.....                                | 25 |
| 5.РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИКЛОННОГО ПИЛОУЛОВЛЮВАЧА.....                                       | 39 |
| 5.1. Обґрунтування вибору циклону.....                                                         | 39 |
| 5.2. Визначення діаметру циклону.....                                                          | 40 |
| 5.3. Приклад розрахунку циклону .....                                                          | 43 |
| 6. РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ТКАНИННИХ ФІЛЬТРІВ .....                                            | 49 |
| 6.1. Класифікація тканинних фільтрів.....                                                      | 49 |
| 6.2. Розрахунок рукавного фільтра.....                                                         | 50 |
| 6.3. Система імпульсної продування стисненим повітрям рукавів фільтра..                        | 56 |
| 6.4. Система автоматичного контролю роботи фільтрів.....                                       | 57 |
| 6.5. Приклад розрахунку фільтра.....                                                           | 60 |
| 7. Вибір обладнання аспіраційних систем.....                                                   | 62 |
| 8. РОЗРАХУНОК ВІДВЕДЕНОГО ЕКОНОМІЧНОГО ЗБИТКУ ПРИ<br>ВПРОВАДЖЕННІ ПИЛООЧИСНОГО ОБЛАДНАННЯ..... | 65 |
| ЛІТЕРАТУРА.....                                                                                | 68 |
| Додаток А. Вихідні дані.....                                                                   | 69 |
| Додаток Б. Креслення планів і розрізів.....                                                    | 71 |

## **ВСТУП**

Забруднення повітряного середовища шкідливими речовинами є наслідком бурхливого розвитку промисловості. Внаслідок цього завдається збиток здоров'ю людей, все більш виразно виявляються наслідки порушення екологічної рівноваги.

Методичні вказівки з дисципліни «Новітні системи вентиляції будівель і споруд» розроблені з метою подальшого поглиблення знань і отримання практичних навичок студентів по захисту навколишнього середовища від забруднень шляхом виконання індивідуальних завдань за розрахунком аспіраційних систем виробничих будівель. При розробці проекту слід користуватись конспектом лекцій, технічною літературою, підручниками, а також діючими нормативними документами.

### **1.ЗАВДАННЯ НА РОЗРОБКУ ПРОЕКТУ**

Вихідні дані для виконання індивідуального проекту визначаються студентом самостійно з методичних вказівок по номеру залікової книжки в наступній послідовності.

1. По останній та передостанній цифрами номеру залікової книжки за додатком А визначають чисельні значення для розрахунку аспіраційної системи з циклоном чи рукавним фільтром (по завданню викладача).

2. По останній цифрі залікової книжки з додатку А визначають план-схему цеху з устаткуванням.

У розрахунково-пояснювальній записці (20-25 сторінок формату А4) наводяться:

- вихідні дані проекту;
- коротка технологічна характеристика системи на підставі вихідних даних, трасування системи аспірації;
- аеродинамічний розрахунок аспіраційної системи промислової вентиляції;
- розрахунок ефективності та вибір циклонного пиловіддільника;
- розрахунок ефективності та вибір рукавного фільтру;

- вибір вентилятора;
- висновки про виконання завдання;
- список використаної літератури.

Згідно з послідовністю виконання розрахунку графічна частина виконується на аркуші формату A1, на якому необхідно показати наступні креслення.

1. План поверху приміщення з розміщенням аспіраційних повітроводів та аспіраційного і вентиляційного устаткування в масштабі 1:100. Згідно останньої цифри залікової книжки з додатку 3 обирають план цеху, збільшивши максимальний розмір до формату A4.
2. Розріз приміщення з розміщенням аспіраційних повітроводів та аспіраційного і вентиляційного устаткування в масштабі 1:100.  
Висота цеху становить 5 метрів.
3. Аксонометрична схема аспіраційної та припливної систем цеху.
4. Індивідуальне завдання, яке вибирається з додатку.

## **2. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ**

Сучасні промислові приміщення відрізняються великою різноманітністю за призначенням, специфікою технологічних процесів, виділенню технологічних шкідливих речовин. Крім того, промислові приміщення часто бувають комбінованими, тобто в одному цеху може розташовуватись кілька різних за призначенням відділень. Тому, щоб обмежити зону розтікання струменю шкідливих речовин і забезпечити очистку повітря, в місцях найбільшого їх виділення, влаштовують місцеві відсмоктувачі.

Місцеві відсмоктувачі представляють собою пристрій для локалізації шкідливих виділень у місцях їх утворення та видалення забрудненого повітря за межі приміщення з концентраціями, вищими, ніж при загально обмінній вентиляції. Це дозволяє скорочувати повітрообмін і за рахунок цього знижувати витрати на очистку повітря.

Санітарно-гігієнічне значення місцевих відсмоктувань полягає в тому, що вони не допускають проникнення шкідливих виділень в зону дихання працюючих (робочу зону). Окрім санітарно-гігієнічних вимог, до місцевих відсмоктувань пред'являють наступні технологічні вимоги:

а) місце утворень шкідливих виділень має бути укрите настільки, наскільки це дозволяє технологічний процес, а відкритий отвір повинен мати мінімально можливі розміри;

б) місцеве відсмоктування не повинно заважати нормальній роботі або знижувати продуктивність праці;

в) шкідливі виділення повинні віддалятися від місця їх утворення у напрямку їх природного руху – гарячі гази і випаровування вгору, холодні і пил вниз;

г) конструкція місцевого відсмоктування має бути простою, мати малий гідравлічний опір, легко демонтуватись і встановлюватись на місце при чищенні і ремонті устаткування.

Конструктивно місцеві відсмоктування виконують у вигляді різного типу укриттів джерел шкідливих виділень. Умовно їх можна розділити на три групи: напіввідкриті, відкриті і повністю закриті.

Напіввідкритим відсмоктуванням є укриття, всередині якого знаходиться джерело шкідливих виділень. Укриття має відкритий отвір або проріз. Прикладом такого укриття є витяжні шафи, вентилязовані камери (для фарбування), вітринні відсмоктування і тому подібне.

До місцевих відсмоктувань відкритого типу відносяться укриття, що знаходяться за межами джерела шкідливих виділень, – над ним або збоку від нього. Прикладами таких укриттів є витяжні парасольки, бічні, бортові і кільцеві відсмоктування.

Повністю закриті відсмоктування є герметичним укриттям від кожуха устаткування, які з'єднуються з ним і мають отвір або щілинні зазори для доступу через них повітря з приміщення. Прикладом таких відсмоктувань є

укриття дробарок, магнітних сепараторів, елеваторів, транспортерів, місць пересипки сипких матеріалів у виробничих приміщеннях.

Укриття слід розташовувати по напрямку поширення струменю шкідливих виділень, використовуючи для захвату їх власну кінетичну енергію. В цьому випадку витрата повітря, що видаляється, буде мінімальною.

При проектуванні місцевих укриттів вибір форми відсмоктування, його розташування щодо джерела шкідливих виділень і обсягу відсмоктування залежить від характеру технологічного процесу.

Основний спосіб боротьби з пилом – запровадження **локалізуючої вентиляції**. Відбір запиленого повітря від джерела його виділення прийнято називати **аспірацією**. Аспірація тісно пов'язана з технологією виробництва.

При роботі аспіраційних пристроїв, крім завдань санітарно-гігієнічного характеру (підтримання необхідних кліматичних умов і чистоти повітря), вирішуються завдання по запобіганню накопичення пожежо- і вибухонебезпечних речовин, збереженню від розпилення цінних матеріалів. Останнє має також економічне значення і може певною мірою окупити витрати на улаштування та експлуатацію аспіраційних систем.

При влаштуванні системи аспірації необхідно враховувати властивості пилу та умови його виникнення, положення осередку пилу, напрямок пилового факелу, рухливість повітря поблизу джерела пиловиділення та ін. Крім того, слід враховувати, супроводження виділення пилу виділенням інших факторів: пари, газу, тепла. Відомо, що конвективні потоки істотно впливають на рух пилу, особливо дрібнодисперсного.

### **3. ПРИНЦИПОВІ РІШЕННЯ З ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ АСПІРАЦІЇ**

Система аспірації – це сукупність спеціального обладнання, яке створює цілеспрямовані повітряні потоки в будівлях, обладнанні, трактах і необхідний мікроклімат у виробничих приміщеннях.

Основною причиною надходження пилу і газів в промислові приміщення є надлишковий тиск під накриттям транспортно-технологічного устаткування.

Основний спосіб боротьби – улаштування локалізуючих аспіраційних систем від джерел виділень забруднень.

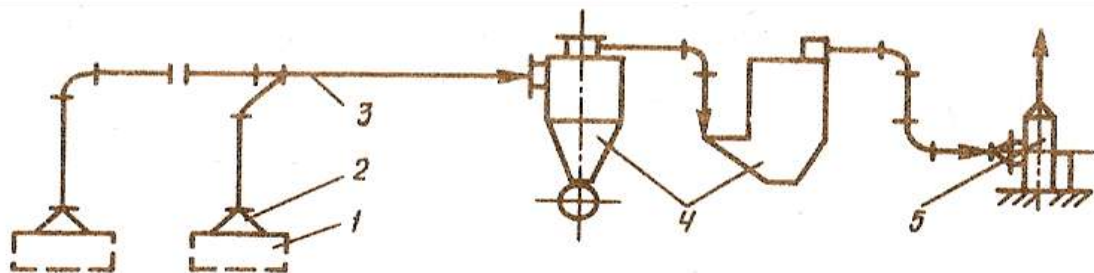


Рис. 3.1.Схема аспіраційної установки

Аспіраційна установка – це єдина комплексна система (рис. 3.1) що складається з аспіраційних укриттів – (1), відбірних патрубків – (2), повітроводів та елементів фасонних деталей – (3), пиловловлювачів –(4), вентилятора – (5) і засобів автоматизації.

До місцевих відборів висувають певні вимоги, необхідні для забезпечення їх ефективної роботи. Основні з них наведені нижче.

Місцевий відбір забруднень необхідно розташовувати як можна ближче до джерела виділення забруднень. Місцевий відбір не повинен створювати перешкод для технологічного процесу, при необхідності він повинен легко зніматись і встановлюватись на місце. Лише в цьому випадку можна бути впевненим у тому, що відбір не буде демонтований незабаром після установки.

Місцеві відбори можна розділити на закриті та відкриті. У перших джерело виділення забруднень укладене в кожух, укриття, від якого проводиться відбір повітря; у других місцевий відбір (повітроприймальник) знаходиться на деякій відстані від джерела забруднень. Найбільш повне видалення забруднень досягається при використанні закритих місцевих відборів.

При проектуванні аспіраційних систем слід застосовувати вискоєфективні місцеві відсмоктувачі для видалення шкідливих безпосередньо біля місць їх утворення.



Аспіраційні системи складаються з аспіраційних укриттів, відсмоктуючих патрубків, повітроводів, відводів, трійників і інших фасонів елементів, пиловловлювача і вентилятора.

Аспіраційне укриття – це герметизуючий кожух технологічного або транспортного устаткування. При відсмоктуванні повітря з-під укриття запобігає виділенню пилу з устаткування в приміщення.

Одною з основних причин утворення пилу в робочих зонах технологічного і транспортного обладнання та надходження його в приміщення є надлишковий тиск всередині укриттів, що виникає через руху них з великою окружною швидкістю робочих органів і від ежекції (внесення) в них повітря разом з сипучими матеріалами.

До такого обладнання відносять різні типи дробарок ударної дії, кульові млини, просіювачі, змішувачі, елеватори і транспортери. При завантаженні бункерів, ємностей в них також виникає надлишковий тиск, що обумовлює виділення пилу. При рівномірному надходженні в бункери матеріалу, що падає з невеликої висоти, процес протікає спокійно. Значний тиск виникає, коли порція матеріалу заповнює весь об'єм закритої ємності, наприклад в дозувальних вагах, ваговибірних апаратах.

Викид великих частинок пилу може відбуватись в результаті надання часткам швидкості, наприклад, при зриві їх з рухомих частин механізмів. Розрахунки показують, що частинки розміром менше 10 мкм майже миттєво втрачають надану їм швидкість.

При переміщенні та обробці нагрітих матеріалів на транспортному і технологічному обладнанні в укриттях під впливом тепла тиск може перерозподілитись, що спричиняє виникнення надмірного тиску, здатного привести до виділення пилу і шкідливих домішок в приміщенні, наприклад, в сушільних агрегатах.

## 4. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АСПІРАЦІЙНИХ СИСТЕМ

### 4.1 Аспіраційні укриття

Аспіраційні укриття застосовують з метою запобігання запиленню повітря в приміщеннях. Всередині укриття підтримують розрідження, щоб через його нещільності повітря засмоктувалось з обладнання зі швидкостями, що перешкоджають поширенню пилу в приміщенні. Устаткування, призначене для транспортування і переробки сипучих матеріалів, повинно мати ущільнене укриття, особливо в місцях інтенсивного пилоутворення.

Отвори укриттів, через які відсмоктується повітря, не повинні знаходитись в безпосередній близькості до місць завантаження матеріалу, а швидкості в них не повинні перевищувати 0,7 м/с для порошкоподібних матеріалів (вміст часток розміром менше 0,2 мм більше 50% за вагою при максимальному розмірі частинок 1,5 мм з  $\rho > 1200 \text{ кг/м}^3$ ), 1 м/с для зернистих матеріалів (із середнім розміром частинок 0,2...3 мм при  $\rho > 2000 \text{ кг/м}^3$ ) та 2 м/с для кускових матеріалів (із середнім розміром частинок більше 3 мм при  $\rho > 2000 \text{ кг/м}^3$ ).

У бункерах та інших укриттях великої місткості швидкості в витяжному отворі не регламентуються. Ефективність аспірації залежить від конструктивного оформлення місцевих відсмоктувачів і правильного вибору їх приєднання.

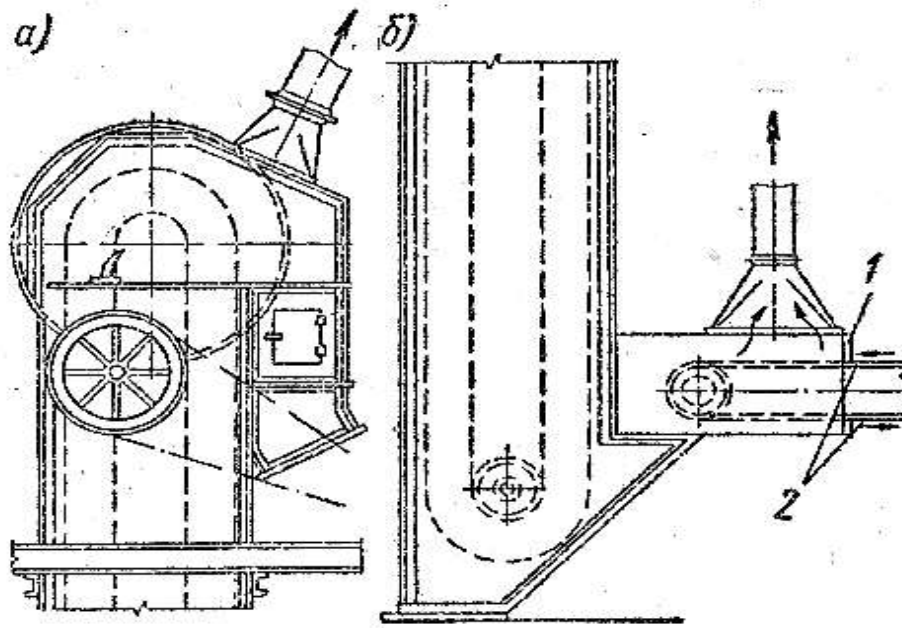


Рис. 4.1 Схема аспірації елеватора (норії), а – головка норії; б – черевик норії;  
1 – ущільнювальна гума; 2 – стрічка транспортера

Норії (рис. 4.1) за допомогою яких проводиться підйом сипучих матеріалів, укладають в кожух по всій висоті. При цьому під час підйому холодного матеріалу відсмоктування повітря слід здійснювати від черевика норії (місця завантаження), а у норії висотою більше 18м і при транспортуванні нагрітих матеріалів з температурою вище 50 °С – і від верхньої головки норії.

Об'ємна витрата повітря, що відсмоктується, приймається в залежності від ширини ковша і висоти підйому в межах 600...1700 м³/год.

Об'ємна витрата повітря, що видаляється системою аспірації,  $L_a$  м³/год., може бути визначена як:

$$L_a = L_e + L_n, \quad (4.1)$$

де  $L_e$  – об'ємна витрата повітря, ежектованого (внесеного) в укриття з поступаючим матеріалом, м³/год.;

$L_n$  – об'ємна витрата повітря, що надходить з приміщення через нещільності і прорізи укриття, м³ / год.

Об'ємна витрата повітря, м<sup>3</sup>/год., ежектованого в укриття з поступаючим через завантажувальні течки матеріалом, визначається за формулою:

$$L_e = 0,12 \cdot K_y \cdot W_m \cdot V_m^2, \quad (4.2)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт, що залежить від конструкції укриття і умов надходження матеріалу. При вентиляованих перепадах зі стрічки на стрічку транспортера  $K_y = 1 \dots 1,2$ ; для ємних укриттів, що завантажуються через течку, і не вентиляованих перепадах зі стрічки на стрічку транспортера  $K_y = 1,4 \dots 2$ ; для укриттів на транспортері при надходженні матеріалу з дробарок  $K_y = 2,2 \dots 3$ ;

У разі, якщо витрата надходжуваного матеріалу, м<sup>3</sup>/год., невідома, її можна визначити за формулою:

$$W_m = 300 b^2 \cdot V_t, \quad (4.3)$$

де  $b$  ширина стрічки транспортера, м;

$V_t$  – швидкість руху стрічки транспортера, м/с.

Швидкість руху матеріалу визначається за формулою:

$$V_m = \sqrt{19,62 H (1 - 1,2 f_m \operatorname{tg} \alpha)}, \quad (4.4)$$

де  $H$  – висота падіння матеріалу в завантажувальні течки, м;

$f_m$  – коефіцієнт тертя матеріалу об поверхню течки;

$\alpha$  – кут нахилу завантажувальної течки до горизонталі, град [8].

Коефіцієнт тертя матеріалу  $f_m$  приймається рівним:

Для гіпсу і руди.....0,65

Глини і сирій землі.....0,8

Сухої землі, щебеню, гравію і кам'яного вугілля.....0,5

Піску і шлаку.....0,6

**Завдання:** Визначити витрату повітря, що видаляється від укриття транспортера, який переміщає пісок в формувальний цех заводу залізобетонних виробів. Пісок подається на транспортер з бункера через течку під кутом  $\alpha = 90^\circ$  з витратою  $W_m = 200 \text{ м}^3/\text{год}$ . Висота падіння матеріалу 2,5 м. Коефіцієнт тертя піску об поверхню течки 0,6. Загальна площа щілин в укритті транспортера  $F_T = 0,445 \text{ м}^2$ . Швидкість проникнення через нещільності укриття  $V_H = 1,5 \text{ м/с}$ .

Розрахунок. Визначаємо швидкість руху матеріалу при вході в укриття:

$$V_m = \sqrt{19,62 \cdot 2,5 \cdot (1 - 1,2 \cdot 0,6 \cdot 0)} = 7 \text{ м/с}.$$

Витрата ежектованого в укриття з поступаючим через завантажувальні течки матеріалом, визначається за формулою:

$$L_e = 0,12 \cdot 3 \cdot 200 \cdot 7^2 = 3530 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Об'ємна витрата повітря, що надходить з приміщення через нещільності і прорізи укриття, дорівнює:

$$L_H = 3600 \cdot V_H \cdot F_T = 3600 \cdot 1,5 \cdot 0,445 = 2420 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Загальна об'ємна витрата повітря, що видаляється системою аспірації з-під укриття:

$$L = 3530 + 2420 = 5950 \text{ м}^3/\text{год}.$$

#### 4.2 Оцінка герметичності укриття

Транспортне і технологічне обладнання перевантажувальних комплексів, що виділяє пил та інші шкідливі речовини, захищають укриттями, з яких відсмоктують повітря.

Пил, що утворюється в робочих зонах транспортного та технологічного обладнання, може за певних умов надходити в приміщення. Одна з основних причин виділення пилу – надлишковий тиск всередині укриття, що утворюється при надходженні потоку ежектованого (захоплюваного) повітря в укриття, під час руху робочих органів обладнання, при витісненні повітря сипучим матеріалом, а також в результаті теплової дії.

Для запобігання виділенню пилу з укриття необхідно за допомогою місцевого відсмоктування створити в них розрядження, під дією якого в отворі утворюється зустрічний повітряний потік, що перешкоджає надходженню пилу в приміщення. Для місць завантаження конвеєрів розрідження в укритті визначають за формулою:

$$H_a = K_y \cdot V_{\text{еж}}^2 / 2 \cdot \rho, \quad (4.5)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт, що враховує конструктивне оформлення укриття і умови входу струменю ежектованого повітря ( $K_y=0,8...1,6$ );

$V_{\text{еж}}$  – швидкість ежектованого повітря при виході з самопливного трубопроводу, м/с<sup>2</sup>;

$\rho$  – щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>.

Якщо температура повітря в укритті перевищує температуру навколишнього середовища, виділення пилу можливо внаслідок дії теплового тиску, величину якого розраховують за формулою:

$$H_T = h_y \cdot (\rho_o - \rho_y) \cdot g, \quad (4.6)$$

де  $h_y$  – висота укриття, м;

$\rho_o, \rho_y$  – щільність повітря відповідно в приміщенні і в укритті, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння ( $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>).

Обчислення, проведені за формулами (4.5) і (4.6) при різних варіантах розташування обладнання, і експериментальна перевірка показали, що

оптимальне значення розрідження в аспіраційних укриттях, має становити 10...30Па.

З урахуванням факторів, що впливають на формування надлишкових тисків в укриттях, сформульовані загальні вимоги до влаштування аспіраційних укриттів:

- зовнішні стінки укриттів розташовують якнайдалі від зон підвищеного тиску, що дозволяє більш рівномірно розподіляти тиск на внутрішні поверхні стінок;
- відсмоктуючі патрубки приєднують до укриття в таких його частинах, які не перебувають безпосередньо в зоні падіння матеріалу і де можливість захоплення його частинок аспіраційним повітрям найменша;
- укриття розробляють з урахуванням створення максимально можливої герметизації;
- вживають заходів для зниження швидкості входу матеріалу в укриття (зменшують кути нахилу самопливних трубопроводів, встановлюють відбійні плити і т.п.);
- швидкість повітря в відсмоктуючому патрубку приймають мінімально можливою.

Для підтримки необхідного санітарного рівня запиленості виробничих приміщень необхідно виключити або максимально знизити виділення пилу через нещільності в обладнанні та ємностях. Досягти цього можна шляхом ретельної герметизації укриттів і створення всередині обладнання і ємностей певного вакууму.

Через практичну неможливість здійснення повної герметизації обладнання необхідна оцінка існуючого рівня герметизації застосованих укриттів машин. В якості критерію рівня герметизації запропоновано коефіцієнт аеродинамічного опору машин, який визначають за формулою:

$$K = H_M / L_H, \quad (4.7)$$

де  $H_m$ — аеродинамічний опір машин, Па;

$L_n$ — обсяг повітря, що відсмоктується від машин  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$n$ — показник ступеня.

Аеродинамічний опір машини можна виразити через швидкість повітря в нещільності, якщо прийняти, що аспірований обсяг повітря надходить через них.

### 4.3 Ежекція повітря сипучим матеріалом

Гравітаційне переміщення сипучих матеріалів у повітряному середовищі викликає його протидію. В результаті дії сил аеродинамічного опору, наприклад, в пневмотранспортних матеріалопроводах відбувається переміщення сипучих матеріалів, а при гравітаційному падінні твердих частинок проявляється їх ежекційна дія, тобто захоплення повітря рухомими частками.

На рис.4.2 представлені схеми руху сипучого матеріалу в вертикальному і нахилому самопливах.

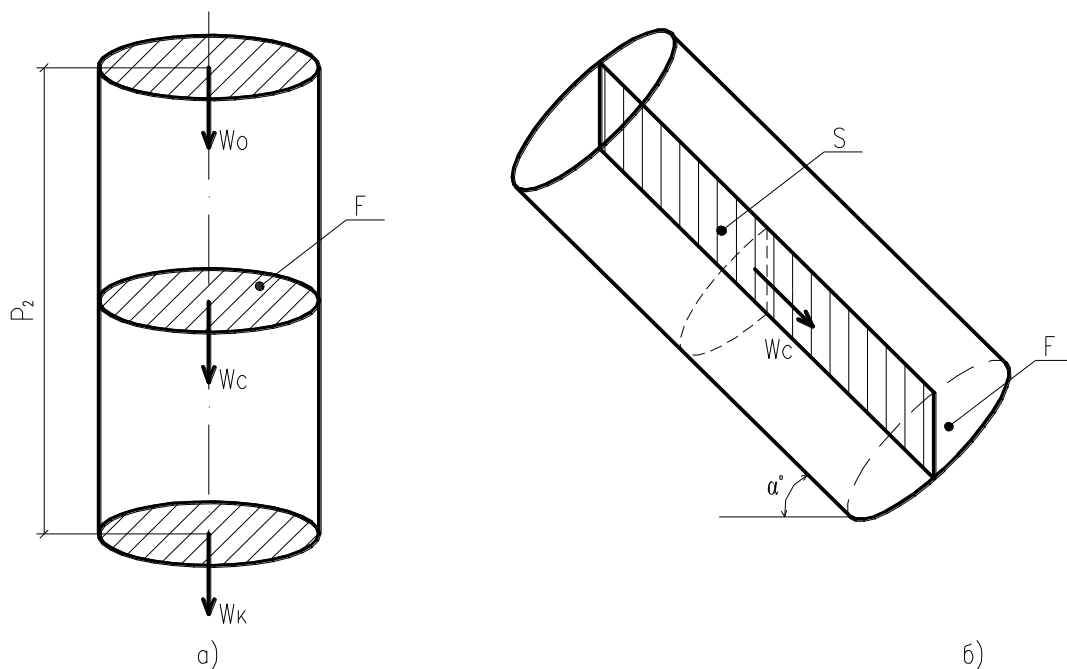


Рис. 4.2 Схеми руху сипучого матеріалу: а – у вертикальному; б – нахилому самопливах



Значення ежекційного тиску повітря, обумовленого гравітаційним переміщенням сипучих матеріалів по самопливних трубопроводах, можна визначити за формулами:

– для вертикального самопливного трубопроводу:

$$H_{\text{св}} = G / F \cdot [g \cdot h / w_{\text{с}} - (w_{\text{к}} - w_{\text{о}}) \cdot \lambda_{\text{м}} \cdot h / D \cdot w_{\text{с}}], \quad (4.8)$$

– для похилого самопливного трубопроводу:

$$H_{\text{сп}} = \lambda_{\text{н}} \cdot S \cdot \rho \cdot w_{\text{с}}^2 / 2 \cdot 1 / F_{\text{с}}, \quad (4.9)$$

де:  $G$  – масова витрата матеріалу, кг/с;

$F$  – площа поперечного перерізу самопливного трубопроводу,  $\text{м}^2$ ;

$w_{\text{о}}$ ,  $w_{\text{с}}$ ,  $w_{\text{к}}$  – початкова, середня і кінцева швидкості руху матеріалу відповідно, м/с;

$h$  – висота падіння матеріалу, м;

$D$  – діаметр самопливного трубопроводу, м;

$S$  – площа поверхні контакту матеріалу і повітря,  $\text{м}^2$ ;

$\lambda_{\text{м}}$ ,  $\lambda_{\text{н}}$  – коефіцієнти тертя між частинками матеріалу і стінками самопливного трубопроводу та між потоками матеріалу і повітря відповідно.

Ежекційний тиск витрачається на переміщення і підтримання різниці тисків повітря між кінцями самопливного трубопроводу, тобто

$$H_{\text{е}} = H_{\text{в}} + \Delta H, \quad (4.10)$$

де:  $H_{\text{в}}$  – тиск, що витрачається на переміщення повітря в трубопроводі, Па;

$\Delta H$  – різниця тисків повітря між кінцями самопливного трубопроводу, Па.

При відсутності руху повітря в самопливному трубопроводі величина ежекційного тиску дорівнює різниці тисків повітря між кінцями трубопроводу і може бути виміряна за допомогою мікроманометра.

Обсяг ежектованого по самопливних трубопроводах повітря можна визначити за формулою:

$$L_e = F \cdot \sqrt{2 \cdot (H_3 - \Delta H) / (\lambda \cdot b/D + \Sigma \xi) \cdot \rho}, \quad (4.11)$$

де:  $b$ ,  $D$  – довжина і діаметр самопливного трубопроводу, м;

$\lambda$ ,  $\xi$  – коефіцієнти аеродинамічного опору прямолінійних і місцевих ділянок самопливного трубопроводу.

Об'ємна витрата повітря, що видаляється системою аспірації,  $L_a$  м<sup>3</sup>/год., може бути визначена як:

$$L_a = L_e + L_n, \quad (4.12)$$

де  $L_e$  – об'ємна витрата повітря, ежектованого (внесеного) в укриття з поступаючим матеріалом, м<sup>3</sup>/год.;

$L_n$  – об'ємна витрата повітря, що надходить з приміщення через нещільності і прорізи укриття, м<sup>3</sup>/год.

Об'ємна витрата повітря, м<sup>3</sup>/год., ежектованого в укриття з поступаючим через завантажувальні течки матеріалом, визначається за формулою:

$$L_e = 0,12 K_y \cdot W_m \cdot V_m^2, \quad (4.13)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт, що залежить від конструкції укриття і умов надходження матеріалу.

При вентильованих перепадах зі стрічки на стрічку транспортера  $K_y = 1...1,2$ ; для ємних укриттів, що завантажуються через течку, і не вентильованих перепадах з стрічки на стрічку транспортера  $K_y = 1,4...2$ ; для укриттів на транспортері при надходженні матеріалу з дробарок  $K_y = 2,2...3$ .

З залежностей (4.10), (4.11), (4.13) випливає, що величина ежекційного тиску і обсягів переміщуваного по самопливних трубопроводах повітря залежить від їх параметрів, фізико-механічних властивостей матеріалу і ступеню герметизації самопливного трубопроводу.

Статичний тиск всередині самопливних трубопроводів розподіляється наступним чином: на горі – розрідження, внизу – надлишок тиску. Для зниження обсягів ежектованого повітря необхідно зменшити швидкість руху матеріалу, збільшити його питому масову витрату і максимально герметизувати самопливний трубопровід.

Для розрахунків об'ємної витрати повітря в таблиці 4.1 наведено обсяги ежектованого повітря для вертикальних самопливних трубопроводів.

При визначенні обсягів ежектованого повітря в похилих самопливних трубопроводах вказані значення об'єму повітря необхідно помножити на коефіцієнт  $a$ , значення якого залежить від кута нахилу самопливного трубопроводу до горизонтальної площини (табл.4.2).

**Обсяги ежектованого повітря по вертикальних самопливних  
трубопроводах рухомим сипучим матеріалом,  $L_e$  м<sup>3</sup>/год.**

Таблиця 4.1

| Висота<br>труби, м. | Масова витрата, т/год. |     |     |          |
|---------------------|------------------------|-----|-----|----------|
|                     | 20                     | 30  | 40  | 60...100 |
| 2                   | 120                    | 140 | 150 | 160      |
| 4                   | 175                    | 220 | 270 | 300      |
| 8                   | 270                    | 315 | 390 | 470      |
| 12                  | 560                    | 640 | 735 | 910      |
| 15                  | 640                    | 770 | 910 | 1100     |

**Коефіцієнт  $a$ , що враховує кут нахилу самопливного трубопроводу до  
горизонтальної площини**

Таблиця 4.2

|                     |       |     |      |     |
|---------------------|-------|-----|------|-----|
| Кут нахилу,<br>град | 85-90 | 75  | 65   | 45  |
| Коеф. $a$           | 1,0   | 0,6 | 0,52 | 0,4 |

Для виявлення закономірностей формування потоками вертикальних гравітаційних матеріалів ланок ежектованого повітря, було проведено серію експериментів, щоб визначили вплив основних параметрів матеріалів на процеси ежекції повітря. На рис. 4.3 представлені результати дослідження полів розподілу швидкості ежектованого повітря  $V_e$  по висоті падінні струменя матеріалу.

Для визначення полів швидкостей повітря, ежектованого струменем падаючих частинок сипучого матеріалу, використовували термоанемометр, а тисків і витрат повітря – мікроманометри. З наведених даних видно, що повітря навколишнього простору рухається з деякою швидкістю у напрямку руху струменя, причому, швидкість руху ежектованого повітряного потоку збільшується у напрямку осі рухання струменя.

Значення швидкості яка наближалась до нуля спостерігалось на відстані 1,5...2,5 діаметра струменя від її осі і залежить від  $G$  і  $h$ . Зазначене явище відповідає фізичним закономірностям, покладеним в основу математичного опису процесів взаємодії повітряного потоку з вертикальної струменем сипучого матеріалу. Характеристика процесів ежекції повітря, представлена на рис. 4.3, підтверджує прийняті допущення про те, що процес руху повітря уздовж поверхні струменя матеріалу обумовлений дією сил в'язкості в оточуючому падаючий матеріал повітрі.

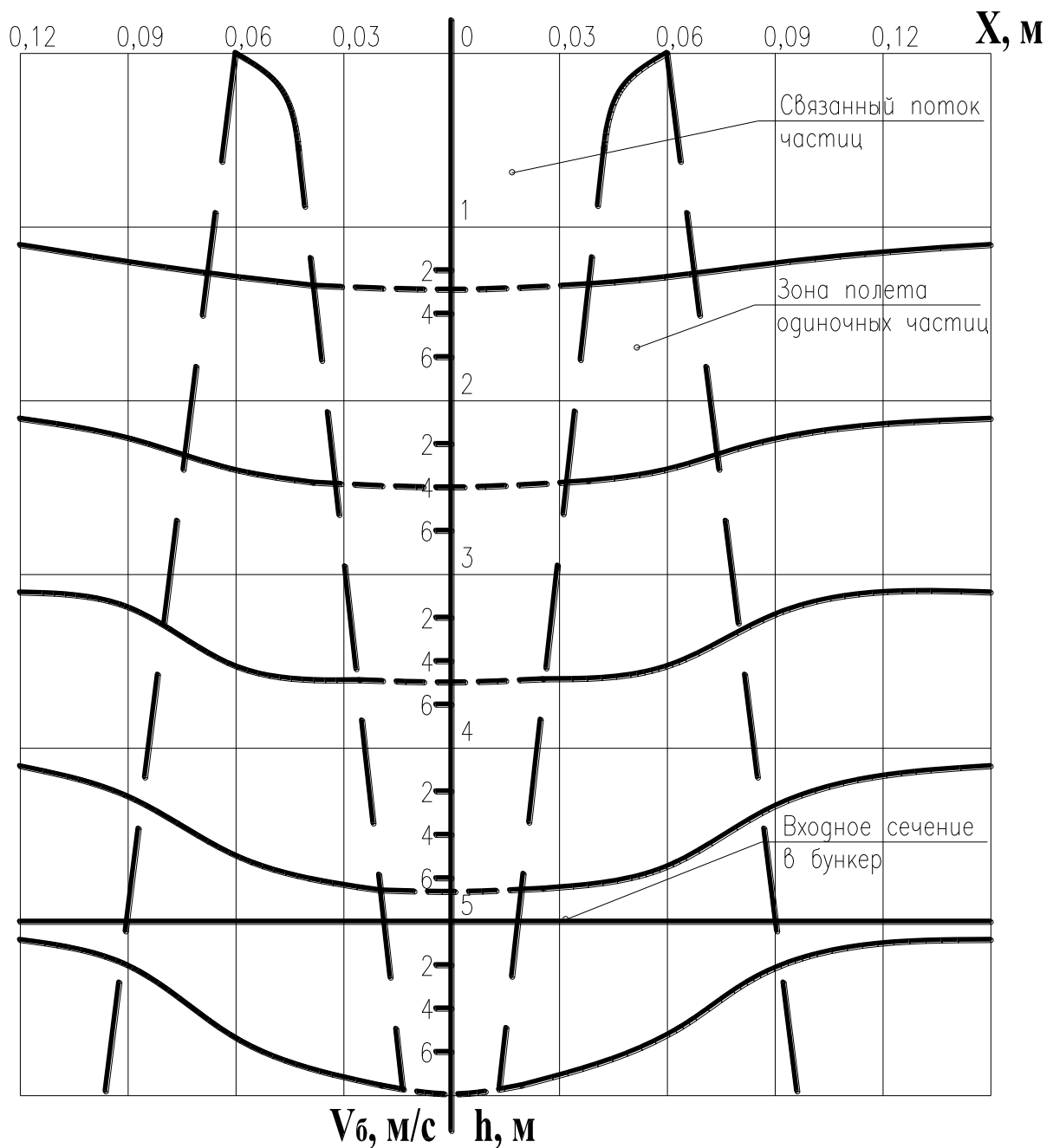


Рис.4.3. Поля швидкостей повітряного потоку, ежектованого вертикальним струменем сипучого матеріалу, (викладено мовою оригіналу).

Результати експериментальних досліджень впливу тиску  $H$  в приймальному бункері на поле швидкостей  $V_\delta$  представлені на рис. 4.4.

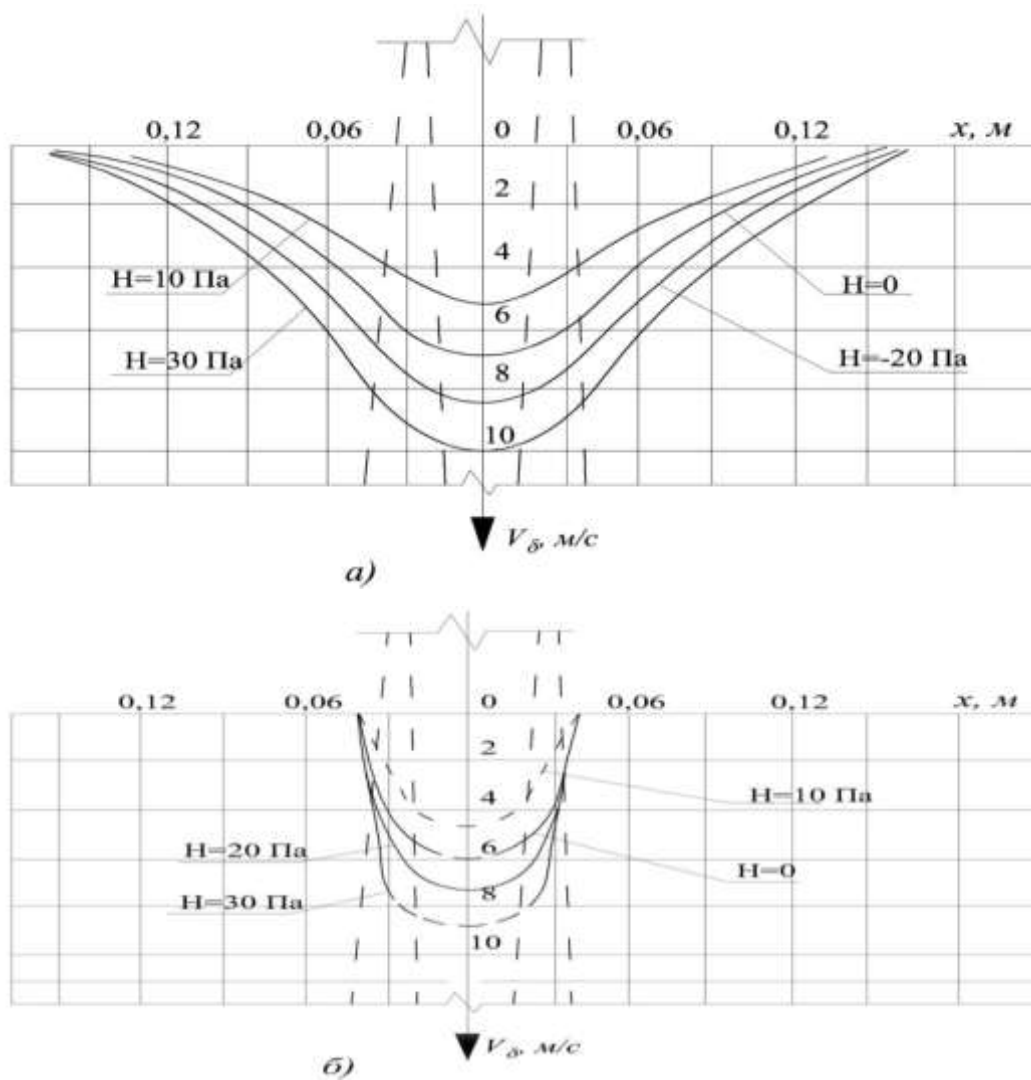


Рис.4.4. Вплив  $H$  (Па) на поле швидкостей  $V_\delta$  (м/с), при  $h = 5\text{ м}$ :

а)  $D_{вх}/D_c = 5$ ; б)  $D_{вх}/D_c = 1,5$

Аналіз отриманих розподілів полів швидкостей ежектованих потоків повітря показує, що зі зростанням надлишкового тиску в приймальному бункері місцеві швидкості ежектованого потоку повітря  $V_\delta$  зменшуються, а з підвищенням розрідження збільшуються (рис. 4.4, а). При зменшенні вхідного отвору  $D_{вх}$  приймального бункера значення місцевих швидкостей ежектованого повітря також зменшується (рис. 4.4, б). Представлені графічні залежності поля швидкостей ежектованого потоку повітря, підтверджує прийняті при кількісному описі процесів закономірності зв'язків швидкості ежектованого повітря  $V_\delta$  і величини тиску  $H$  в бункері.

Крім того, вони показують обумовленість процесу ежекції дією сил в'язкості в оточуючому падаючий сипучий матеріал просторі, що збігається з результатами досліджень інших авторів.

Також проводились експериментальні дослідження по визначенню характеристик впливу основних аеродинамічних параметрів будівельних матеріалів на процеси ежекції повітря криволінійним струменем сипучого матеріалу. На рис. 4.5 представлені результати досліджень полів розподілу швидкості ежектованого повітря уздовж траєкторії переміщення криволінійного матеріального струменя.

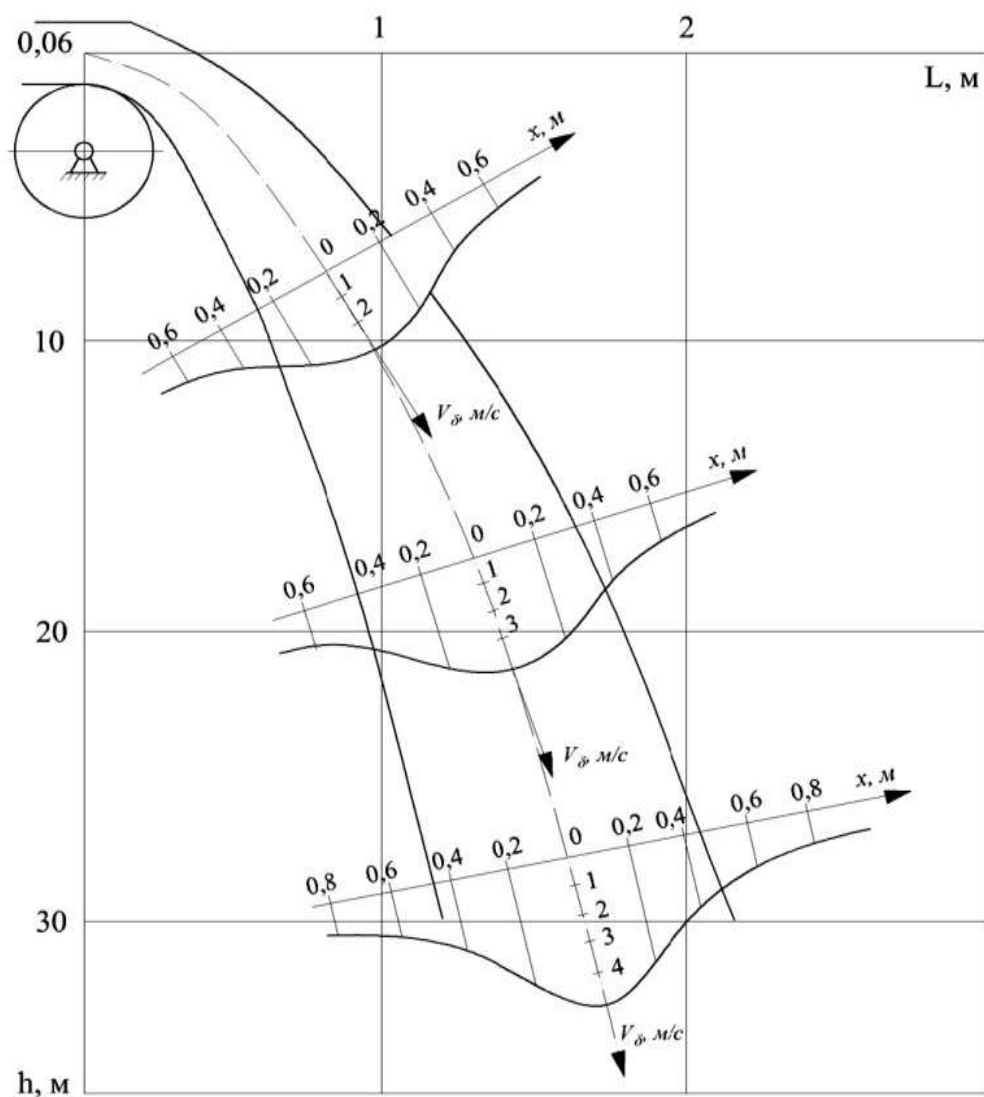


Рис. 4.5. Поля швидкостей повітряного потоку, ежектованого криволінійним матеріальним струменем (початкова швидкість  $V = 3,3 \text{ м / с}$ ,  $H = 0$ ,  $D_{\text{вх}} / D_{\text{с}} = 5$ )

Як видно з представлених даних, повітря, що оточує криволінійний струмінь в просторі рухається з деякою швидкістю в напрямку його руху, як у випадку руху вертикального матеріального струменя. Швидкість руху ежектованого повітряного потоку збільшується в напрямку до осі струменя. Значення швидкості  $V_{\delta} \rightarrow 0$  спостерігали на відстані 0,8...1,2 м від осі струменя в залежності від висоти падіння сипучого матеріалу  $h$  і продуктивності  $G$ .

Аналіз отриманих характеристик процесу ежекції повітря підтверджує правильність прийнятого допущення про обумовленість руху повітря уздовж поверхні матеріального струменя дією сил в'язкості в оточуючому падаючий матеріал повітряному просторі.

Витрата повітря, що переміщується в приймальний бункер матеріальним струменем осьовим потоком, а так само спільно з бічним потоком визначали як і для вертикальних матеріальних струменів. Відмінність мала місце в розмірах і формі отворів кришки приймального бункера, так як поперечний переріз криволінійного матеріального струменя мало форму еліпса.

Аналіз впливу висоти падіння  $h$  криволінійного струменя на величини  $L_e$  і  $L_{eб}$  вказує на їх збільшення з ростом  $h$ . Це обумовлено зростанням вертикальної складової швидкості матеріалу і відповідно зростанням швидкості  $V_{\delta}$  ежектованого їм повітряного потоку.

Вивчення процесів ежекції дозволило встановити залежність витрати повітря  $L_{eб}$  переміщуваного спільно з криволінійним матеріальним струменем осьовим і бічним потоками від величини тиску  $H_c$  в приймальному бункері [17].

#### **4.4 Конструювання і розрахунок систем аспірації**

При конструюванні аспіраційної системи враховують ряд особливих вимог і рекомендацій:

- розмір відгалужень для підключення аспіраційних патрубків повинен забезпечувати швидкість в них не менше швидкості витання часток пилу перевантажуваних матеріалів;



- протяжність горизонтальних ділянок аспіраційних повітропроводів повинна бути мінімальною;
- повітря, що видаляється аспіраційними установками, повинно бути компенсовано системами припливної вентиляції;
- пиловловлювачі необхідно встановлювати перед вентиляторами;
- допускається аспірувати обладнання через самопливну трубу або бункер;
- послідовно розташоване обладнання циклічної дії (ваги, змішувачі, дозатори) слід з'єднувати трубами (байпасами) для перетікання повітря.

Необхідна умова ефективної роботи аспіраційних установок - електроблокування шлюзових затворів і вентиляторів з транспортним і технологічним обладнанням. Категорично забороняється експлуатувати технологічні лінії без аспірації обладнання.

Компонування аспіраційних установок в перевантажувальних ділянках підприємств будівельної індустрії проводять з урахуванням ряду принципів:

- технологічності, коли до однієї аспіраційної мережі підключають обладнання однієї технологічної лінії або обладнання декількох ліній, що переробляють однорідні матеріали;
- одноразовості, яка передбачає одночасність завантаження устаткування, що підключається до єдиної аспіраційної мережі;
- експлуатаційної надійності, що включає вимоги скорочення протяжності повітропроводів, безосадного переміщення пилу, простоту в обслуговуванні всіх елементів і вузлів мереж;
- рівного температурного режиму роботи аспіраційного обладнання.

#### **4.5.Приклад компонування і розрахунку аспіраційної систем**

З досліджень формування і руху пило повітряних потоків при завантаженні сипучим матеріалом ємностей[15] відома аеродинамічна схема руху струменю, при якому ежектовані і витиснуті обсяги повітря утворюють

пилоповітряні потоки, які проникають через нещільності укриття в навколишній простір приміщення.

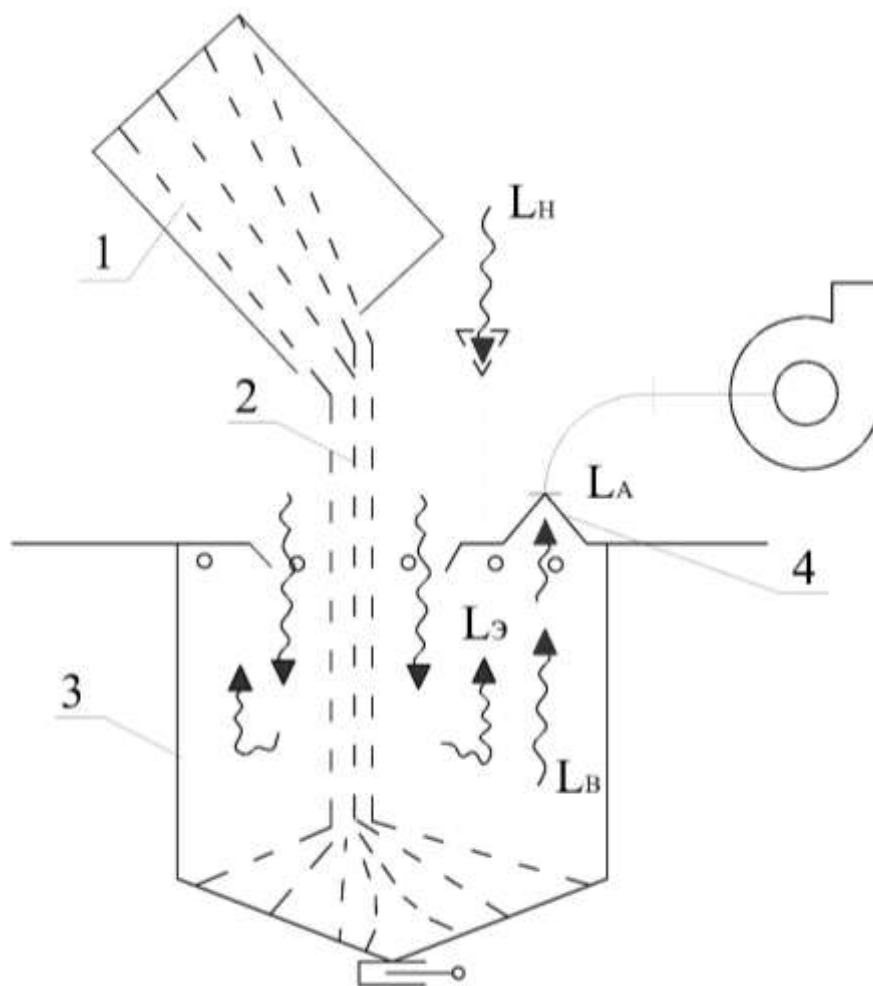


Рис. 4.6. Принципова схема прийому матеріалуз аспірацією. 1 – розвантажувальна ємність; 2 – потік матеріалу; 3 – приймальна ємність; 4 – аспіраційний патрубок

Як відомо, пиловидалення можливе з укриттів обладнання в місцях надлишкового тиску повітря. Встановлено, що статичний тиск повітря змінюється по всьому самопливному трубопроводу і протяжному укриттю (ланцюговому і стрічковому конвеєрам, норіям) при відсмоктуванні з них повітря. Тому шляхом відсмоктування повітря навіть в одній точці можна створити розрідження в обладнанні практично в будь-якій точці герметизованої транспортно-технологічної лінії.

Обсяг повітря, що підлягає відсмоктуванню в аспіраційну мережу ( $L_a$ ), розраховують за умовами балансу надходжень і витрат повітря:

$$L_e + L_n = L_a + L_{yn} + L_{vit}, \quad (4.14)$$

де:  $L_e$  – обсяг ежекційного повітря, що надходить в машину разом з матеріалом;

$L_n$  – обсяг повітря, що надходить через нещільності за рахунок розрідження в машині;

$L_{yn}$  – обсяг повітря, що захоплюється матеріалом з машини по самопливних трубопроводах;

$L_{vit}$  – обсяг повітря, що витісняється матеріалом, що надходить в машину (бункер).

Аналіз формули для розрахунку обсягів аспіраційного повітря показує, що складові обсягів повітря залежать від площі поперечного перерізу, герметичності і протяжності підвідних і відвідних самопливних трубопроводів, величини розрідження в укритті обладнання та ступеня його герметичності, фізико-механічних властивостей перевантажуваних матеріалів і їх масової витрати.

Розрахунки показують, що середні швидкості руху ежекційного повітря в соматичних трубопроводах не перевищують 4...5 м/с, а в укриттях норій і ланцюгових конвеєрів 2...3 м/с. При таких незначних швидкостях аеродинамічний тиск в коробі ланцюгового конвеєра типу ТСЦ-100 (довжиною 50 м) або трубі норії (висотою 40м) становить 20...50 Па. Для практичних розрахунків можна прийняти питомі втрати тиску на переміщення повітря в ланцюгових конвеєрах і норійних трубах рівними 1Па на 1м.

Дані, отримані по ежекційному тиску повітря в соматичних трубопроводах, дозволяють рекомендувати для інженерних розрахунків їх аеродинамічного опору при протитоку повітря і сипучого матеріалу втрати тиску, рівними 50 Па в вертикальних самопливних трубопроводах висотою до 1 м і похилих – до 2 м. З урахуванням прийнятих положень можна принципово

змінити і істотно спростити компоновку аспіраційних мереж підприємств будіндустрії.

Розглянемо принципові аспіраційні транспортно-технологічні системи підприємств будіндустрії. Склад обладнання лінії приймання сипучого матеріалу включає бункер, конвеєр, норію. Пилоповітряні потоки утворюються в основному на таких ділянках: бункер-конвеєр, конвеєр-норія, норія-самопливний трубопровід, самопливний трубопровід-ланцюговий конвеєр. Відповідно до цього в укриттях утворюються зони підвищеного і зниженого тиску повітря.

На рис. 4.7 показана схема підключення до аспіраційної системи обладнання ділянки розвантаження залізничного вагону.

- Відсмоктування повітря можливо здійснювати двома засобами: перший
- підключити до аспіраційної мережі всізони підвищеного тиску: бункер, конвеєр, норію, ланцюговий конвеєр; другий
  - підключити до аспіраційної мережі бункер, черевик і головку норії, конвеєр.

При другому засобі протяжність повітропроводів істотно зменшується, а кількість пилу, що захоплюється аспіраційнимиповітропроводами, знижується, що обумовлює перевагу другого способу.

Для нашого прикладу площа живого перетинуграт над прийомним бункером повинна бути мінімальною. Відкритими повинні бути тільки ті ділянки, через які сипучий матеріал з транспортних засобів надходить в приймальний бункер. Для зменшення площі контакту падаючого потоку матеріалу з повітрям і зменшення обсягу ежекційного повітря слід застосовувати відкидні ущільнювальні щити.

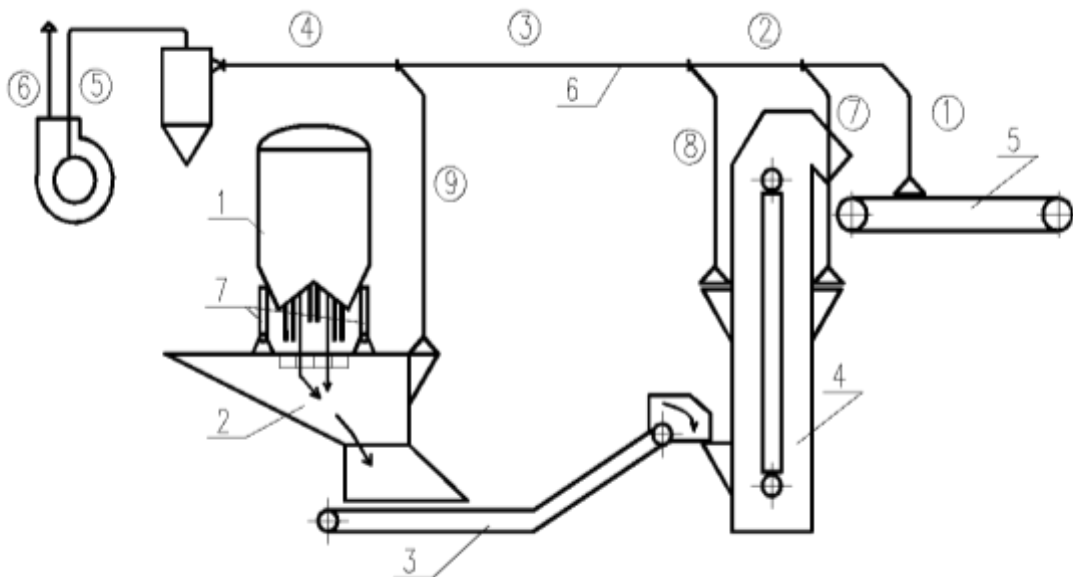


Рис. 4.7. Схема підключення до аспіраційної системи обладнання ділянки розвантаження залізничного вагону: 1 – залізничний вагон; 2 – бункер; 3 – конвеєр; 4 – норія; 5 – ланцюговий конвеєр; 6 – аспіраційна мережа; 7 – ущільнювальні щити. Цифрами в колах вказані номери ділянок аспіраційної системи.

Обсяг аспірованого повітря з приймального бункера визначають за формулою балансу надходжень і витрат повітря:

$$L_{\text{абун}} = L_e + L_n + L_{\text{вит}} = L_e + (v_n \cdot F_n) + (G_m / t) \quad (4.15)$$

При максимальній масовій витраті матеріалу 100 т/год. і висоті падіння 2 м (табл.4.1)  $L_e = 160 \text{ м}^3 / \text{год.}$ ;  $v_n$  – швидкість повітря в отвір, 0.2м/с;  $F_n$  – площа нещільностей приймального бункера,  $3\text{м}^2$ ;  $G_m$  – об’ємна маса матеріалу,  $46\text{м}^3$ ;  $t$  – час розвантаження, 180с. Таким чином отримаємо:

$$L_{\text{абун}} = 160 + ((0,2 \cdot 3) \cdot 3600) + ((46/180) \cdot 3600) = 3240 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Значення обсягів аспірованого повітря з норії НЦ-100 (робоча і холоста труби) і ланцюгового конвеєра ТСЦ-100 отримані з нормативної документації:

$$L_{\text{а нір. роб.}} = 450 \text{ м}^3 / \text{год.}; L_{\text{а нір. хол.}} = 450 \text{ м}^3 / \text{год.}; L_{\text{а цін}} = 420 \text{ м}^3 / \text{год.};$$

Для всієї аспіраційної системи:

$$L_a = 3240 + 450 + 450 + 420 = 4560 \text{ м}^3 / \text{год.};$$

Величина тиску в аспіраційному патрубку приймального бункера з урахуванням ежекційного тиску, створюваного сипучим матеріалом при висоті падіння 2м на насипному лотку, становить:

$$H_{a \text{ бун.}} = 50 + 50 = 100 \text{ Па.}$$

Тиск в кожному з аспіраційних патрубків норії з урахуванням ежекційного тиску в скидальній коробці конвеєра становить:

$$H_{a \text{ нор.}} = 30 + 50 = 80 \text{ Па.}$$

Тиск в аспіраційному патрубку ланцюгового конвеєра з урахуванням ежекційного тиску в похилому самопливі до 2м і розрідження в бункері становить:

$$H_{a \text{ лан.}} = 50 + 50 + 30 = 130 \text{ Па.}$$

Отримавши вихідні дані і скомпонувавши аспіраційну систему, виконаємо аеродинамічний розрахунок системи продуктивністю.

$L_a = 4560 \text{ м}^3 / \text{год.}$ , див.рис. 4.7, яку відображаємо на плані цеху в наступній послідовності.

1. Проводиться нанесення повітропроводів та інших елементів системи аспірації на план приміщення, з подальшим конструюванням просторової (аксонометричної) схеми аспірації.
2. Вибирається магістральний напрям руху повітря. Магістральним вважається найдовший або найбільш навантажений напрямок від вентилятора до початкової точки першої ділянки системи.

3. Розбивається система на ділянки з постійною витратою повітря. Ділянки нумеруються, починаючи з найбільш віддаленої від вентилятора, спочатку по магістралі, а потім по відгалуженням. Визначають довжину ділянок і витрату повітря і вносять ці значення в таблицю 4.3 граfi 2 та 4.
4. Попередньо задаємося швидкістю повітря  $v$ , м/с, на ділянці 1 повітроводу див. табл.4.4, (в залежності від швидкості витання заданого пилу  $v = 10-23$  м/с).

Виходячи з планувальних вимог, приймаємо форму повітроводу і матеріал, з якого він виготовлений (круглий, з оцинкованої сталі). Втрати тиску в ланцюговому конвеєрі, приєднаному до ділянки 1, заносимо в табл.3 першим рядком. Для визначення втрат тиску в ділянці 1 з'єднуємо прямою лінією по номограмі рис. 4.9 точки  $L_{a\text{ цип}} = 420 \text{ м}^3/\text{год.}$  і  $v = 10,5 \text{ м/с}$  на перетині цієї прямої зі шкалою  $D$  знаходимо найближчий менший рекомендований діаметр  $D = 125 \text{ мм}$ , величини  $v = 10,5 \text{ м/с}$ ,  $h_d = 67 \text{ Па}$ ,  $\lambda/D = 0,18$  заносимо в граfi 3, 6, 7, 8.

5. Проводимо підсумовування коефіцієнтів місцевих опорів на ділянці (трійники, відводи. і т.д.) обраних по таблицям 4.5, 4.6. Отриманий результат  $\Sigma \zeta$  записуємо в графу 5.
6. Виконуємо множення,  $(1 \times \lambda / D)$  заповнюємо графу 9, додавання  $(1 \cdot \lambda/D + \Sigma \zeta)$  заповнюємо графу 10. Графу 11 (загальні втрати на ділянці) знаходимо як перемноження величин, записаних в графах 6 і 10. У графу 12 записуємо суму загальних втрат на 1 ділянці і втрат тиску в ланцюговому конвеєрі.

Аналогічно проводимо розрахунки інших магістральних ділянок.

7. Після закінчення розрахунків підсумовуємо отримані величини і отримуємо сумарні втрати тиску в мережі, які служать критерієм для підбору вентилятора.

8. Розрахувавши втрати тиску по магістралі, приступаємо до розрахунку втрат тиску на відгалуженнях. При розрахунку необхідно здійснити ув'язку, розбіжність допускається не більше 10%.

9. Збільшувати втрати тиску в відгалуженнях можна двома способами. Перший спосіб – установка в відгалуженні додаткового місцевого опору (засувки, діафрагми, шайби). Другий спосіб – зменшення діаметру відгалуження.

У розглянутому прикладі слід підвищити опір 7-ї ділянки на величину  $H_c = 237 - 186,7 = 50,3$  Па, а 8-ї на  $H_c = 373 - 187,7 = 185,3$  Па, а 9-го на  $H_c = 460 - 157,8 = 302,2$  Па. На 7 і 8 ділянках це можна здійснити, встановивши додатково місцеві опори, тому діаметр труби вже становить 125 мм. Величину коефіцієнта опору діафрагми, встановленої на ділянці 7, визначаємо за виразом:

$$\zeta_{д7} = H_c / H_{д7} = 50,3 / 74,1 = 0,68 \quad (4.16)$$

З цієї величини на рис. 9 визначаємо глибину занурення діафрагми в повітропровід до його діаметру –  $a/D = 0,36$ , при  $D = 125$  мм  $a = 43,75$  мм.

Аналогічно для ділянок 8 і 9:

$$\zeta_{д8} = H_c / H_{д8} = 185,3 / 74,1 = 2,5$$

по рис. 4.8 визначаємо –  $a/D = 0,53$ , при  $D = 125$  мм  $a = 66,3$  мм;

$$\zeta_{д9} = H_c / H_{д9} = 302,2 / 74,1 = 4,1$$

по рис. 4.9 визначаємо –  $a / D = 0,59$ , при  $D = 315$  мм  $a = 186$  мм;



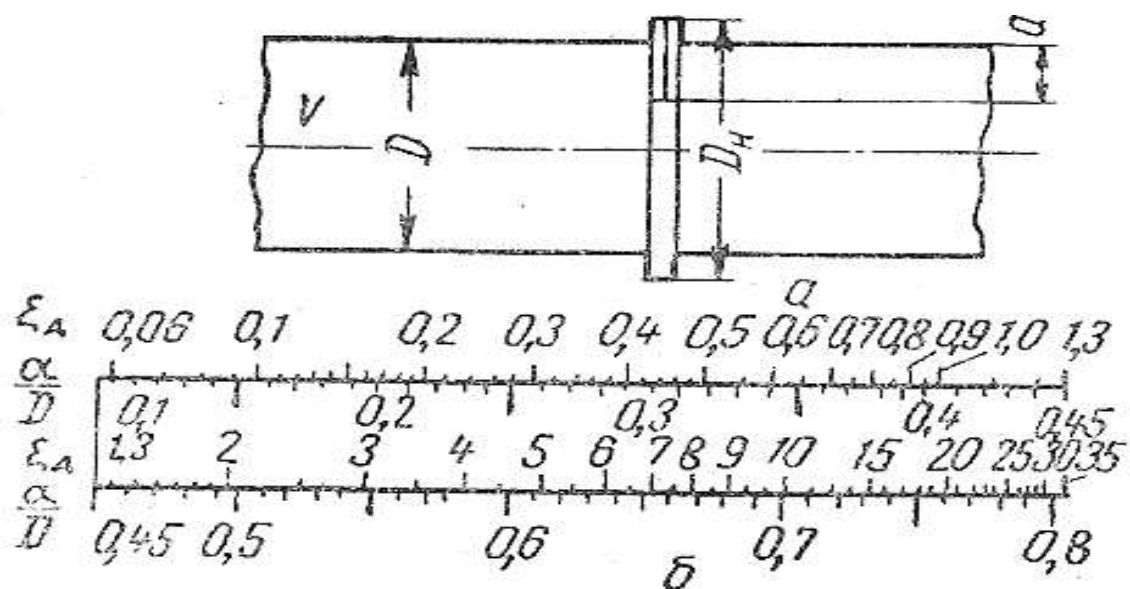


Рис.4.8 Одностороння діафрагма (а) і здвоєна шкала для розрахунку розмірів (б)

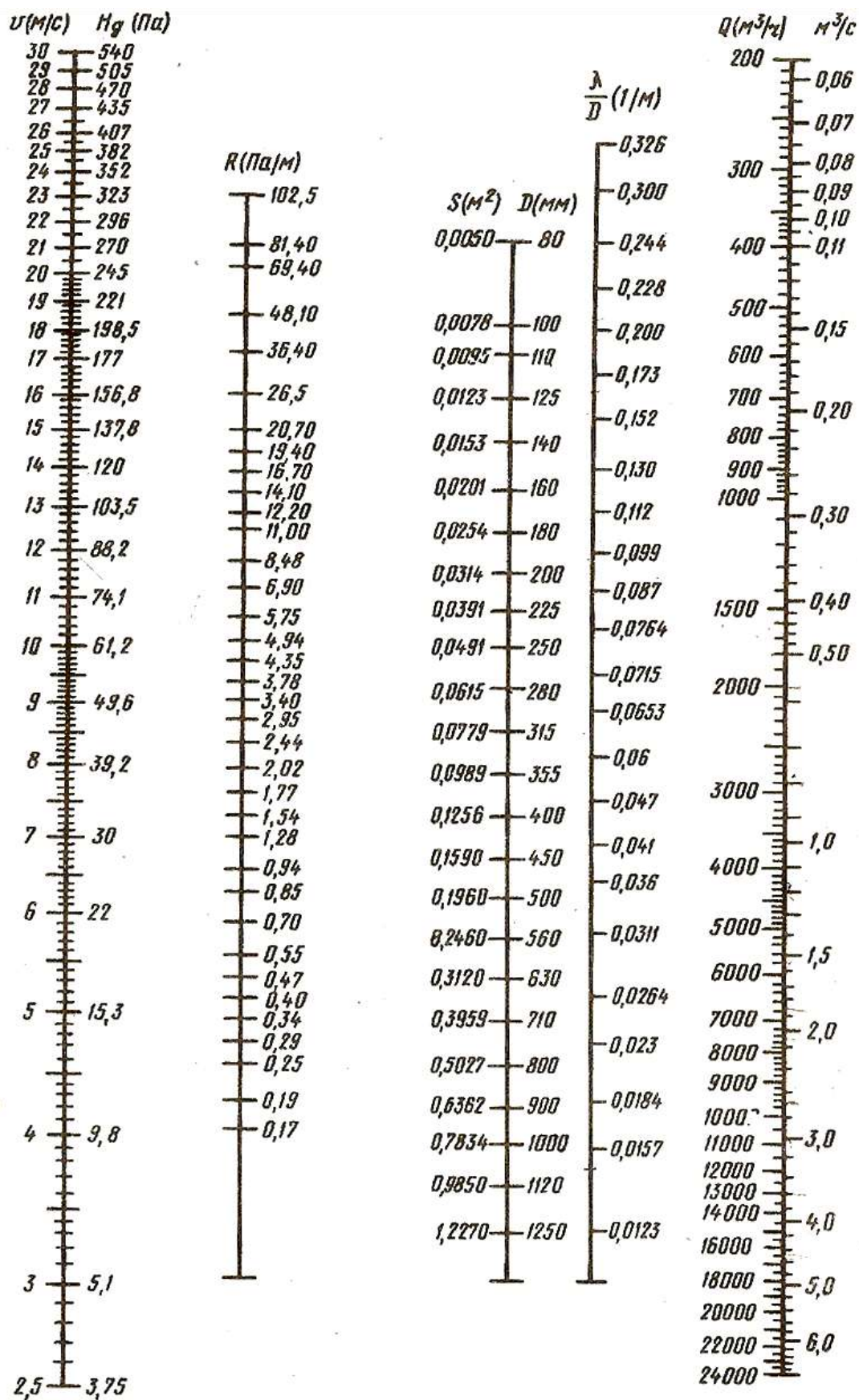


Рис.4.9. Номограма А.В.Панченко для розрахунку повітроводів[11].

Таблиця 4.3. Аеродинамічний розрахунок повітроводів. Магістральні ділянки.

| Номер ділянки і найменування машин | $L \text{ м}^3/\text{с}$ | $v \text{ м/с}$ | $l, \text{ м}$ | $\Sigma \zeta$ | $H_d, \text{ Па}$ | $D, \text{ мм}$ | $\lambda/D$ | $l \cdot \lambda/D$ | $l \cdot \lambda/D + \Sigma \zeta$ | Прир. повного тиску на ділянці, Па | Повний тиск на ділянці, Па |
|------------------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 1                                  | 2                        | 3               | 4              | 5              | 6                 | 7               | 8           | 9                   | 10                                 | 11                                 | 12                         |
| Ланцюг. Конвеєр                    | 0,12                     | -               | -              | -              | -                 | -               | -           | -                   | -                                  | 130                                | 130                        |
| ділянка1                           | 0,12                     | 10,5            | 5              | 0,7            | 67                | 125             | 0,18        | 0,9                 | 1,6                                | 107                                | 237                        |
| ділянка2                           | 0,242                    | 10,5            | 3              | 0,3            | 67                | 180             | 0,12        | 0,36                | 0,69                               | 136                                | 373                        |
| ділянка 3                          | 0,37                     | 11              | 7              | 0,6            | 74,1              | 200             | 0,09        | 0,63                | 1,18                               | 87,4                               | 460,4                      |
| Ділянка4                           | 1,27                     | 11,8            | 7              | 0,1            | 88,2              | 355             | 0,04        | 0,31                | 0,4                                | 34,8                               | 495,2                      |
| ділянка5                           | 1,27                     | 11,8            | 8              | 0,6            | 88,5              | 355             | 0,04        | 0,36                | 0,57                               | 50,5                               | 545,6                      |
| Нагніт. ділянка 6                  | 1,27                     | 11,8            | 7              | 1              | 88,5              | 355             | 0,04        | 0,31                | 1,32                               | 116,4                              | 116,4                      |

| Відгалуження       |       |    |    |      |      |     |      |      |      |       |       |
|--------------------|-------|----|----|------|------|-----|------|------|------|-------|-------|
| Норія              | 0,125 | -  | -  | -    | -    | -   | -    | -    | -    | 80    | 80    |
| ділянка7           | 0,125 | 11 | 7  | 0,23 | 74,1 | 125 | 0,17 | 1,21 | 1,44 | 106,7 | 186,7 |
| Норія              | 0,125 | -  | -  | -    | -    | -   | -    | -    | -    | 80    | 80    |
| ділянка8           | 0,125 | 11 | 7  | 0,2  | 74,1 | 125 | 0,17 | 1,25 | 1,45 | 107,7 | 187,7 |
| Приймальний бункер | 0,9   | -  | -  | -    | -    | -   | -    | -    | -    | 100   | 100   |
| Ділянка 9          | 0,9   | 11 | 10 | 0,18 | 74,1 | 315 | 0,06 | 0,6  | 0,78 | 557,8 | 157,8 |

Таблиця 4.4.Значення величин для проектування систем аспірації і  
пневмотранспорту [5]

| Транспортований матеріал                                            | $\gamma$ , кг/м <sup>3</sup> | Швидкість руху повітря в повітроводах $v$ , м/с |                | Максимальна масова концентрація суміші $\mu$ , кг/кг | Дослідний коефіцієнт $K$ |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------|--------------------------|
|                                                                     |                              | вертикальних                                    | горизонтальних |                                                      |                          |
| Земляний і пісочний пил, зворотна (горіла) земля, формувальна земля | 2600                         | 13                                              | 15             | 0,8                                                  | 0,7                      |
| Земля і пісок вологі                                                | 2800                         | 15                                              | 18             | —                                                    | —                        |
| Глина молота                                                        | 2400                         | 14                                              | 17             | 0,8                                                  | 0,6                      |
| Шамот                                                               | 2200                         | 14                                              | 17             | 0,8                                                  | 0,6                      |
| Пил дрібний мінеральний                                             | —                            | 12                                              | 14             | —                                                    | —                        |
| Пил від матер'яних полірувальних кругів                             | —                            | 10                                              | 12             | —                                                    | —                        |
| Пил вугільний                                                       | 900–1000                     | 14                                              | 15             | 1                                                    | 1                        |
| Пил наждачний мінеральний                                           | 4000                         | 15,5                                            | 19             | —                                                    | —                        |
| Гіпс, тонкомолоте вапно                                             | 1250                         | 10                                              | 11             | —                                                    | —                        |
| Шерсть:                                                             |                              |                                                 |                |                                                      |                          |
| замаслена                                                           | —                            | 18                                              | 19             | —                                                    | —                        |
| незамаслена                                                         | —                            | 19                                              | 20             | —                                                    | —                        |
| штучна                                                              | —                            | 17                                              | 20             | —                                                    | —                        |
| мериносова (замаслена та незамаслена)                               | —                            | 14                                              | 15             | 0,1–0,2                                              | —                        |
| лоскут                                                              | —                            | 16                                              | 18             | —                                                    | —                        |
| розпушений і великі очоси                                           | —                            | 17                                              | 18             | —                                                    | —                        |
| Льон:                                                               |                              |                                                 |                |                                                      |                          |
| коротке волокно                                                     | —                            | 16                                              | 18             | —                                                    | —                        |
| лляна костра                                                        | —                            | 16                                              | 18             | —                                                    | —                        |
| Сноп                                                                | —                            | 18                                              | 20             | 0,5                                                  | —                        |
| Бавовна-сирець, розпушена бавовна, великі вичіски бавовни           | —                            | 17                                              | 18             | 0,5                                                  | —                        |
| Тирса:                                                              |                              |                                                 |                |                                                      |                          |
| чавунна                                                             | 7300                         | 19                                              | 23             | 0,8                                                  | 0,85                     |
| сталев                                                              | 7300                         | 19                                              | 23             | 0,8                                                  | —                        |
| Шлак вугілля з розміром часток 10–15 мм                             | 1600                         | 20                                              | 22             | 1                                                    | 0,5                      |

Таблица 4.5. Коэффициенты местного сопротивления (выложено мовою оригіналу).

### Местные потери давления воздуха

колено

|           |     |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|------|
| $R/D =$   | 0,5 | 0,75 | 1,0  | 1,50 | 2,0  | 3,0  | 4,0  |
| $\zeta =$ | 0,9 | 0,43 | 0,33 | 0,24 | 0,19 | 0,17 | 0,15 |

1

тройник

$$\zeta = 1,4$$

2

заслонка

|           |      |     |     |    |    |     |
|-----------|------|-----|-----|----|----|-----|
| $R/D =$   | 0    | 15  | 30  | 45 | 60 | 75  |
| $\zeta =$ | 0,25 | 0,6 | 3,5 | 17 | 95 | 600 |

3

диффузор

|           |                    |             |            |            |            |              |
|-----------|--------------------|-------------|------------|------------|------------|--------------|
| $A_2/A_1$ | $\alpha = 5^\circ$ | $7,5^\circ$ | $10^\circ$ | $15^\circ$ | $20^\circ$ | $> 30^\circ$ |
| $l = 0,5$ | 0,07               | 0,09        | 0,13       | 0,21       | 0,27       | 0,28         |
|           | 0,33               | 0,11        | 0,16       | 0,22       | 0,36       | 0,48         |
|           | 0,25               | 0,07        | 0,09       | 0,13       | 0,21       | 0,27         |

4

направл. лопатки

□ гладкие  $\zeta = 0,35$   
профилированные  $\zeta = 0,10$

5

конфузор

|             |      |      |      |      |     |
|-------------|------|------|------|------|-----|
| $A_2/A_1 =$ | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 1,0 |
| $\zeta_1 =$ | 0,08 | 0,08 | 0,06 | 0,02 | 0   |

6

разветвление

$$\zeta = 1,4$$

7

резкое расширение

|             |     |     |     |     |     |     |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $A_1/A_2 =$ | 0   | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| $\zeta_1 =$ | 1,0 | 0,7 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 0   |

8

резкое сужение

|             |     |      |     |     |     |     |
|-------------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| $A_2/A_1 =$ | 0   | 0,2  | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| $\zeta_1 =$ | 0,6 | 0,45 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0   |

9

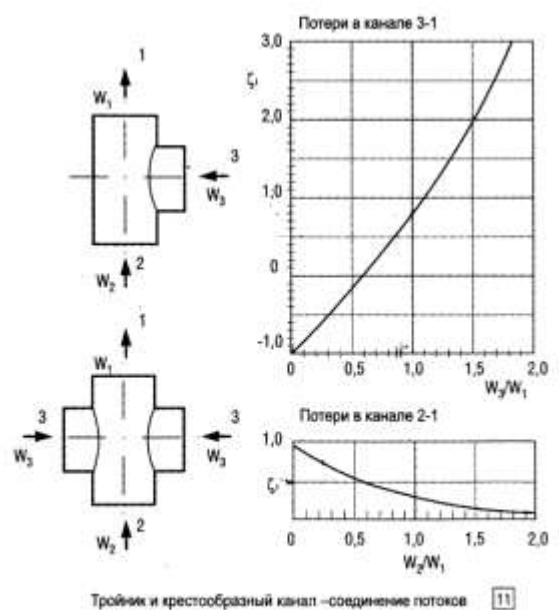
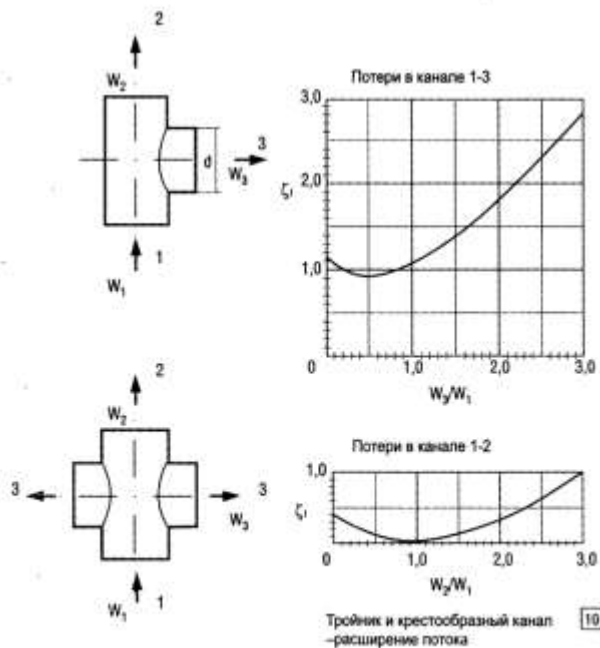
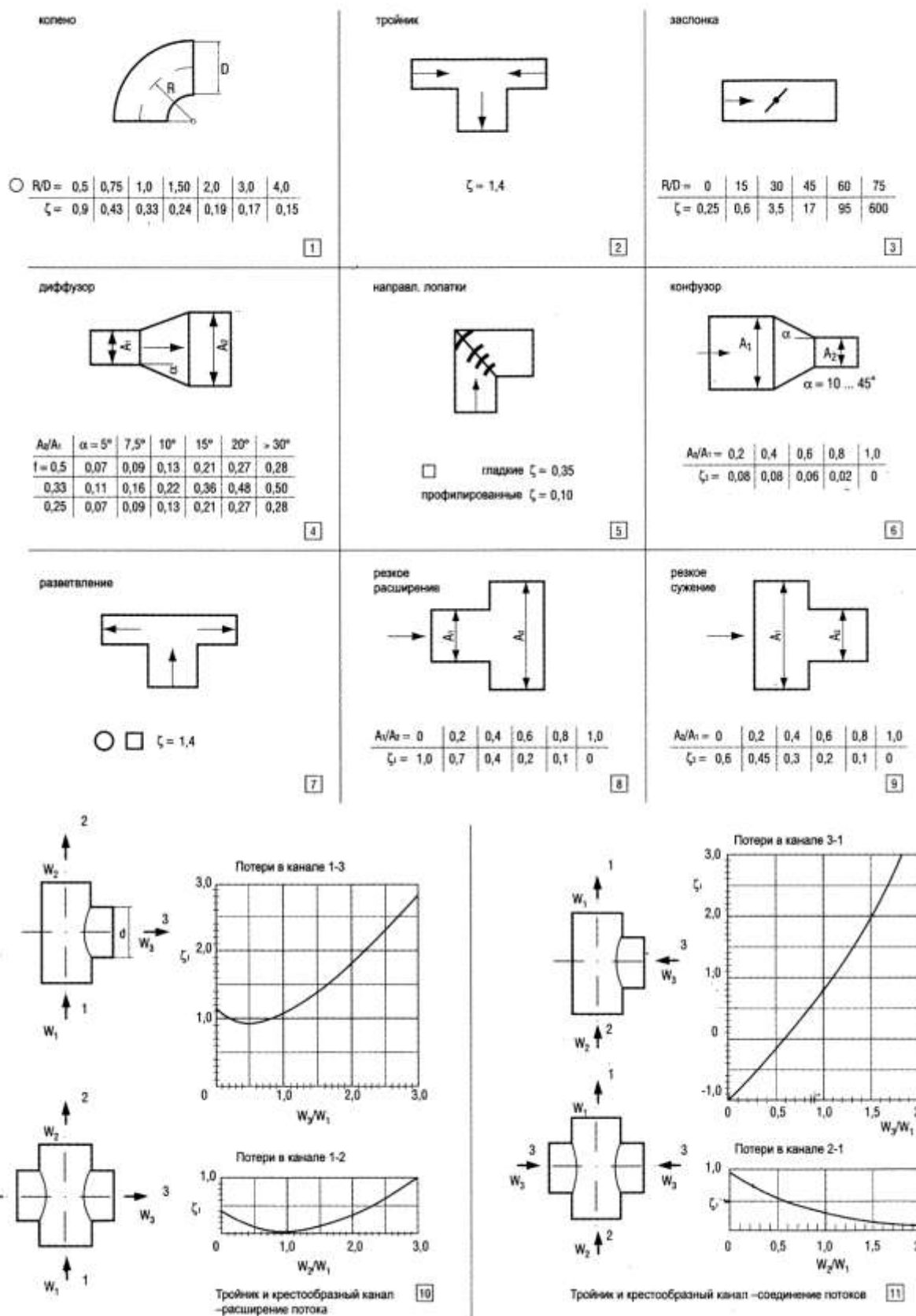


Таблица 4.6 Коефициенты опоры трійників (викладено мовою оригіналу).

### Местные потери давления воздуха



## **5. Розрахунок ефективності циклонного пиловловлювача.**

### **5.1.Обґрунтування вибору циклону**

Циклони є найбільш характерними представниками інерційних пиловловлювачів, які мають просту конструкцію, велику пропускну спроможність, компактність і нескладність в експлуатації. Зважаючи на ці переваги, циклони набули широкого поширення.

У циклоні запилене повітря вводиться тангенціально або спіралью у верхню частину, яка його закручує. Потік обертається і опускається по кільцевому простору, який утворюється циліндровою частиною циклону і вихлопною трубою, в його конічну частину, а потім, продовжуючи обертатися, виходить з циклону через вихлопну трубу. Аеродинамічні сили скривлюють траєкторії часток. Ті з часток, маса яких досить велика, встигають досягти стінок циклону, тобто відділяються від потоку. Під впливом сили тяжіння і захоплюючої дії осевої течії, частки, що відокремилися, опускаються і через пиловипускний отвір проходять в бункер, де осідають [7].

Порівняльні випробування циклонів різного типу для пило- і золоуловлювань показали, що номенклатура апаратів даного типу, що рекомендується, може бути обмежена циліндровими і конічними циклонами НІОГаз. До циліндрових циклонів НІОГаз відносяться апарати ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24. Помітною особливістю цих апаратів є наявність подовженої циліндрової частини корпусу, нахил кришки і вхідного патрубку відповідно під кутом  $11^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $24^{\circ}$ , а так само однакове відношення діаметру вихлопної труби до діаметру циклону. До конічних циклонів НІОГаз відносяться апарати типу СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М. Вони відрізняються подовженою конічною частиною, спіральним вхідним патрубком і відношенням діаметру труби до діаметру циліндрової частини циклону, рівним 0,33 і 0,34 відповідно [7].

У завданні передбачається установка циклонів в одиночного або групового виконання до достоїнств, яких слід віднести невисокий

аеродинамічний опір, і незначні експлуатаційні витрати. При виборі вихідних даних (додаток 1) вказана витрата повітря і тип циклону, тому в розрахунках потрібно визначити діаметр і необхідну до установки кількість циклонів, ефективність їх роботи і аеродинамічний опір.

На рис. 5.1 показано креслення спіральньо-конічного циклону ЦН (НІОГАЗ), а в таблиці. 5.5. співвідношення розмірів в долях діаметру циклону D.

Пилозбірний бункер виконується циліндровим з діаметром  $D_1=1,5D$ . Висота циліндрової частини бункера приймається рівною  $0,8 D_1$ . Конічне днище бункера виконується з кутом нахилу стінок  $60^\circ$ . Діаметр отвору для вивантаження пилу приймається залежно від ємкості бункерів від  $0,2$  до  $0,5 D_1$ . Загальна висота циклону в зборі з бункером складає від  $6$  до  $7 D$  [7].

## 5.2. Визначення діаметру циклону

Діаметр стандартного циклону може вагатися від  $200$  до  $3000$  мм і необхідне його значення визначається розрахунком по заданій витраті повітря. Розрахунок циклону виробляється в наступній послідовності:

Визначаємо щільність газу за робочих умовах  $\rho_t$ ,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho_t = \rho_o (273 \times (P_{\text{бар}} + P_{\text{над}}) / ((273 + t_r) P_{\text{бар}})), \quad (5.1)$$

де  $\rho_o$ — щільність газу за нормальних умов  $1,2 \text{ кг/м}^3$ ;  $t$

$t$  —температура газу,  $^\circ\text{C}$ ;

$P_{\text{бар}}$  — барометричний тиск повітря  $103300 \text{ Па}$ ;

$P_{\text{над}}$  — надлишковий тиск газу перед циклоном  $\text{Па}$ ;

1. Визначаємо витрату газу за робочих умов  $L_t$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ :

$$L_t = (L_o \times \rho_o) / \rho_t, \quad (5.2)$$



де  $L_0$  - витрата газу за нормальних умов  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

2. Розраховують необхідну площу перетину циклонів  $F$ ,  $\text{м}^2$ ;

$$F = L_t / w_{\text{опт}}, (5.3)$$

де  $w_{\text{опт}}$  – оптимальна швидкість газу в циклоні,  $\text{м}/\text{с}$ ;

3. Визначаємо діаметр циклону, задаючись кількістю циклонів  $N$ :

$$D = \sqrt{F / (0,785 \times W \times N)}, (5.4)$$

Приймаємо найближчий нормований діаметр циклону і визначаємо дійсну швидкість газу:

$$W = L / (0,785 \times D^2 \times N), (5.5)$$

Якщо при розрахунку отримано діаметр циклону більше 1,0 м, то необхідно підібрати два чи більше циклонів по еквівалентній площі перетину циліндричної частини. При підборі діаметра циклону дійсна швидкість не повинна відрізнятись від оптимальної більше 15%.

Коефіцієнт опору циклона визначаємо по формулі:

$$\zeta_{\text{ц}} = K_1 \times K_2 \times \zeta_{500} + K_3, (5.6)$$

де  $K_1$  – поправочний коефіцієнт на діаметр циклона, для циклонів серії СК

$K_1 = 1$  [4];

$K_2$  – поправочний коефіцієнт враховуючий запиленість газів;

$K_3$  – поправочний коефіцієнт враховуючий додаткові витрати тиску пов'язані з груповою компоновкою;

$\zeta_{500}$  – коефіцієнт гідравлічного опору циклона діаметром 500 мм;

Значення коефіцієнтів  $K_2$  та  $\zeta_{500}$  для циклонів приймаються по таблицям 5.1, 5.2. Коефіцієнт  $K_3$  при розрахунках групи циклонів приймають 60, а для одного циклону  $K_3 = 0$  [4];

Таблиця 5.1. Поправочний коефіцієнт K2

| Тип циклону | Поправочний коефіцієнт K2 |      |       |      |       |
|-------------|---------------------------|------|-------|------|-------|
|             | Запиленість, мл / м³      |      |       |      |       |
|             | 0                         | 10   | 20    | 40   | 80    |
| СКД-ЦН-33   | 1                         | 0,81 | 0,785 | 0,78 | 0,77  |
| СК-ЦН-34    | 1                         | 0,98 | 0,947 | 0,93 | 0,915 |
| СК-ЦН-34М   | 1                         | 0,99 | 0,97  | 0,95 | 0,93  |

Таблиця 5.2.Значення коефіцієнтів гідравлічного опору циклонів  $\zeta_{500}$  (D=500мм; W=3 м/с

| Тип циклону | Без допоміжних пристроїв        |                                   |
|-------------|---------------------------------|-----------------------------------|
|             | $\zeta_{500}$ – робота в мережі | $\zeta_{500}$ – робота без мережі |
| СКД-ЦН-33   | 520                             | 600                               |
| СК-ЦН-34    | 1050                            | 1150                              |
| СК-ЦН-34М   | 1800                            | 2000                              |

1. Розраховуємо гідравлічний опір циклону по формулі:

$$P = \zeta ((\rho_t W^2) / 2) , \quad (5.7)$$

2. Визначаємо розмір часток  $d_{50}$  зловлених циклоном за робочих умов з рівняння:

$$d_{50} = d_{t50} * \sqrt{(D / D_t) * (\rho_{сч} / \rho_{ч}) * (\mu / \mu_t) * (w_t / w)} , (5.8)$$

де  $D_t$ ,  $\rho_{сч}$ ,  $\mu_t$ ,  $w_t$ —величини, відповідні умовам, за яких отримана  $d_{t50} = 4.5$  мкм,

$D_t = 0.5$  м,  $\rho_{сч} = 1930$  кг/м³,  $\mu_t = 23 \cdot 10^{-6}$ ,  $w_t = 3,0$  м/с.

$D$ ,  $\rho_{ч}$ ,  $w$ ,  $\mu$ — величини, відповідні дійсним умовам роботи циклона.

3. Характеристичний параметр часток пилу, зловлених циклоном , визначаємо по формулі:

$$X = \frac{\lg \frac{d_m}{d_{50}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma + \lg \sigma^2}} , (5.9)$$

4. По величині X знаходять значення нормальної функції розподілу  $\Phi(X)$ , Представляючи собою повний коефіцієнт очистки виражений в долях по таблиці 5.3 [4];

5. Ступінь очистки повітря від пилов циклоні визначається по формулі:

$$\eta = 50 * [1 + \Phi(X)], \quad (5.10)$$

6. При визначені ступеню очистки повітря від пилу в циклоні, кількість уловленого пилу визначається по формулі:

$$\Delta M = M_1 - M_2, \quad (5.11)$$

Де  $M_1$ ,  $M_2$ -маси пилу в повітрі до і після установки циклону (г/с) визначаються по формулам 5.12 і 5.13

$$M_1 = L_t \times C_{vx}, \quad (5.12)$$

$$M_2 = M_1 \times \eta \quad (5.13)$$

Таблиця 5.3.Залежність динамічної в'язкості повітря від температури повітря

|                                           |      |      |      |     |
|-------------------------------------------|------|------|------|-----|
| Температура повітря $t, ^\circ \text{C}$  | 0    | 20   | 50   | 100 |
| $\mu, 10^{-6}, \text{Па} \times \text{с}$ | 17,2 | 18,2 | 19,4 | 22  |

### 5.3. Приклад розрахунку циклону

Необхідно розрахувати циклон для наступних умов:  $L=2 \text{ м}^3/\text{с}$ ; температура газу  $t_r= 90 \text{ }^\circ\text{C}$ ; тип циклону– СКД-ЦН-33; оптимальна швидкість газу в циклоні  $w_{\text{опт}}=2,0 \text{ м/с}$ ; концентрація газів  $C_{vx} = 20 \text{ мл/м}^3$ ; щільність газу за нормальних умов  $\rho_o = 1,2 \text{ кг/м}^3$ ; тиск газу перед циклоном  $P_{\text{бар}}=100 \text{ Па}$ .

#### РОЗВ'ЯЗАННЯ

1.Визначаємо щільність газу за робочих умов по формулі:

$$\begin{aligned} \rho_t &= \rho_o (273 \times (P_{\text{бар}} + P_{\text{над}}) / ((273 + t_r) P_{\text{бар}}) = \\ &= 1,2 \times (273 \times (103300 + 100)) / ((273 + 90) 103300) = 0,88 \text{ кг/м}^3 \end{aligned} \quad (5.1)$$

2. Визначаємо витрату газу за робочих умов по формулі:

$$L_t = (L_o \times \rho_o) / \rho_t = (2 \times 1.2) / 0.88 = 2.73 \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.2)$$

3. Розраховуємо необхідну площу перетину циклонів F по формулі:

$$F = L_t / w_{\text{опт}} = 2.73 / 2.0 = 1.37 \text{ м}^2 \quad (5.3)$$

4. Визначаємо діаметр циклону, задаючись кількістю циклонів N=1 по формулі:

$$D = \sqrt{F / (0.785 \times W \times N)} = \sqrt{1.37 / (0.785 \times 2.0 \times 10)} = 0.95 \text{ м} \quad (5.4)$$

Приймаємо найближчий нормований діаметр циклону, в нашому випадку D=1.0 м. Визначаємо дійсну швидкість газу в циклоні по формулі:

$$W = L / (0.785 \times D^2 \times N) = 2 / (0.785 \times 1 \times 1) = 2.5 \text{ м/с} \quad (5.5)$$

швидкість не відрізняється від оптимальної більше ніж на 15%.

5. Коефіцієнт опору циклону визначаємо по формулі:

$$\zeta_{\text{ц}} = K_1 \times K_2 \times \zeta_{500} + K_3 = 1 \times 0.92 \times 600 + 0 = 552 \quad (5.6)$$

6. Розраховуємо гідравлічний опір циклона по формулі (5.7):

$$P = \zeta ((\rho_t \times W^2) / 2) = 552 / ((0.88 \times 2.5^2) / 2) = 1579.3 \quad (5.7)$$

7. Визначаємо розмір часток d<sub>50</sub> зловлених циклоном за робочих умов з рівняння:

$$\begin{aligned} d_{50} &= d_{T50} \times \sqrt{(D / D_t) \times (\rho_{\text{ч}} / \rho_{\text{ч}}) \times (\mu / \mu_t) \times (w_t / w)} = \\ &= 2.31 \times \sqrt{(0.95 / 1) \times (1930 / 1800) \times (17 \times 10^{-6} / 23 \times 10^{-6}) \times (3.5 / 2.0)} = 2.67 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (5.8)$$

8. Визначаємо характеристичний параметр часток пилу, зловлених циклоном:

$$X = \frac{\lg \frac{d_m}{d_{50}}}{\sqrt{\lg^2 \sigma + \lg \sigma^2}} = \lg(12 / 2/67) / \sqrt{(\lg 8)^2 + (364)^2} = 0,64 \quad (5.9)$$

9. По величині  $X = 0,64$  знаходимо значення нормальної функції розподілу  $\Phi(X) = 0,7389$ , по таблиці 5.4 [4].

10. Ступінь очистки повітря від пилу в циклоні визначається по формулі:

$$\eta = 50 \times [1 + \Phi(X)] = 50 \times [1 + 0,7389] = 86,95\% \quad (5.10)$$

11. При визначеній ступені очистки повітря від пилу в циклоні, кількість уловленого пилу визначається формулами:

$$M_1 = L_t \times C_{\text{вх}} = 2.73 \times 20 = 54,60 \text{ г/с} \quad (5.11)$$

$$M_2 = M_1 \times \eta = 54,6 \times 0,8695 = 47,48 \text{ г/с} \quad (5.12)$$

$$\Delta M = M_1 - M_2 = 54,6 - 47,48 = 7,12 \text{ г/с} \quad (5.13)$$

Висновок.

1. Обрано циклон типу СКД-ЦН-33 діаметром  $D=1\text{ м}$  висотою  $H=3735\text{ мм}$ .

2. Визначено коефіцієнт опору  $\zeta_{\text{ц}} = 552$ ; і гідравлічні втрати тиску в ньому  $P=1579,33 \text{ Па}$ .

3. Ефективність пиловловлення циклону складе  $\eta = 86,95\%$ .

4. Кількість вхідного пилу становить  $M_1=54,60 \text{ м/с}$ , до  $M_2=47,48 \text{ м/с}$ , викидається в навколишнє середовище  $\Delta M = 7,12 \text{ м/с}$ .

Таблиця 5.4. Значення нормальної функції розподілу

| X     | $\Phi(X)$ | X     | $\Phi(X)$ | X    | $\Phi(X)$ | X    | $\Phi(X)$ |
|-------|-----------|-------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| -2.7  | 0,0035    | -1,06 | 0,1448    | 0    | 0,5       | 1,08 | 0,8599    |
| -2.6  | 0,0047    | -1,04 | 0,1487    | 0,02 | 0,508     | 1,1  | 0,8643    |
| -2.5  | 0,0062    | -1,02 | 0,1539    | 0,04 | 0,516     | 1,12 | 0,8686    |
| -2,4  | 0,0082    | -1    | 0,1587    | 0,06 | 0,5239    | 1,14 | 0,8729    |
| -2,3  | 0,0107    | -0,98 | 0,1635    | 0,08 | 0,5318    | 1,16 | 0,877     |
| -2,2  | 0,0139    | -0,96 | 0,1685    | 0,1  | 0,5397    | 1,18 | 0,881     |
| -2,1  | 0,0179    | -0,94 | 0,1735    | 0,12 | 0,5476    | 1,2  | 0,8849    |
| -2    | 0,0228    | -0,92 | 0,1779    | 0,14 | 0,5555    | 1,22 | 0,8888    |
| -1,98 | 0,0239    | -0,9  | 0,1841    | 0,16 | 0,5634    | 1,24 | 0,8926    |
| -1,96 | 0,025     | -0,88 | 0,1894    | 0,18 | 0,5713    | 1,26 | 0,8962    |
| -1,94 | 0,0262    | -0,86 | 0,1949    | 0,2  | 0,5793    | 1,28 | 0,8997    |
| -1,92 | 0,0274    | -0,84 | 0,2005    | 0,22 | 0,5871    | 1,3  | 0,9032    |
| -1,9  | 0,0288    | -0,82 | 0,2061    | 0,24 | 0,595     | 1,32 | 0,9068    |
| -1,88 | 0,0301    | -0,8  | 0,2118    | 0,26 | 0,6029    | 1,34 | 0,9099    |
| -1,86 | 0,0314    | -0,78 | 0,2177    | 0,28 | 0,6108    | 1,36 | 0,9131    |
| -1,84 | 0,0329    | -0,76 | 0,2236    | 0,3  | 0,6187    | 1,38 | 0,9162    |
| -1,82 | 0,0344    | -0,74 | 0,2297    | 0,32 | 0,6286    | 1,4  | 0,9192    |
| -1,8  | 0,0359    | -0,72 | 0,2358    | 0,34 | 0,6345    | 1,42 | 0,9222    |
| -1,78 | 0,0375    | -0,7  | 0,242     | 0,36 | 0,6424    | 1,44 | 0,9251    |
| -1,76 | 0,0382    | -0,68 | 0,2483    | 0,38 | 0,6498    | 1,46 | 0,9279    |
| -1,74 | 0,0409    | -0,66 | 0,2646    | 0,4  | 0,6572    | 1,48 | 0,9306    |
| -1,72 | 0,0427    | -0,64 | 0,2611    | 0,42 | 0,6628    | 1,5  | 0,9332    |
| -1,7  | 0,0446    | -0,62 | 0,2676    | 0,44 | 0,6646    | 1,52 | 0,9357    |
| -1,68 | 0,0465    | -0,6  | 0,2743    | 0,46 | 0,6702    | 1,54 | 0,9388    |
| -1,66 | 0,0485    | -0,58 | 0,281     | 0,48 | 0,6844    | 1,56 | 0,9406    |
| -1,64 | 0,0505    | -0,56 | 0,2877    | 0,5  | 0,6915    | 1,58 | 0,9429    |
| -1,62 | 0,0526    | -0,54 | 0,2948    | 0,52 | 0,6986    | 1,6  | 0,9452    |
| -1,6  | 0,0548    | -0,52 | 0,3015    | 0,54 | 0,7057    | 1,62 | 0,9474    |
| -1,58 | 0,0571    | -0,5  | 0,3085    | 0,56 | 0,7123    | 1,64 | 0,9495    |
| -1,56 | 0,0594    | -0,48 | 0,3156    | 0,58 | 0,719     | 1,66 | 0,9515    |
| -1,54 | 0,0618    | -0,46 | 0,3228    | 0,6  | 0,7257    | 1,68 | 0,9536    |
| -1,52 | 0,0643    | -0,44 | 0,33      | 0,62 | 0,7324    | 1,7  | 0,9554    |
| -1,5  | 0,0668    | -0,42 | 0,3372    | 0,64 | 0,7389    | 1,72 | 0,9573    |
| -1,48 | 0,0694    | -0,4  | 0,3446    | 0,66 | 0,7454    | 1,74 | 0,9591    |
| -1,46 | 0,0721    | -0,38 | 0,352     | 0,68 | 0,7517    | 1,76 | 0,9608    |
| -1,44 | 0,0749    | -0,36 | 0,3559    | 0,7  | 0,758     | 1,78 | 0,9625    |
| -1,42 | 0,0778    | -0,34 | 0,3689    | 0,72 | 0,7842    | 1,8  | 0,9641    |
| -1,4  | 0,0808    | -0,32 | 0,3749    | 0,74 | 0,7703    | 1,82 | 0,9656    |
| -1,38 | 0,0838    | -0,3  | 0,3821    | 0,76 | 0,7764    | 1,84 | 0,9671    |
| -1,36 | 0,0869    | -0,28 | 0,3897    | 0,78 | 0,7823    | 1,86 | 0,9686    |

|       |        |       |        |      |         |      |        |
|-------|--------|-------|--------|------|---------|------|--------|
| -1,34 | 0,0901 | -0,26 | 0,3971 | 0,8  | 0,7881  | 1,88 | 0,9999 |
| -1,32 | 0,0934 | -0,24 | 0,4052 | 0,82 | 0,7939  | 1,9  | 0,9713 |
| -1,3  | 0,0968 | -0,22 | 0,4129 | 0,84 | 0,7996  | 1,92 | 0,9726 |
| -1,28 | 0,1003 | -0,2  | 0,4207 | 0,86 | 0,8051  | 1,94 | 0,9738 |
| -1,26 | 0,1038 | -0,18 | 0,4286 | 0,88 | 0,8108  | 1,96 | 0,975  |
| -1,24 | 0,1075 | -0,16 | 0,4364 | 0,9  | 0,8159  | 1,98 | 0,9761 |
| -1,22 | 0,1112 | -0,14 | 0,4443 | 0,92 | 0,8212  | 2    | 0,9772 |
| -1,2  | 0,1151 | -0,12 | 0,4522 | 0,94 | 0,82543 | 2,1  | 0,9821 |
| -1,18 | 0,1192 | -0,1  | 0,4602 | 0,96 | 0,8315  | 2,2  | 0,9861 |
| -1,16 | 0,123  | -0,08 | 0,4661 | 0,98 | 0,8365  | 2,3  | 0,9893 |
| -1,14 | 0,1271 | -0,06 | 0,4761 | 1    | 0,8413  | 2,4  | 0,9918 |
| -1,12 | 0,1314 | -0,04 | 0,484  | 1,02 | 0,8461  | 2,5  | 0,9938 |
| -1,1  | 0,1357 | -0,02 | 0,4921 | 1,04 | 0,8508  | 2,6  | 0,9963 |
| -1,08 | 0,1401 | 0     | 0,5    | 1,06 | 0,8554  | 2,7  | 0,9965 |

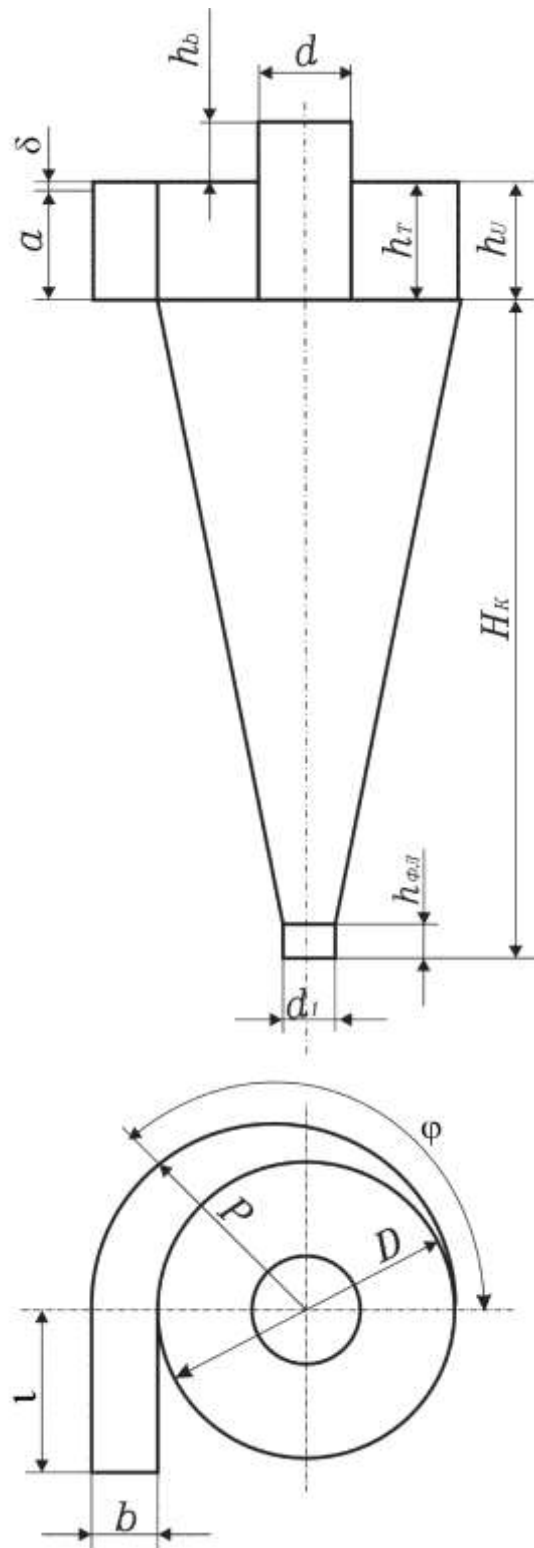


Рис. 5.1. Спірально-конічний циклон ЦН



Таблиця 5.5. Основні розміри конічних циклонів НІІОГаза (В частках діаметра d циліндричної частини циклону)

| Розміри                                                        | СК-ЦН-33      | СК-ЦН-34      | СК-ЦН-34М     |
|----------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Внутрішній діаметр циліндричної частини <b>D</b>               | 1             | 1             | 1             |
| Висота вхідного патрубку <b>a</b>                              | 0,535         | 0,2 - 0,3     | 0,4           |
| Висота циліндричної частини <b>H<sub>ц</sub></b>               | 0,535         | 0,515         | 0,4           |
| Висота конічній частині <b>H<sub>к</sub></b>                   | 3             | 2,11          | 2,6           |
| Висота зовнішньої частини вихлопної труби <b>h<sub>в</sub></b> | 0,2 - 0,3     | 0,515         | 0,3           |
| Висота всього циклону <b>H<sub>заг.</sub></b>                  | 3,735-3,785   | 3,14          | 3,5           |
| Внутрішній діаметр:<br>Вихлопної труби <b>D<sub>вих</sub></b>  | 0,334         | 0,34          | 0,22          |
| Пиловипусного отвору <b>D<sub>вип</sub></b>                    | 0,334         | 0,229         | 0,18          |
| Ширина вхідного патрубку <b>b</b>                              | 0,264         | 0,214         | 0,18          |
| Поточний радіус равлики <b>p</b>                               | $D/2+bf/2\pi$ | $D/2+bf/2\pi$ | $D/2+bf/2\pi$ |

## 6. Розрахунок ефективності тканинних фільтрів

Принцип роботи тканинних фільтрів заснований на інерційному і дифузійному осадженні частинок пилу.

В залежності від призначення і допустимого пилового навантаження сучасні фільтри умовно поділяються на повітряні і промислові.

Повітряні фільтри призначені для знепилювання атмосферного повітря в системах припливної вентиляції й кондиціонування, а промислові (тканинні, грубоволокнисті та ін.) фільтри застосовуються для очищення виходячих промислових газів.

### 6.1 Класифікація тканинних фільтрів

За конструктивно-технологічними ознаками тканинні фільтри розрізняють:

- за формою фільтрувальних елементів (рукавні, кишенькові, плоскі і ін.);
- за місцем розташування вентилятора щодо фільтра (ті що працюють під розрядженням, ті що працюють під тиском);

- за способом регенерації тканин (механічне струшування, механічне струшування зі зворотної продувкою, з імпульсною продувкою та ін.)
- за наявності і по формі корпусу для розміщення фільтрів (прямокутні, циліндричні, безкамерні та ін.)
- за видом тканини (сукно, нітрон, лавсан, скловолокно та ін.) [9].

Найбільше поширення серед тканинних фільтрів отримали рукавні фільтри. Рукавні фільтри по способу введення очищувального повітря в рукав підрозділяють на протиточні (з введенням повітря знизу – через контейнер для збору до пилу) і прямоточні (з введенням повітря зверху). Ефективність роботи фільтра у великій мірі залежить від конструкції і виконання вузлів кріплення фільтрувального елемента до корпусу фільтра. Пропуск навіть незначної кількості неочищеного газу у вузлах кріплення різко знижує ефективність фільтра [10]. На рис 6.1. показане креслення фільтра-циклону типу РЦІ, а в таблиці 6.7 технічні характеристики фільтра-циклону типу РЦІ.

## **6.2 Розрахунок рукавного фільтра**

При виборі типу і розрахунку тканинного фільтра враховуються наступні основні фактори: допускається опір фільтра; задається величина вихідної концентрації; розмір установки; необхідна площа; місце розташування; необхідне допоміжне обладнання очищення газів перед фільтрами; місце встановлення вентилятора і вимоги до нього; кліматичні умови в яких відбувається експлуатація фільтра; потреба у воді, парі і стиснутому повітрі та їх параметри; наявність контрольно-вимірювальних приладів, засобів автоматики і сигналізації; виконання санітарних норм при обслуговуванні установки, її ремонті і демонтажі; стан майданчика для обслуговування; можливість проведення технологічного ремонту при аварійній зупинці фільтра; заходи з техніки безпеки; капітальні та експлуатаційні витрати.

Для розрахунку площі фільтрації тканинного фільтру необхідно визначити загальні витрати запилених газів, що надходять на тканину (з

урахуванням підсмоктувань на шляху від джерела пиловиділення до фільтрувальної тканини), і витрати продувальних газів. Крім того, треба знати навантаження по газу (швидкість фільтрації), яку приймають по досвіду експлуатації в залежності від застосовуваної тканини [8]. Загальна площа фільтрації установки визначається за формулою:

$$F = V / 60 * q, (6.1)$$

де  $V$ - об'єм газу, що надходить на очищення  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$q$  - питоме газове навантаження при фільтрації  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$  за формулою:

$$q = q_n \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5, (6.2)$$

де  $q_n$ — нормативне газове навантаження, що залежить від виду пилу, визначається за таблицею 6.1.

$C_1$ — коефіцієнт, що враховує особливість регенерації фільтрувальних елементів визначається за таблицею 6.2.

$C_2$ — коефіцієнт, що враховує вплив концентрації пилу  $C_{\text{вх}}$   $\text{г}/\text{м}^3$ , на питоме газове навантаження  $q_n$  визначається за таблицею 6.3.

$C_3$  — коефіцієнт, що враховує вплив дисперсного составу пилу в газі визначається за таблицею 6.4.

$C_4$  — коефіцієнт, що враховує вплив температури очищуваного газу  $T_{\text{вх}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$  визначається за таблицею 6.5

$C_5$  — коефіцієнт, що враховує вимоги до якості очищення газу, залежить від вихідної концентрації пилу в газі  $C_{\text{вих,мл}}/\text{м}^3$ , визначається за таблицею 6.6.

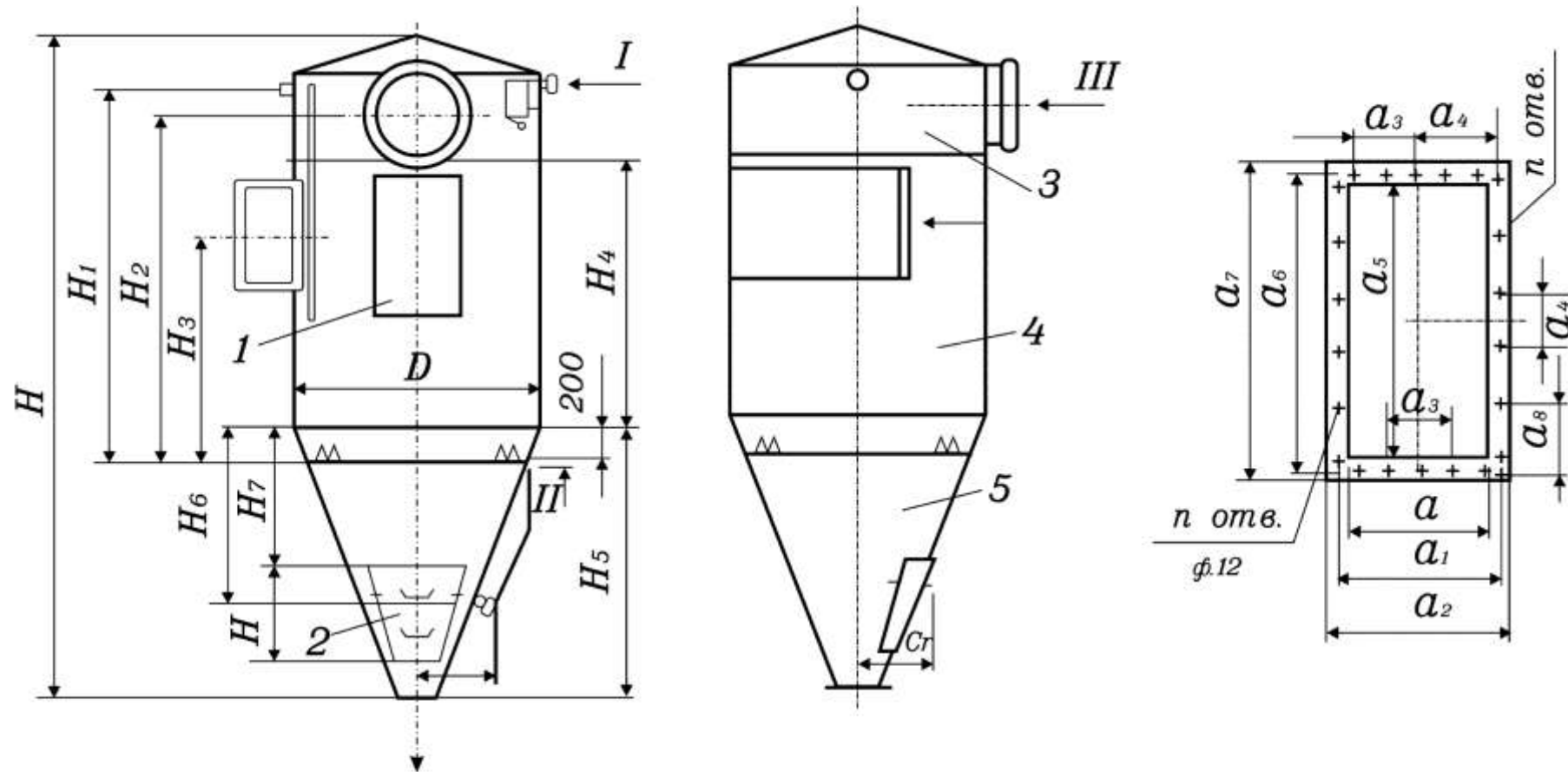


Рис. 6.1 - Фільтр циклон типу РЦІ

1. Двері; 2. Люк; 3. Камера чистого повітря; 4. Корпус; 5. Днище

Таблиця 6.1.Значення питомого газового навантаження  $q_n$ .

| Значення $q_{нм^3/(м^2 \cdot хв)}$ |                   |                    |                |                    |
|------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| 8                                  | 7.5               | 7                  | 6              | 5                  |
| Борошно                            | Азбест            | Цемент             | Летуча зола    | Технічний вуглець  |
| Тирса                              | Сіль              | Гума               | Смоли сухі     | Активоване вугілля |
| Тютюн                              | Цукор пісок       | барвники           | Миючі речовини | Миючі речовини     |
| Елеваторний пил                    | Кальцинована сода | Пил гірських порід | Оксиди металів | Сухе молоко        |

Таблиця 6.2.Значення коефіцієнту  $C_1$ 

| Спосіб регенерації                | $C_1$ |
|-----------------------------------|-------|
| Імпульсна продувка                | 1     |
| Зворотнє продування і струшування | 0,85  |
| Зворотнє продування               | 0,7   |

Таблиця 6.3.Значення коефіцієнта  $C_2$ 

| $C_{вх} \text{ г/м}^3$ , | $C_2$ | $C_{вх} \text{ г/м}^3$ , | $C_2$ |
|--------------------------|-------|--------------------------|-------|
| 1                        | 1,12  | 20                       | 0,95  |
| 2                        | 1,1   | 40                       | 0,9   |
| 6                        | 1,04  | 60                       | 0,88  |
| 8                        | 1,02  | 80                       | 0,86  |
| 10                       | 1     | 100                      | 0,83  |

Таблиця 6.4. Значення коефіцієнта Сз

| Медіанний розмір часток d <sub>ч</sub> , мкм | Сз  | Медіанний розмір часток d <sub>ч</sub> , мкм | Сз  |
|----------------------------------------------|-----|----------------------------------------------|-----|
| Більше 100                                   | 1,4 | 3-10                                         | 0,9 |
| 50-100                                       | 1,1 | Менше 3                                      | 0,7 |
| 10-50                                        | 1   |                                              |     |

Таблиця 6.5. Значення коефіцієнта С4

| T <sub>вх</sub> , С° | 20 | 40  | 60   | 80   | 100  | 120  | 140  | 160 |
|----------------------|----|-----|------|------|------|------|------|-----|
| С4                   | 1  | 0,9 | 0,84 | 0,78 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,7 |

Таблиця 6.6. Значення коефіцієнту С5

| Вміст пилу після очищення С <sub>вих</sub> , мл/м³ | С5   |
|----------------------------------------------------|------|
| 30                                                 | 1    |
| 20                                                 | 0,98 |
| 10                                                 | 0,95 |

Гідравлічний опір фільтру визначається за формулою:

$$P_{\phi} = P_k + P_{\pi}, \quad (6.3)$$

де  $P_k$ — гідравлічний опір корпусу апарату, Па;

$P_{\pi}$ — гідравлічний опір фільтрувальної перегородки, Па;

Гідравлічний опір корпусу апарату  $P_k$  визначається за формулою:

$$P_k = \zeta_k ((\rho_{\Gamma} \times w_{\Gamma}^2) / 2), \quad (6.4)$$

де  $\zeta_k$ — коефіцієнт гідравлічного опору корпусу апарату приймається 2.5 [4].

$\rho_{\Gamma}$ — щільність очищуваних газів кг/м³;

$w_{\Gamma}$ — швидкість газів у вхідному патрубку, що визначається за формулою:

$$w_{\Gamma} = V_{\pi} / F_{\text{вх}}, \quad (6.5)$$

де  $F_{\text{вх}}$ — площа перетину вхідного патрубку, м², що визначається з таблиці 6.7.

Таблиця 6.7. Технічні характеристики фільтр-циклонів РЦІ [4].

| Типорозмір  | Фільтр.<br>повер.,<br>м <sup>2</sup> | Число<br>рукавів | Висота,<br>м | Діаметр,<br>м | Площа<br>вх.,<br>F вх., м <sup>2</sup> |
|-------------|--------------------------------------|------------------|--------------|---------------|----------------------------------------|
| РЦІ-1,7-4   | 1,7                                  | 4                | 2,518        | 0,508         | 0,011                                  |
| РЦІ- 5,2-8  | 5,2                                  | 8                | 3,36         | 0,785         | 0,036                                  |
| РЦІ-6,9-16  | 6,9                                  | 16               | 3,295        | 1,008         | 0,087                                  |
| РЦІ-10,4-16 | 10,4                                 | 16               | 3,895        | 1,008         | 0,087                                  |
| РЦІ-15,6-24 | 15,6                                 | 24               | 4,1          | 1,148         | 0,135                                  |
| РЦІ-23,4-36 | 23,4                                 | 36               | 4,412        | 1,348         | 0,201                                  |
| РЦІ-32,1-48 | 32,1                                 | 48               | 4,675        | 1,508         | 0,270                                  |
| РЦІ-40,8-48 | 40,8                                 | 48               | 5,257        | 1,508         | 0,270                                  |

Гідравлічний опір перегородки  $R_p$ , що фільтрує,  $P_a$  обчислюється за формулою:

$$P_p = K_1 \times \mu \times w_\phi + K_2 \times \mu \times \tau \times C_{вх} \times w_\phi^2, \quad (6.6)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт характеризує опір перегородки, що фільтрує, приймається за таблицею 6.8;

$K_2$  – коефіцієнт визначається залежно від медіанного діаметру часток по таблиці 6.8;

$\mu$  – динамічна в'язкість газів, Па\*с;

$\tau$  – тривалість циклу фільтрування, що приймається по таблиці 6.8;

$C_{вх}$  – вхідна концентрація пилу в газах що очищаються, г/м<sup>3</sup>;

$w_\phi$  – швидкість фільтрування, м/с визначається по формулі:

$$w_\phi = V / (3600 * F), \quad (6.7)$$

Таблиця 6.8. Значення коефіцієнтів  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $\tau$ 

| $D_\phi$ , мкм | $K_1$             | $K_2$            | $\tau$ , с |
|----------------|-------------------|------------------|------------|
| 20             | $1100 \cdot 10^6$ | $6,5 \cdot 10^9$ | 10         |
| 10             | $1500 \cdot 10^6$ | $16 \cdot 10^9$  | 20         |
| 3              | $2200 \cdot 10^6$ | $80 \cdot 10^9$  | 60         |
| 2              | $2400 \cdot 10^6$ | $100 \cdot 10^9$ | 90         |

Ефективність очищення газу  $\eta$  %, в рукавному фільтрі визначається по формулі:

$$\eta = ((C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}) / C_{\text{вх}}) \times 100, (6.8)$$

### 6.3. Система імпульсного продування стислим повітрям рукавів фільтру

При роботі фільтру РЦИ (див.рис. 6.2) у циліндричний корпус 1 фільтру з тангенціально розташованим вхідним патрубком (9) поступає запилене повітря. Пройшовши через тканину рукавів усередину, очищене від пилу повітря виходить з рукавів в осьовому напрямі через труби Вентури (5) у верхню камеру 3 очищене повітря і далі відсмоктується з фільтру через вихідний патрубок (10).

Для очищення (продування) рукавів від осівшого на їх зовнішній поверхні пилу в кожен рукав по черзі з камери через сопло 6 подається потік стисненого повітря (від компресора 14 через ресивер 18). Пил, виділений із забрудненого повітря, збирається в конічному днищі і шлюзовим затвором виводиться з фільтру. Опорний каркас, вбудований всередині кожного рукава 2, перешкоджає опадання при всмоктуванні запиленого повітря в рукави. Тиск стисненого повітря 45 кПа. Тривалість імпульсів продування рукавів 0,1...2,0 (оптимально 0,5 с). Інтервал між імпульсами продування 1...25 с (оптимально 10 с). Запиленість повітря на вході в фільтр допускається не більше 15 г/м, а на виході – не більше 2 мг/м. Підсмоктування повітря становить 5 %.

Число рукавів циліндричної частини фільтру може бути від 4 до 72. Рукави зверху відкриті, внизу – заглушені.

Переваги фільтрів:

- відсутність механічних рухомих деталей;
- високий ступінь очищення повітря (залишкова запиленість - 2,0 мг/м);
- високе повітряне навантаження на тканину (до 8 м/(м × хв.));
- значно менша займана площа порівняно з фільтрами іншого типу.



#### **6.4. Система автоматичного контролю роботи фільтрів**

Фільтри з пристроєм продування оснащуються системою автоматичного контролю і регулювання ступеня їх запиленості (див. рис. 6.3) [14]. До складу технічних засобів автоматизації комплексу входять наступні елементи.

1. Вимірювач запиленості FW 56 (датчик) призначений для контролю за станом пилоочисного обладнання. Працює за принципом виміру пропускання світла і є точною оптичною системою. Вимірювана фізична величина – коефіцієнт пропускання. Прилад може бути налаштований на висновок значень коефіцієнта пропускання, непрозорості, оптичної щільності або масової концентрації ( $\text{мг/м}^3$ ). Вимірювання в одиницях масової концентрації можливо тільки після проведення частин приладу гравіметричним методом. Калібровані коефіцієнти вводяться за допомогою програми параметризації MIRA розташованої в персональному комп'ютері оператора (рис. 6.3).

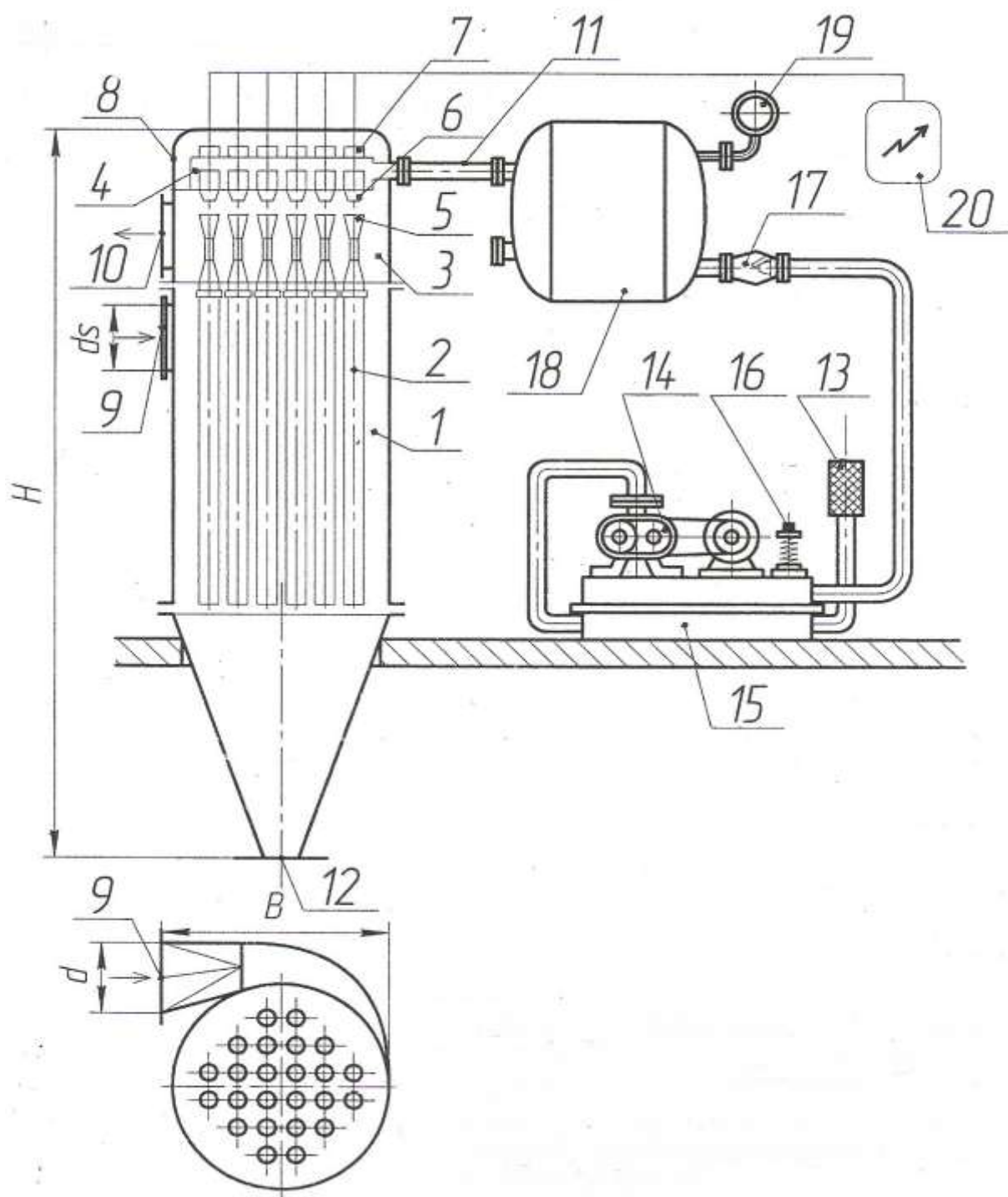


Рис.6.2 Фільтр РЦІ з пристроєм для імпульсного продування: 1- корпус, 2- рукави, 3- верхня камера, 4 - розподільча камера, 5 - насадки Вентурі, 6 - сопла, 7 - електромагнітні клапани, 8 - кришка клапанів, 9 - вхідний патрубок, 10 - вихідний патрубок, 11 - подача стисненого повітря, 12 - вивантаження пилу, 13 - повітряний фільтр, 14 - компресор, 15 - підстава, 16 - запобіжний клапан, 17 - вентиль, 18 - ресивер, 19 - манометр, 20 – апаратура управління



Рис. 6.3 Система автоматичного контролю фільтра РЦІ (викладено мовою оригіналу).

2. Контролер регулятор продування. На контролер, що працює за введеною оператором програмою, надходить інформація від датчика запиленості FW 56. У випадку, коли в рукаві фільтра рівень запиленості наближається до гранично допустимого, контролер посилає командний сигнал на електромагнітні клапани (позиція 7 рис.6.2), які починають відкриватися і здійснювати продування стисненим повітрям рукавів фільтра (позиція 2 рис.6.2). Сучасні системи регулювання продувки можуть функціонувати за кількома принципами, наприклад, в пам'яті контролера встановлюється програма – таймер (лічильник часу), що здійснює відкриття клапанів кожні 10...15 секунд, в залежності від продуктивності фільтра.

Інший принцип управління полягає в тому, що на фільтр монтується датчик запиленості і, якщо рівень пилу в рукавах фільтра перевищує допустиме значення, то сигнал від датчика через контролер надходить на персональний комп'ютер оператора і на екрані комп'ютера з'явиться відповідне повідомлення. Оператор, побачивши дане повідомлення, може сам дистанційно включити продувальну систему або, якщо вона не ефективно працює, викликати аварійну бригаду.

Останнім часом для автоматичного очищення фільтри оснащуються електричними вібраторами, розташованими на корпусі фільтра. При закупорці рукавів пилом, вібратори включаються по команді контролера або дистанційно оператором і починають створювати коливання корпусу фільтра з метою його очищення.

Режими роботи вібратора, рівень запиленості рукавів фільтру, а також значення тиску на компресорі та інші важливі параметри відображаються на екрані комп'ютера оператора технологічного процесу. Тим самим, це дозволяє ефективно контролювати роботу всього обладнання і збільшити надійність всієї системи очистки.

### 6.5 Приклад розрахунку рукавного фільтра

Вихідні дані. Витрата очищуваних газів  $V=7200 \text{ м}^3/\text{год.}$ ; температура газів  $t=60^\circ\text{C}$ ; концентрація пилу в очищуваних газах  $C_{\text{ТЗ}}=1,0\text{г}/\text{м}^3$ ; щільність пилу  $\rho=2,6 \cdot 10 \text{ кг}/\text{м}^3$ ; медіанний діаметр частинок пилу  $d_{\text{ч}}=10\text{мкм}$ .

Вимоги до очищеного газу: вміст пилу  $C_{\text{вих}} = 10 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

Розв'язання.

1. За таблицями 6.1...6.6 визначаємо значення нормативного газового навантаження  $q_n=7 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$ , коефіцієнти  $C_1=1$ ;  $C_2=1,12$ ;  $C_3=0,9$ ;  $C_4=0,84$ ;  $C_5=0,95$ , згідно заданих початкових даних.

2. Знаходимо питоме газове навантаження за формулою 6.2:

$$q = q_n \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5 = 7 \times 1 \times 1,12 \cdot 0,9 \cdot 0,84 \cdot 0,95 = 5,63 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$$

3. Розраховуємо фільтрувальну площу рукавів за формулою 6.1:

$$F_{\text{ф}} = V/60 \cdot q = 7200/60 \cdot 5,63 = 21,32 \text{ м}^2$$

4. Приймаємо для наведених умов фільтр РЦІ-23,4-36. Гідравлічний опір фільтра обчислюються за формулами 6.4...6.7;

5. Знаходимо гідравлічний опір перегородки. Для цього спочатку по таблиці 6.8 знаходимо значення  $K_1 = 1500 \cdot 10^6 \text{ м}$ ;  $K_2 = 16 \cdot 10^9 \text{ м/кг}$ ;  $\mu = 20 \cdot 10 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;  $\tau = 20 \text{ с}$ .

За формулою 6.7 знаходимо:

$$w_{\phi} = V / (3600 \cdot F_{\phi}) = 7200 / (3600 \cdot 21.32) = 0.09 \text{ м/с}.$$

Підставляючи ці значення у формулу 6.6, отримаємо:

$$\begin{aligned} P_{\pi} &= K_1 \cdot \mu \cdot w_{\phi} + K_2 \cdot \mu \cdot \tau \cdot C_{\text{вх}} \cdot w_{\phi}^2 = \\ &= 1500 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 0,09 + 16 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 0,09^2 = \\ &= 2700 + 51,8 = 2751,8 \text{ Па} \end{aligned}$$

6. Визначаємо швидкість потоку у вхідному патрубку за співвідношення 6.5:

$$w_{\pi} = V_{\pi} / F_{\text{вх}} = 2 / 0,201 = 9,95 \text{ м/с},$$

де  $F_{\text{вх}} = 0,201 \text{ м}^2$  з табл. 6.7

7. Гідравлічний опір корпусу апарату визначаємо за формулою 6.4

$$P_{\kappa} = \zeta_{\kappa} \cdot (\rho_{\Gamma} \times w_{\pi}^2 / 2) = 2,5 \cdot (1,15 \cdot 9,95^2 / 2) = 142,3 \text{ Па}.$$

8. Загальний гідравлічний опір рукавного фільтра отримуємо за формулою 6.3:

$$P_{\phi} = P_{\pi} + P_{\kappa} = 2751,8 + 142,3 = 2894,1 \text{ Па}.$$

9. Ефективність пиловловлення визначаємо за формулою 6.8:

$$\eta = ((C_{\text{вх}} - C_{\text{вих}}) / C_{\text{вх}}) \cdot 100 = ((1000 - 10) / 1000) \cdot 100 = 99\%.$$

10. Кількість вхідного пилу розраховуємо за формулами 5.11...5.13:

$$M_1 = V \cdot C_{\text{вх}} = 2 \cdot 10 = 20 \text{ г/с},$$

$$M_2 = M_1 \cdot \eta = 20 \cdot 0,99 = 19,8 \text{ г/с},$$

$$\Delta M = M_1 - M_2 = 20 - 19,8 = 0,2 \text{ г/с}.$$

### Висновок

1. Підібрано рукавний фільтр РЦІ-23,4-36, площа поверхні фільтрації  $F = 23,4 \text{ м}^2$ ;
2. Гідравлічний опір фільтру  $P_{\text{ф}} = 2894,1 \text{ Па}$ ;
3. Ступінь очищення фільтру  $\eta = 99\%$ ;
4. Кількість вхідного пилу становить  $M_1 = 20 \text{ м/с}$ , до  $M_2 = 19,8 \text{ м/с}$ , пилу, що викидається в навколишнє середовище  $\Delta M = 0,2 \text{ м/с}$ .

## 7. Вибір обладнання аспіраційних систем.

Підбір вентилятора аспіраційної системи здійснюється за тиском  $P_{\text{в}}$ , отриманим у результаті аеродинамічного розрахунку системи аспірації, підбору циклону або фільтру, а також по витраті повітря  $L$  яка дорівнює сумі обсягів повітря, необхідних для аспірації всього обладнання і присосучерез нещільності. Вимоги до встановлюваного вентилятора можна виразити формулою:

$$P_{\text{в}} = P_{\text{вак}} + P_{\text{п}}, (7.1)$$

де  $P_{\text{в}}$  – необхідний тиск вентилятора, Па;

$P_{\text{вак}}$ — сумарний опір аспіраційної мережі по магістральному напрямку, Па;

$P_{\text{п}}$ — гідравлічний опір пиловідділювача, Па;

$$L = L_0 + L, (7.2)$$

де  $L$  – необхідна витрата повітря, м<sup>3</sup>/год.;

$L_0$ — сумарна витрата повітря від обладнання, м<sup>3</sup>/год.;

$L_{\text{пр}}$ — присос повітря через нещільності устаткування, становить  $0,11 \times L_0$ , м<sup>3</sup>/год.;

У розглянутому прикладі:

$$P_{\text{в}} = 270,8 + 2894,1 = 3164,9 \text{ Па};$$

$$L = 7200 + (7200 \times 0,11) = 7992 \text{ , м}^3/\text{год.};$$

По таблиці 7.2 вибираємо вентилятор ВРП 5,0 продуктивністю  $L = 7992$ , м<sup>3</sup>/год., тиском  $P_{\text{в}} = 3165$  Па, потужність електродвигуна  $N = 18,5$  кВт, частота обертання  $n = 3000$  об/хв.

Таблиця 7.2. Вентилятори пилові ВЦП 5-45, ВРП

| Типорозмір<br>вентилятора | Потужність,<br>кВт | Частота<br>обертання<br>вала, об/хв. | Продуктивність,<br>тис. м <sup>3</sup> /год. | Повний<br>тиск, Па |
|---------------------------|--------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------|
| ВРП-2,5                   | 0,75               | 3000                                 | 1,1                                          | 1200               |
|                           | 1,1                | 3000                                 | 1,5                                          | 1500               |
| ВРП-3,15                  | 1,5                | 3000                                 | 1,0-1,6                                      | 1620-1500          |
|                           | 2,2                | 3000                                 | 1,65                                         | 1700               |
|                           | 3,0                | 3000                                 | 2,2                                          | 1800               |
| ВРП-4,0                   | 3,0                | 1500                                 | 1,15-2,3                                     | 650                |
|                           | 4,0                | 1500                                 | 1,15-2,3                                     | 650                |
|                           | 4,0                | 3000                                 | 3,1                                          | 2800               |
|                           | 5,5                | 3000                                 | 4,25                                         | 2900               |
| ВРП-5,0                   | 2,2                | 1500                                 | 2,3-4,5                                      | 1000-720           |
|                           | 3,0                | 1500                                 | 2,3-4,5                                      | 1000-720           |
|                           | 18,5               | 3000                                 | 4,5-9,0                                      | 4100-2900          |
|                           | 7,5                | 3000                                 | 3,3-6,7                                      | 2200-1550          |
|                           | 11,0               | 3000                                 | 3,7-7,6                                      | 2800-2000          |

|         |      |      |           |           |
|---------|------|------|-----------|-----------|
|         | 18,5 | 3000 | 4,5-9,0   | 4100-2900 |
| ВРП-6,3 | 5,5  | 1500 | 4,5-9,2   | 1600-1150 |
|         | 7,5  | 1500 | 4,5-9,2   | 1600-1150 |
|         | 11,0 | 1500 | 5,2-10,5  | 220-1550  |
|         | 15,0 | 1500 | 5,5-11,4  | 2500-1750 |
|         | 30,0 | 3000 | 6,6-13,7  | 3700-2600 |
| ВРП-8,0 | 7,5  | 1000 | 6,2-12,5  | 1150-830  |
|         | 15,0 | 1500 | 12,2      | 2400      |
|         | 18,5 | 1500 | 13,9      | 2500      |
|         | 22,0 | 1500 | 9,3-17,0  | 2600-2000 |
|         | 30,0 | 1500 | 9,3-18,5  | 2600-1900 |
|         | 11,0 | 1500 | 7,0-14,0  | 1500-1100 |
|         | 15,0 | 1500 | 8,0-16,0  | 1900-1350 |
|         | 18,5 | 1500 | 8,5-17,0  | 2300-1700 |
|         | 30,0 | 1500 | 9,8-20,0  | 2900-2150 |
|         | 37,0 | 1500 | 10,5-22,0 | 3450-2450 |
|         | 45,0 | 1500 | 11,0-23,0 | 3800-2700 |

Таблиця 7.3 - Габаритні розміри вентилятора ВРП.

| <b>Типорозмір<br/>вентилятора</b> | <b>Н<sub>max</sub></b> | <b>Н<sub>1</sub></b> | <b>А</b> | <b>В</b> | <b>Л<sub>max</sub></b> | <b>Л<sub>1</sub></b> | <b>К<sub>1</sub></b> | <b>К<sub>2</sub></b> |
|-----------------------------------|------------------------|----------------------|----------|----------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| ВРП-3.15.1                        | 540                    | 210                  | 162      | 490      | 428                    | 92                   | 115                  | 190                  |
| ВРП-4.1                           | 663                    | 277                  | 174      | 619      | 551                    | 127                  | 150                  | 237                  |
| ВРП-5.1                           | 782                    | 320                  | 213      | 760      | 590                    | 140                  | 190                  | 307                  |
| ВРП-6,3.1                         | 994                    | 394                  | 315      | 960      | 700                    | 170                  | 230                  | 378                  |



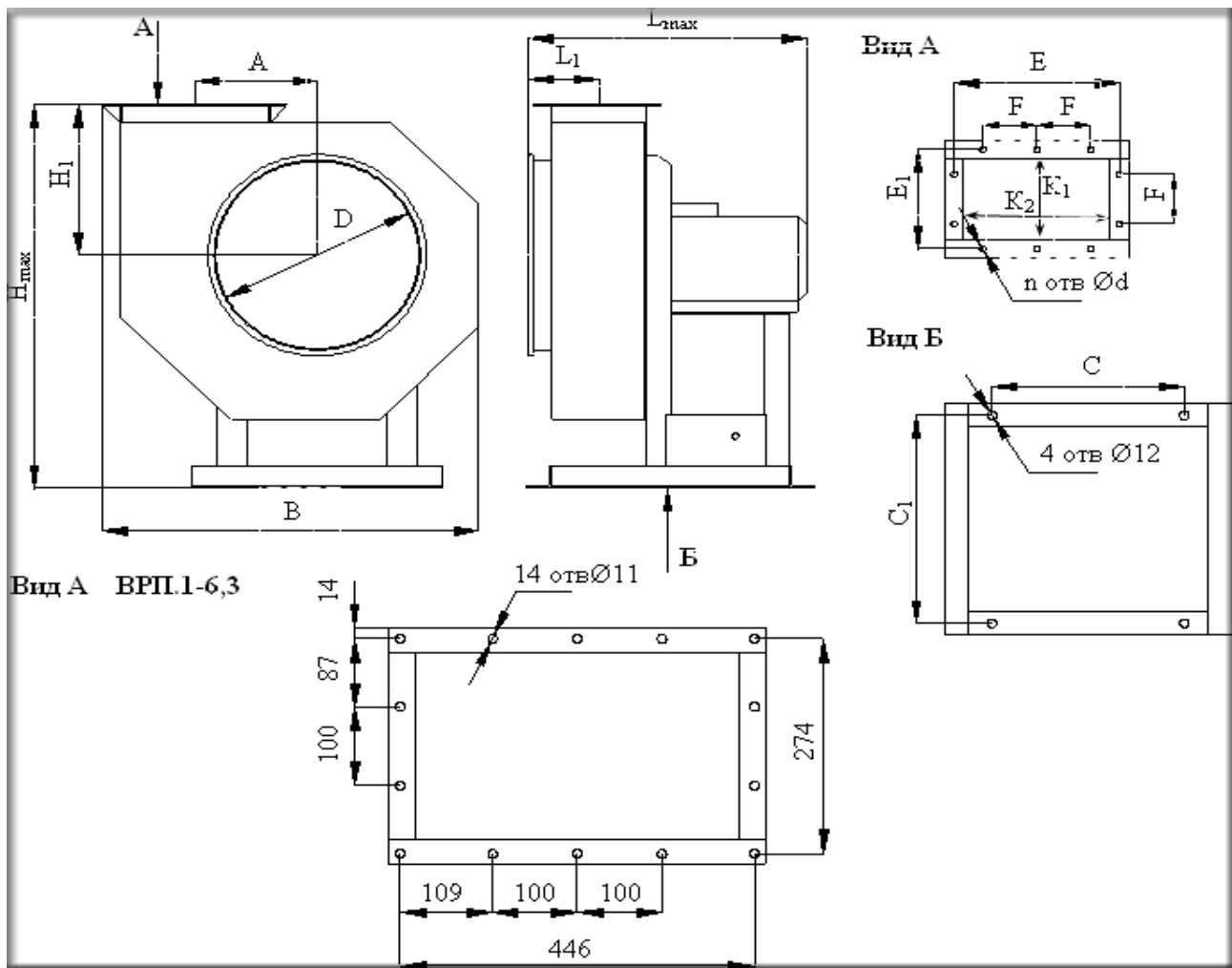


Рис. 7.3.Вентилятор ВРП.

## 8. Розрахунок відведеного збитку при впровадженні пилоочисного обладнання

Відведений збиток отримано за рахунок зниження забруднення атмосферного повітря, при впровадженні пилоочисного обладнання від кожного організованого джерела викидів шкідливих речовин в атмосферу, за кожним елементом обчислюється згідно методики [10] за формулою:

$$Y = Y_1 - Y_2 = \gamma \times \sigma \times f \times \Delta M = 2,4 \times 8 \times 0,4 \times 149,7 = 1149,7 = 1149,7 \text{ тис. грн./рік} \quad (8.1)$$

де  $\gamma$  – константа, чисельне значення якої для атмосфери рівне 2,4 грн./ум.т [10];

$\sigma=8$  –безрозмірний показник відносної небезпечності забруднення, що залежить від функціонального призначення забрудненої території див. табл.8.1;

Таблиця 8.1. Значення відносної небезпечності забруднення атмосферного повітря над територіями різного функціонального призначення

| Функціональне призначення забрудненої території                                                                 | Значення $\sigma$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Території курортів, природних зон відпочинку, населені пункти з середньою щільністю населення понад 50 чол./га  | 8                 |
| Території промислових підприємств, промвузлів, населені пункти з середньою щільністю населення нижче 50 чол./га | 4                 |
| Території лісів і сільськогосподарських угідь                                                                   | 0,4               |

Показник щільності населення визначається як відношення чисельності населення даного пункту до його площі.

$f$ – коефіцієнт, що враховує характер розсіювання викидів забруднюючих, що залежить від висоти джерела і середньорічного значення різниці температур в гирлі джерела і в навколишньому середовищі див. табл.8.2;

Таблиця 8.2. Значення коефіцієнту  $f$  в залежності від висоти джерела забруднення і середньорічного значення різниці температур в гирлі джерела і в навколишньому середовищі

| $\Delta T, ^\circ C$ | Висота джерела – Н, м |        |         |            |
|----------------------|-----------------------|--------|---------|------------|
|                      | До 20                 | 20-100 | 101-300 | Більше 300 |
| 25...50              | 0,9                   | 0,6    | 0,3     | 0,2        |
|                      | 3,7                   | 2,8    | 1,8     | 1,4        |
| 50...150             | 0,8                   | 0,4    | 0,2     | 0,1        |
|                      | 3,5                   | 2,4    | 1,4     | 1,1        |
| Більше 150           | 0,7                   | 0,4    | 0,1     | 0,1        |
|                      | 3,3                   | 2,2    | 1,2     | 0,9        |

При викиді пилу після очищення з коефіцієнтом уловлювання понад 90% приймаються значення, що стоять у чисельнику; при викиді пилу з коефіцієнтом уловлювання 70-90% приймаються значення стоять у знаменнику; при коефіцієнті уловлювання менше 70% коефіцієнт  $f=10$ .

У нашому випадку  $H=15$ м, температура очищуваних газів  $t = 60^\circ C$ ,  $t_c = 18^\circ C$  – визначається з довідника кліматології [10] для м.Одеси, тоді:

$$\Delta T = t - t_c = 60 - 18 = 42^\circ\text{C},$$

з таблиці 8.2 знаходимо коефіцієнт  $f = 0,9$ .

$\Delta M$  – річна маса до видалення пилу тон/рік, визначається перерахунком з секундних мас за формулою:

$$\Delta M = 3600 \times M \times \tau \times n \times 1/10^6 = 3600 \times 19,8 \times 7 \times 300/10 = 7,56 \times 19,8 = 149,7 \text{ т/рік};$$

де: 1 година = 3600, секунд в годині;

$M = 19,8 \text{ м/с}$  – маса пилу з установки рукавного фільтра;

$\tau = 7 \text{ год./добу}$  – 1 зміна на добу;

$n = 300 \text{ діб}$  – кількість робочих днів у році ;

$10^6$  – кількість грамів на 1 тону.

Висновок. Таким чином при впровадженні рукавного фільтра РЦІ-23,4-26 відведений збиток від зниження забруднення повітряного басейну пилом становить  $Y = 1149,7 \text{ тис. грн./рік}$ .

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.5.-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування – Видання офіційне - Київ:Мінрегіон України 2013р.
2. ДСТУ Б Е N 13779:2011 Вентиляція громадських будівель. Вимоги до виконання систем вентиляції та кондиціонування повітря. (EN13779:2007, IDT: Мінрегіон України 2012р..
3. ДСТУ-Н Б В.1.1.-27:2-10 Будівельна кліматологія: Мінрегіонбуд України 2010р.
4. ДБН В.2.6.-31:2016: Теплова ізоляція будівель: Мінбуд України 2017р.
5. ДСТУ Б А.2.4-41: 2009 Опалення, вентиляція і кондиціонування повітря. Робочі креслення, Київ, Мінрегіонбуд України, 2009 – 32с.
6. Рябов А.В. Вентиляція виробничих приміщень, Одеса, Астропринт, 2002 - 152с.
7. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. Засоби очищення газових викидів. – Київ ІВНВКП «Укреліотех», 2009 -204 с.
- 8.Семенов С.В. Вентиляція житлових та громадських будинків: Учебний посібник.- Одеса.: Зовнішрекламсервіс, 2008.-177 с.
9. Семенов С.В. Вентиляция жилых и общественных зданий: Учебное пособие - Одеса.: Зовнішрекламсервіс, 2010.-185 с.
10. Определение аэродинамических параметров перегрузочных участков на предприятиях стройиндустрии //Даниченко Н.В., Гераскина Э.А., Хоменко О.И., Семенов С.В. Макаров В.О. //Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури – Одеса : ОДАБА - 2016 - №63.- С.280-285.
- 11.Эжекция воздуха сыпучими строительными материалами в перегрузочных участках предприятий стройиндустрии //Даниченко Н.В., Гераскина Э.А., Хоменко О.И., Семенов С.В. Макаров В.О.//Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури – Одеса : ОДАБА-2017-№66.- С.196-202.

## Додаток А

### ВИХІДНІ ДАНІ

**Таблиця А1.** Вихідні дані для розрахунку системи аспірації з циклоном

|                                              |           |       |          |          |            |       |          |       |              |      |
|----------------------------------------------|-----------|-------|----------|----------|------------|-------|----------|-------|--------------|------|
| Ост. цифра зал. кн.                          | 1         | 2     | 3        | 4        | 5          | 6     | 7        | 8     | 9            | 0    |
| Витрата газу L <sub>0</sub> , м³/с           | 1,0       | 1,2   | 1.3      | 1.4      | 1.5        | 1.6   | 1.7      | 1,8   | 1.9          | 2.0  |
| Температура газу, t°<br>С                    | 25        | 25    | 35       | 35       | 45         | 45    | 50       | 50    | 60           | 60   |
| Тиск до циклона, Па                          | 150       | 170   | 190      | 210      | 230        | 250   | 270      | 290   | 310          | 330  |
| Концентрат викиду<br>C <sub>вх</sub> , мг/м³ | 2.0       | 2.0   | 1.9      | 1.9      | 1.7        | 1.7   | 1.5      | 1.5   | 1.3          | 1.3  |
| пил                                          | цемент    |       | керамзит |          | деревинний |       | пісок    |       | зварювальний |      |
| Тип циклону                                  | СКД-ЦН-33 |       |          | СК-ЦН-34 |            |       | СК-ЦН-34 |       |              | -33  |
| Передостанняцифра № зал. книжки              | 1         | 2     | 3        | 4        | 5          | 6     | 7        | 8     | 9            | 0    |
| Оптимальна швидкість W <sub>опт</sub> , м/с  | 2,0       | 2,0   | 2,0      | 1,7      | 1,7        | 1,7   | 2,0      | 2,0   | 2,0          | 2,0  |
| Діаметр d, мкм                               | 4,0       | 4,0   | 5,0      | 5,0      | 7,2        | 7,5   | 7,7      | 8,2   | 8,5          | 8,7  |
| Нахил прямої ζ <sub>н</sub>                  | 8,0       | 6,5   | 4,3      | 8,0      | 6,5        | 4,3   | 7,0      | 7,5   | 7,7          | 3,0  |
| Щільність ρ×10³, г/м³                        | 2,5       | 2,5   | 1,5      | 1,5      | 1,8        | 1,8   | 3,2      | 3,2   | 3,0          | 3,0  |
| Серед діаметр d <sub>м</sub> , мкм           | 12        | 12    | 14       | 14       | 20         | 20    | 25       | 25    | 18           | 18   |
| lg σ                                         | 0,364     | 0,364 | 0,364    | 0,308    | 0,308      | 0,340 | 0,340    | 0,340 | 0,340        | 0,36 |
| $\overset{\circ}{d}_{50}$ , мкм              | 2,31      | 2,31  | 2,31     | 1,95     | 1,95       | 1,95  | 1,13     | 1,13  | 1,13         | 2,3  |

**Таблиця А2. Вихідні дані для розрахунку системи аспірації з рукавним фільтром**

| <b>Ост. цифра № зал. кн.</b>                      | <b>1</b>                       | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b>                                    | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b>                         | <b>9</b> | <b>0</b> |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|----------|----------|---------------------------------------------|----------|----------|----------|----------------------------------|----------|----------|
| Витрата газу $L_0$ , м³/с                         | 1,75                           | 2,0      | 2,25     | 2,5                                         | 2,75     | 3,0      | 3,25     | 3,5                              | 3,75     | 4,0      |
| Концентрація пилу у викиді $C_{вх}$ , мг/м³       | 2                              | 3        | 4        | 5                                           | 1,5      | 2        | 3        | 4                                | 5        | 3        |
| Медіанний діаметр часток $d_{ч}$ , мкм            | 10                             | 15       | 2,5      | 3,5                                         | 25       | 35       | 80       | 90                               | 100      | 110      |
| Вид пилу                                          | тирса                          |          | пісок    |                                             | цемент   |          | зола     |                                  | вугілля  |          |
| Температура газу, t °C                            | 25                             | 25       | 35       | 35                                          | 45       | 45       | 50       | 50                               | 60       | 60       |
| <b>Передостання цифра № зал. книжки.</b>          | <b>1</b>                       | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b>                                    | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b>                         | <b>9</b> | <b>0</b> |
| Спосіб регенерації                                | імпульсна продувка             |          |          | Оборотна продувка                           |          |          |          | імпульсна продувка               |          |          |
| Концентрація пилу після очистки $C_{вих}$ , мг/м³ | 1,5                            | 1,7      | 2        | 2,5                                         | 2        | 1,7      | 1,5      | 2                                | 1,5      | 1,7      |
| Індивідуальне завдання                            | Схема імпульс.продувки фільтра |          |          | Схема автоматичного контролю роботи фільтра |          |          |          | Схема оборотної продувки фільтра |          |          |

Додаток Б  
КРЕСЛЕННЯ ПЛАНІВ І РОЗРІЗІВ

Варіант № 1

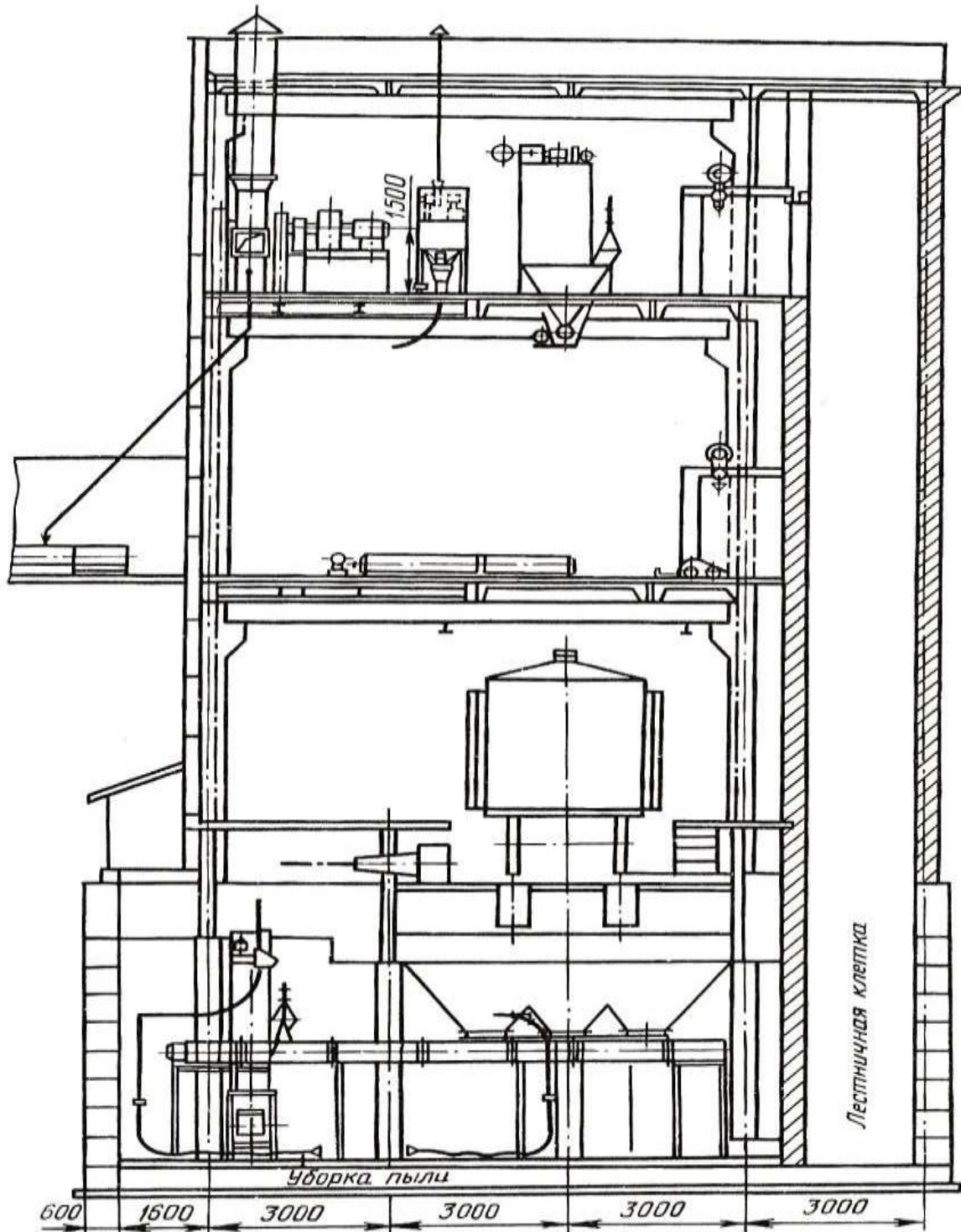


Рис. Б.1. Розріз ділянки розвантаження залізничного вагону(викладено мовою оригіналу).

Варіант № 2

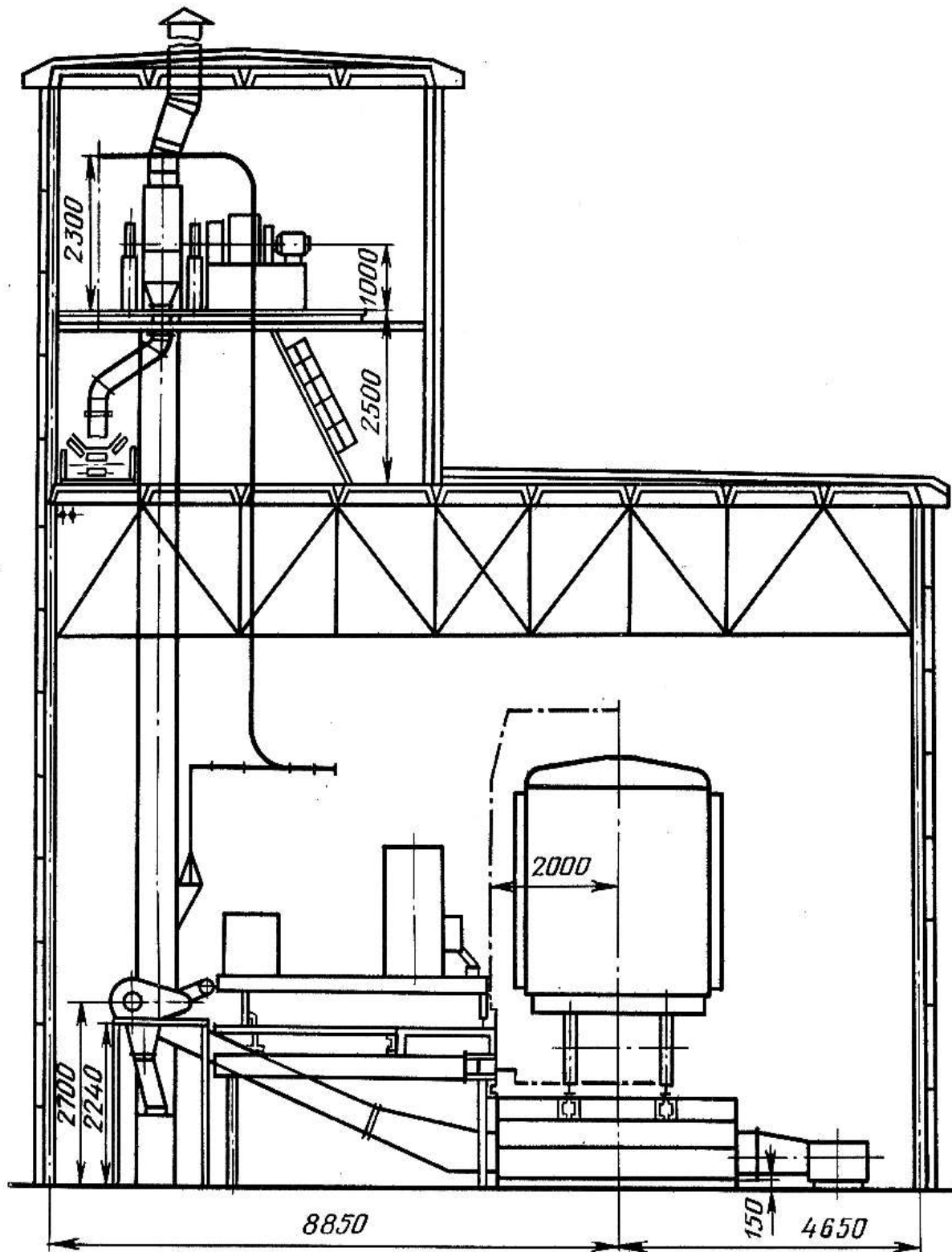


Рис. Б.2. Розріз ділянки розвантаження залізничного вагону



Варіант № 3

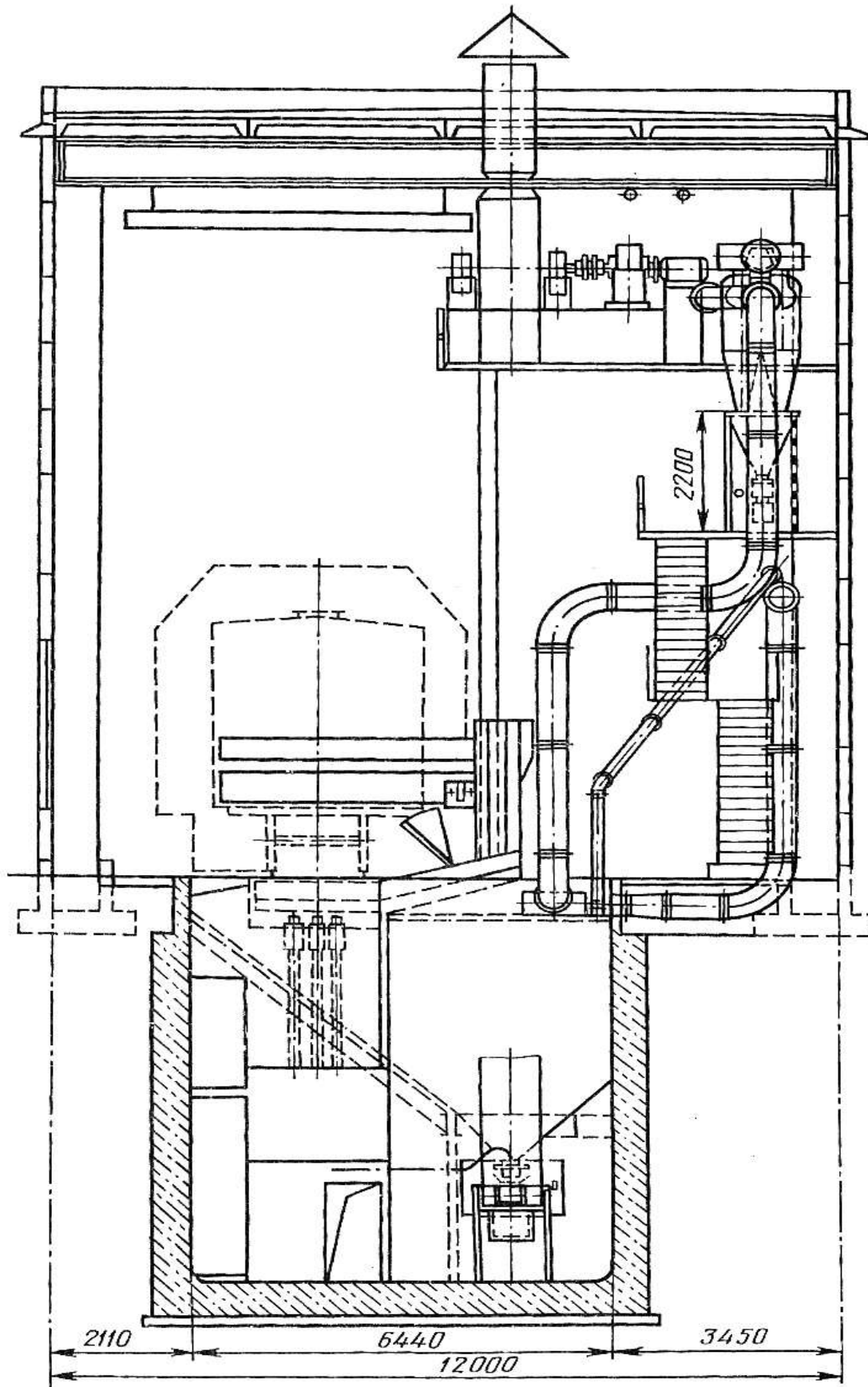


Рис. Б.3. Розріз ділянки розвантаження залізничного вагону

Варіант № 4

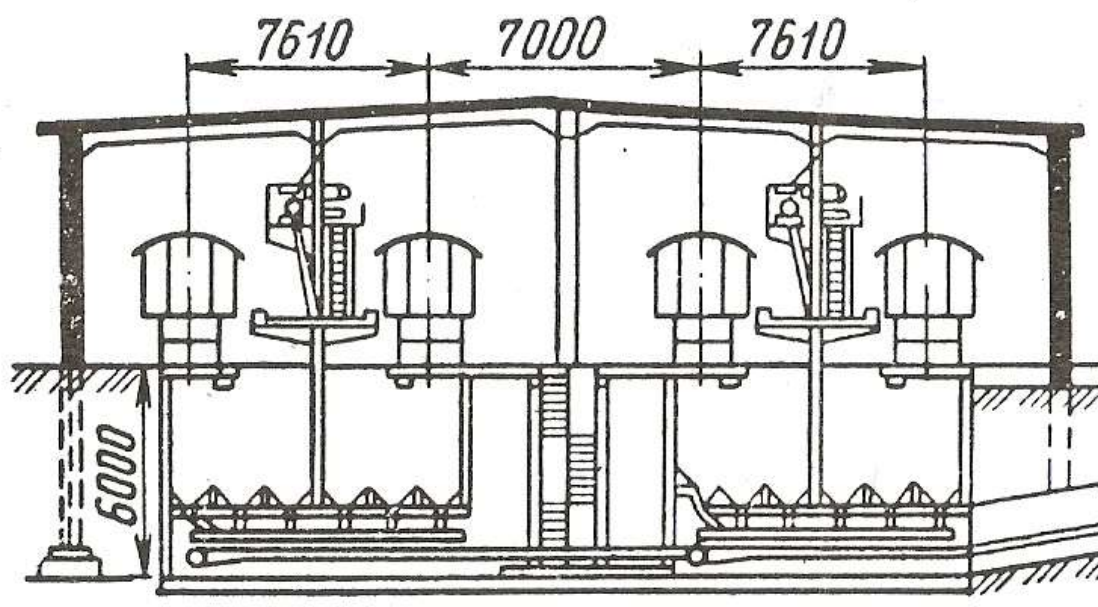


Рис. Б.4. Розріз ділянки розвантаження залізничних вагонів

Варіант № 5

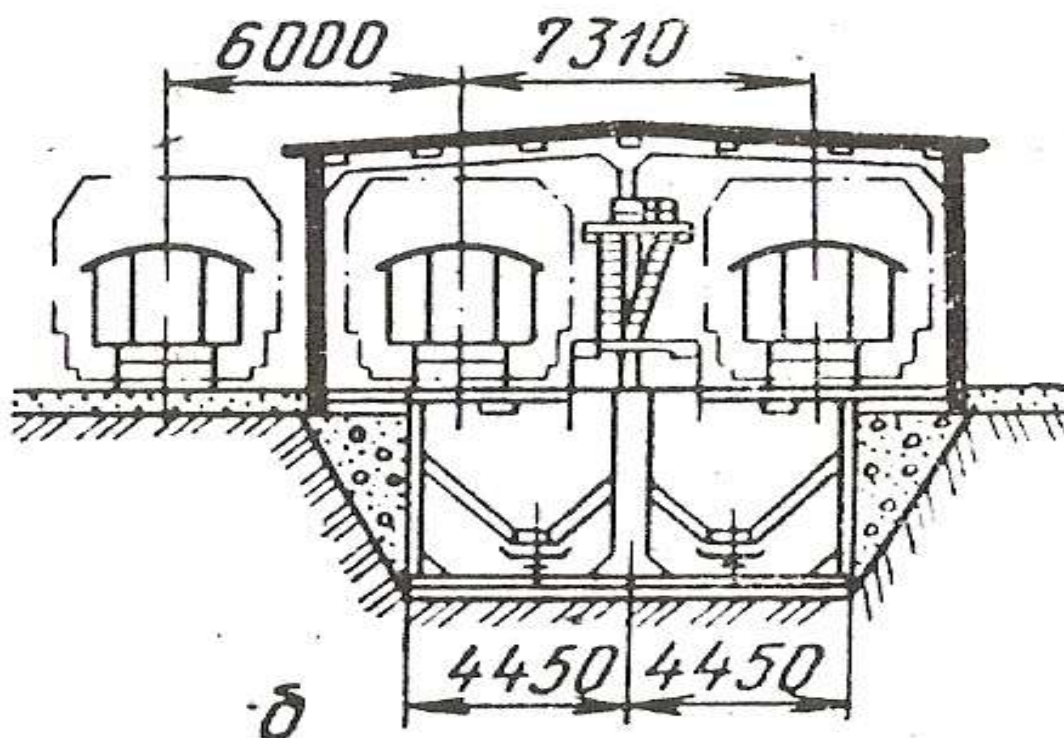


Рис. Б.5. Розріз ділянки розвантаження залізничних вагонів

Варіант № 6

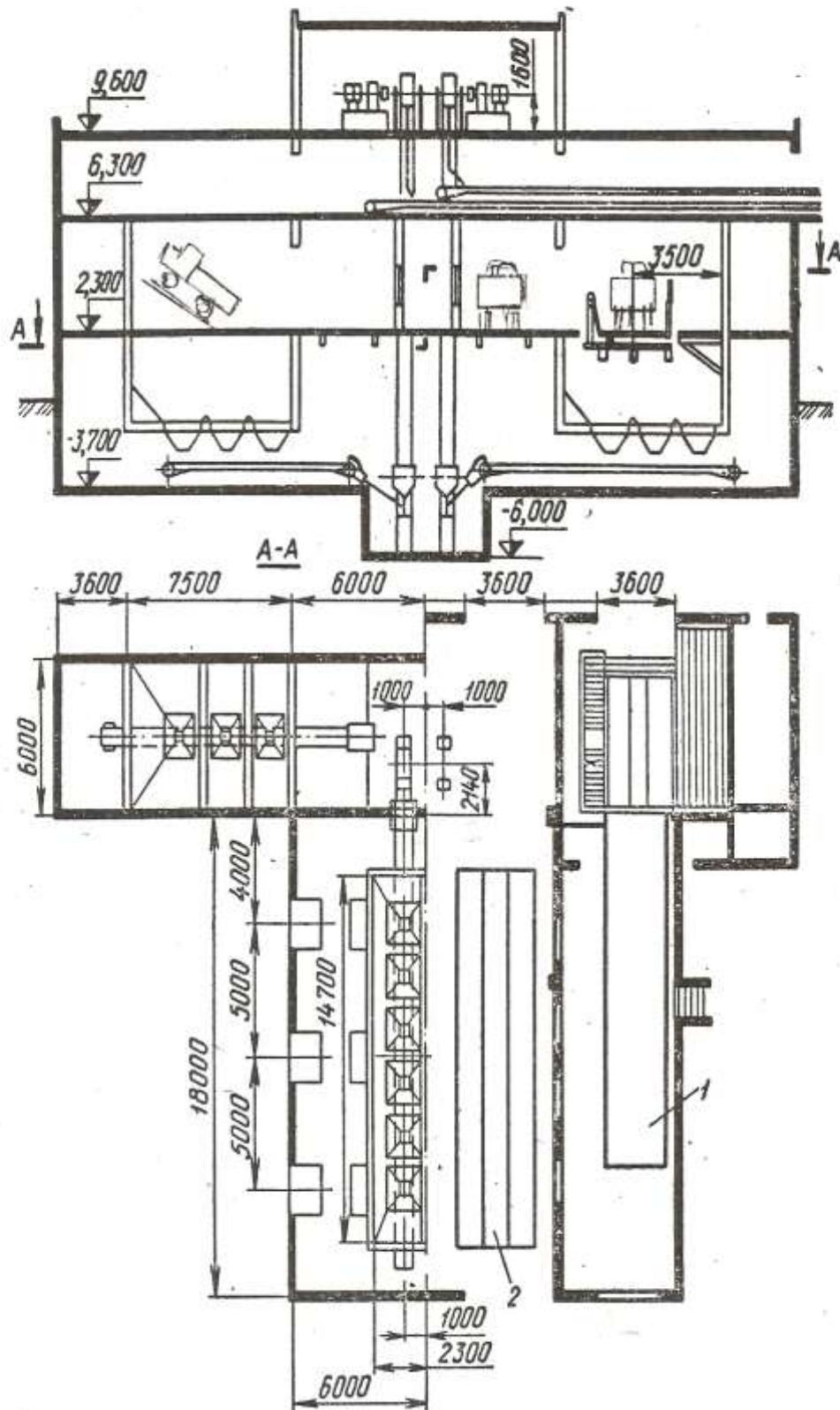


Рис. Б.6. План і розріз ділянки розвантаження автовантажівок

Варіант № 7

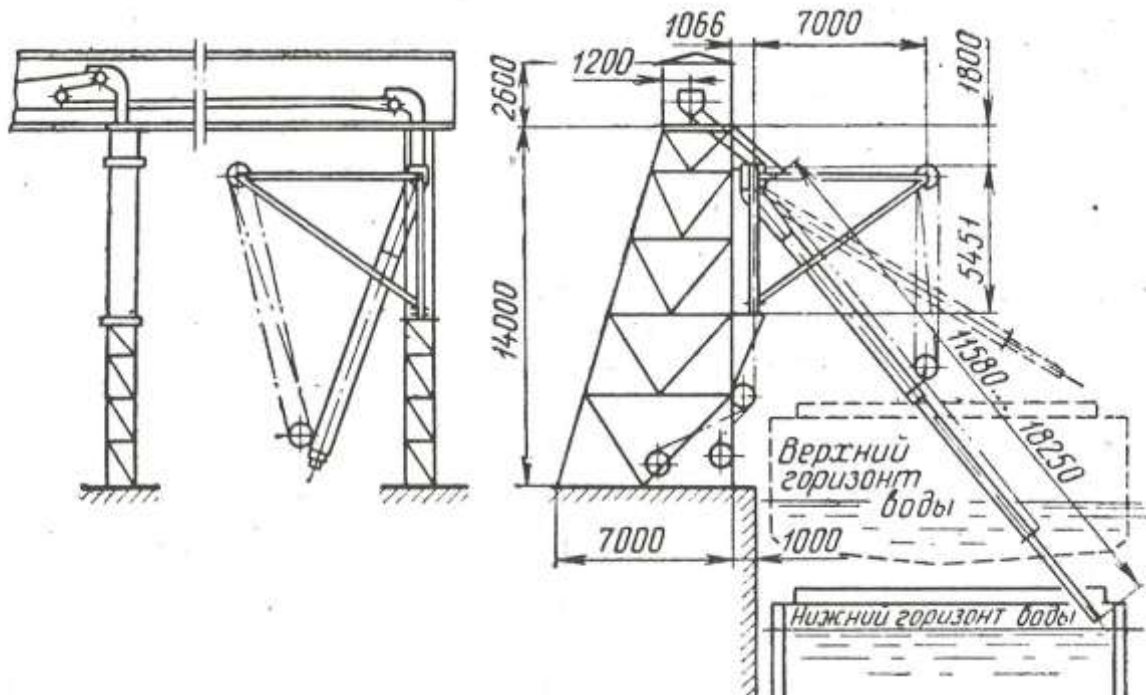


Рис. Б.7 - Розріз ділянки завантаження судна (викладено мовою оригіналу).

Варіант № 8

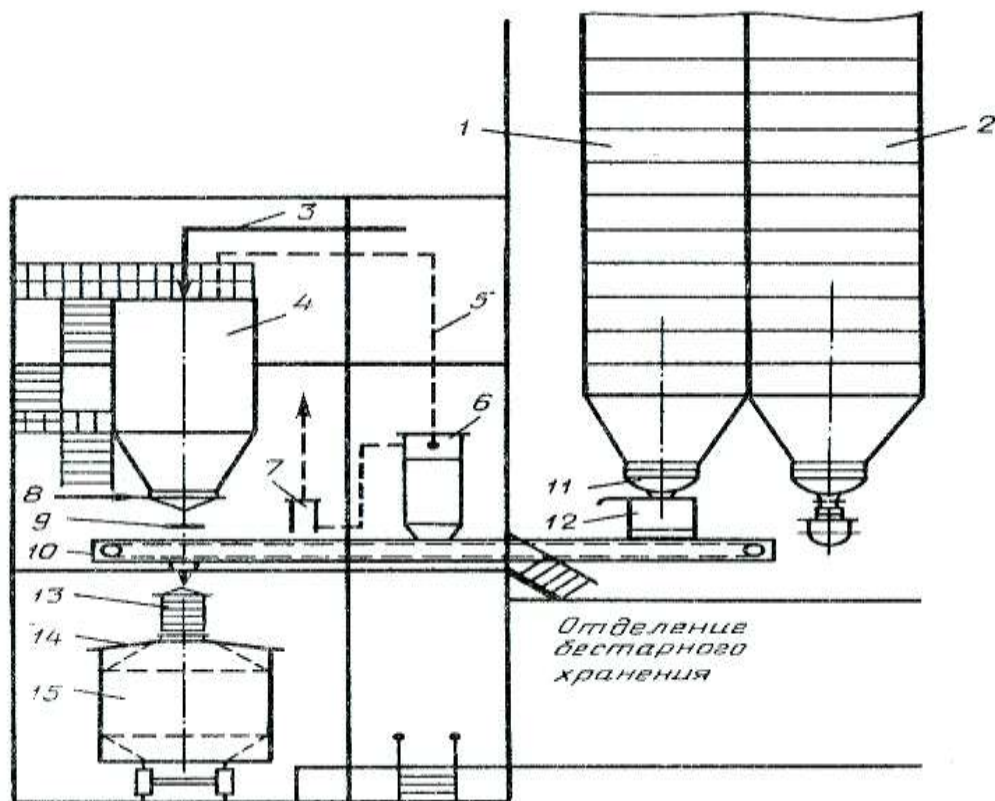


Рис. Б.8. Розріз ділянки завантаження залізничного вагону (викладено мовою оригіналу).



Варіант № 9

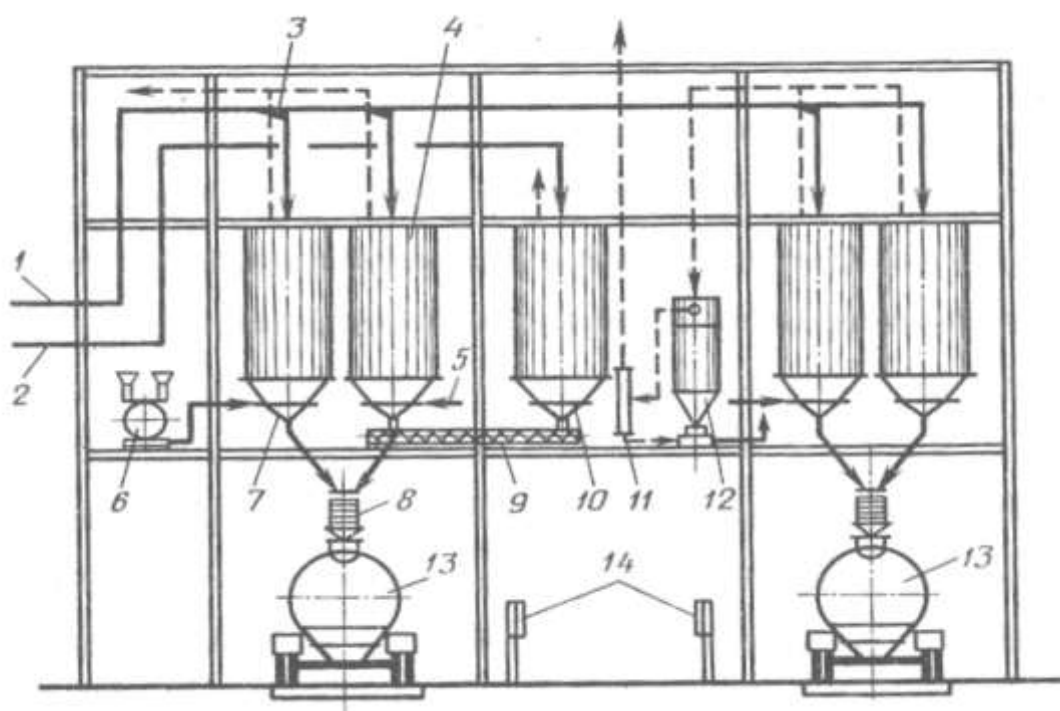


Рис. А.9. Розріз ділянки завантаження автовантажівок

Варіант №10

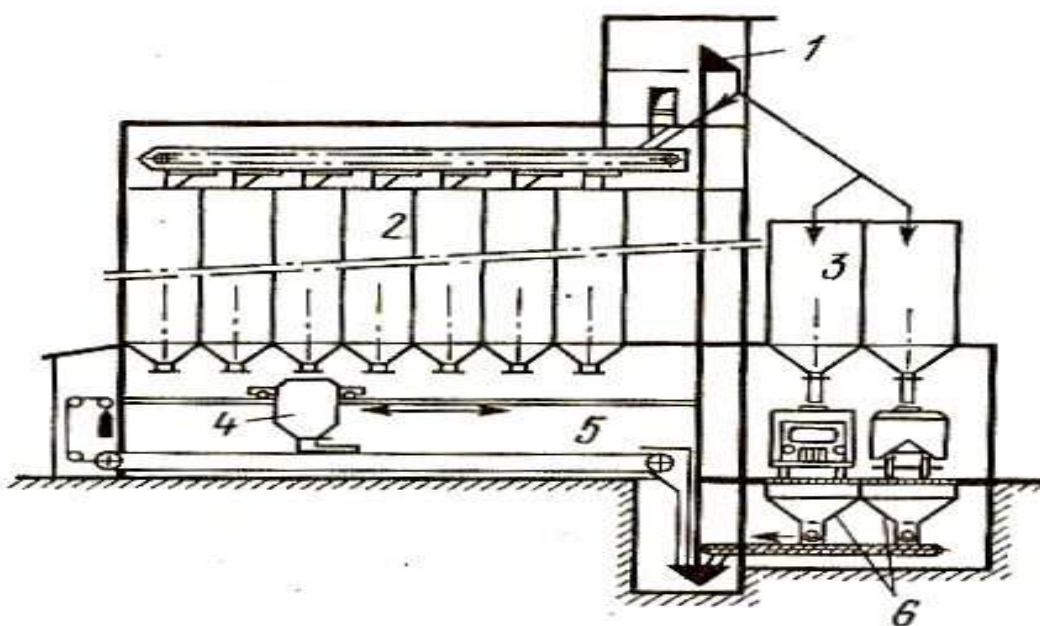


Рис. А.10. Розріз ділянки завантаження автовантажівки і залізничного вагону