

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Є.А. Манідіна
Г.Б. Кожемякін
К.В. Белоконь

ПРОЄКТУВАННЯ БЕЗПЕЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ СПОРУД ТА ПРИРОДООХОРОННОГО ОБЛАДНАННЯ

Навчально-методичний посібник
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності 263 «Цивільна безпека»
освітньо-професійної програми «Охорона праці»,
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього
середовища»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № 6 від 21.12.2021

Запоріжжя ЗНУ
2021

УДК 331.45(075)
М 234

Манідіна Є.А., Кожемякін Г.Б., Белоконь К.В. Проектування безпечних промислових споруд та природоохоронного обладнання : навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 263 «Цивільна безпека» освітньо-професійної програми «Охорона праці», спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2021. 150 с.

Навчально-методичний посібник розроблено відповідно до робочої програми дисципліни «Проектування безпечних промислових споруд та природоохоронного обладнання». У виданні в систематизованому вигляді подано теоретичні основи і понятійно-категоріальний апарат курсу, зміст практичних занять. Запропоновано приклади виконання завдань. Структурно посібник доповнено необхідними додатками.

Для студентів денної та заочної форм здобуття освіти, які навчаються за освітньо-професійними програмами «Охорона праці» та «Технології захисту навколишнього середовища».

Рецензенти:

А.В. Вагін, заступник генерального директора з екології та охорони праці ПрАТ «Український графіт»

О.М. Фостащенко, кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва і архітектури

Відповідальний за випуск

Г.Б. Кожемякін, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри прикладної екології та охорони праці

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ЛЕКЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ.....	7
РОЗДІЛ 1. ПІДГОТОВКА ДО ПРОЄКТУВАННЯ: ЗАВДАННЯ ДО ПРОЄКТУВАННЯ	7
1.1 Оцінка викидів від конкретного джерела.....	7
1.1.1 Об'єм та характеристика викидів.....	7
1.2 Завдання на проєктування.....	11
1.2.1 Додатки до завдання	12
1.2.2 Формулювання проєктних завдань	14
1.2.3 Врахування в завданні відомостей про джерело викидів, місцеві умови та нормативно-статистичні дані	16
1.2.4 Нормативно-статистичні дані	19
РОЗДІЛ 2. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОФОРМЛЕННЯ І КОМПУНУВАННЯ ГАЗООЧИСНИХ СПОРУД.....	21
2.1 Класифікація компоновок	21
2.2 Оцінка якості компоновок.....	24
РОЗДІЛ 3. СУМІЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ. РЕЖИМНА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ	26
3.1 Основні технологічні функції апаратів очищення.....	26
3.2 Спеціальне та нестандартизоване обладнання.....	29
3.3 Утилізація теплоти газів, що викидаються.....	32
3.4 Кондиціонування газів.....	34
3.5 Інтенсифікація процесу очищення газів	38
3.6 Поєднання технологічних функцій	38
РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ ГАЗОПРОВІДІВ ТА АРМАТУРИ. ВИДАЛЕННЯ ТА ПЕРВИННА ОБРОБКА ВЛОВЛЕНОГО ПРОДУКТУ	41
4.1 Пилогазопроводи.....	41
4.2 Попередження заповнення пилогазопроводів пилом.....	48
4.3 Арматура	50
4.4 Компенсація температурних розширень	52
4.5 Видалення та первинна обробка уловленого продукту	53
4.6 Пилетранспорт.....	53
4.7 Властивості пилу та їх облік при проєктуванні пилотранспорту	61
4.8 Тяго-дутьові машини	64
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗООЧИСНИХ СИСТЕМ	67
5.1 Захист персоналу від токсичних компонентів викидів та сорбентів.....	67
5.2 Заходи з вибухо- та пожежної безпеки	69
5.3 Інші заходи безпеки, що передбачаються в проєктах	73
5.4 Вимоги техніки безпеки при проєктуванні електрофільтрів.....	74

РОЗДІЛ 6. ЗАГАЛЬНІ УМОВИ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬ, СПОРУД, ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ	76
6.1 Класифікація промислових будівель.....	78
6.2 Вимоги до промислових будівель	81
6.3 Одно- й багатопверхові промислові будівлі. Уніфікація.....	82
6.4 Основні вимоги до безпеки експлуатації будівель та споруд. Ризики нешасних випадків	87
6.5 Організація обстежень будівель і конструкцій.....	93
6.6 Порядок обстеження технічного стану і техніка безпеки.....	95
6.7 Класифікація способів посилення елементів будівель та споруд.....	99
 РОЗДІЛ 7. ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ	103
7.1 Основи проектування циклонів	103
7.2 Розрахунок аеродинаміки газового тракту.....	112
7.3 Розрахунок пристроїв безперервного транспорту	120
7.4 Визначення герметичності фланцевих з'єднань	124
 ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	137
 ДОДАТОК А. Види місцевих опорів	138
ДОДАТОК Б. Стандартні діаметри повітроводів припливно-витяжної вентиляції.....	147
ДОДАТОК В. Опір пилогазоочистних апаратів	148
ДОДАТОК Г. Коефіцієнти кінематичної в'язкості газів $\nu \cdot 10^6$, м ³ /с.....	149

ВСТУП

Сьогодні питанням захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу викидів промислових підприємств приділяється велика увага. Підприємства чорної металургії України, що виділяють в атмосферу багатьох промислових центрів сотні тисяч тон шкідливих домішок на рік, відчувають гостру потребу у фахівцях в галузі санітарного очищення газів.

Для підготовки майбутніх фахівців-екологів та фахівців з охорони праці дуже важливе значення має вміння аналізувати умови проектування промислових очисних споруд та приймати оптимальні рішення щодо вдосконалення існуючих схем очищення. Детальний аналіз та грамотна компоновка очисних споруд є запорукою якісної роботи очисного устаткування.

Використання сучасних програмних продуктів в процесі проектування в значній мірі підвищує рівень кваліфікації майбутніх екологів та фахівців з охорони праці. Володіння знаннями особливостей проектування основних очисних апаратів є гарантією коректного застосування їх у проектуванні систем промислових очисних споруд.

Безпека праці досягається забезпеченням безпеки будівель та споруд, виробничих процесів і обладнання. Вирішення питань охорони праці здійснюється на стадіях проектування, виготовлення й експлуатації різних об'єктів виробничого призначення. Безпека експлуатації будівель і споруд забезпечується шляхом організації та здійснення постійного контролю за їх станом, проведення планово-попереджувальних ремонтів.

Метою вивчення навчальної дисципліни «Проектування безпечних промислових споруд та природоохоронного обладнання» є засвоєння знань, умінь і практичних навичок з проектування, монтажу, безпечної експлуатації промислових споруд та природоохоронного обладнання.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Проектування безпечних промислових споруд та природоохоронного обладнання» є:

- виробити вміння організації контролю за додержанням вимог чинних нормативно-правових актів з цивільного захисту, стандартів безпеки праці у процесі виробництва;
- набути навички до застосовування та експлуатації технічних систем захисту, засобів індивідуального та колективного захисту у сфері своєї професійної діяльності;
- виробити здатність організовувати експлуатацію техніки, устаткування, спорядження та засобів автоматики у сфері професійної діяльності.

За освітньо-професійною програмою «Охорона праці» дисципліна «Проектування безпечних промислових споруд та природоохоронного обладнання» продовжує фахову підготовку студента і базується на знаннях, отриманих при вивченні дисципліни «Системи контролю небезпечних та шкідливих виробничих факторів».

За освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» дисципліна «Проектування безпечних промислових споруд та природоохоронного обладнання» продовжує фахову підготовку студента і базується на знаннях, отриманих при вивченні таких дисциплін, як: «Основи охорони праці та безпека життєдіяльності», «Теоретичні основи та техніка захисту повітряного басейну».

Знання з дисципліни «Проектування безпечних промислових споруд та природоохоронного обладнання» необхідні для подальшого вивчення таких дисциплін, як: «Ведення документації та навчання з охорони праці», «Вибіркова дисципліна, що забезпечує формування компетентності охорони праці при зведенні будівель і споруд», «Вибіркова дисципліна, що забезпечує формування компетентності розслідування, обліку і аналізу нещасних випадків та професійних захворювань», «Вибіркова дисципліна, що забезпечує формування компетентності безпеки експлуатації інженерних мереж», «Контроль і автоматизація очисних споруд».

ЛЕКЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ

Розділ 1. ПІДГОТОВКА ДО ПРОЄКТУВАННЯ: ЗАВДАННЯ ДО ПРОЄКТУВАННЯ

1.1 Оцінка викидів від конкретного джерела

1.1.1 Об'єм та характеристика викидів

Серед гігієністів, метеорологів та технічних фахівців під поняттям «джерело викидів» у різних випадках маються на увазі:

- одиничний агрегат із самостійним відведенням викидів в атмосферу;
- група агрегатів в єдиному технологічному комплексі з об'єднаним відведенням викидів в атмосферу;
- окремий агрегат із групи агрегатів, незалежно від їхньої технологічної спільності, наявності або відсутності об'єданого відведення викидів в атмосферу;
- димова труба або свічка, незалежно від того, викиди від яких агрегатів надходять через неї в атмосферу;
- група близько розташованих один до одного труб або свічок;
- цех, проліт або відділення, що дають загальний викид через одну або кілька труб (свічок);
- комплекс пристроїв безперервного пілотранспорту (конвеєри, елеватори, пневмопроводи та ін.), що має одну або кілька точок викиду аспіраційних відсмоктувачів в атмосферу;
- аспіраційна або вентиляційна система цеху (прольоту, діляниці) з власним відведенням в атмосферу.

Тлумачення 1, 3, 6 поширені переважно серед заводських працівників та спеціалістів з очищення викидів; 2, 5, 6 – серед гігієністів; 4, 5, 7 та 8 – серед гігієністів та метеорологів. Наявність стількох сенсів породжує непорозуміння між замовником і виконавцем проекту, ускладнює фінансування проектних робіт, часом вносить плутанину при складанні та розгляді вихідних даних на проектування. Виходячи з досвіду, доцільно прийняти три варіанти визначення поняття «джерело викидів» і використовувати їх при проектуванні не довільно, а з урахуванням конкретної ситуації.

Варіант 1. Одиночний виробничий агрегат (установка) незалежно від того, чи пов'язаний він технологічно з іншими (у тому числі аналогічними) агрегатами (установками) і чи має власне чи суміщене з іншими джерелами відведення в атмосферу.

Варіант 2. Виробнича система (наприклад, система безперервного транспортування пилю) з поєднанням аспіраційних відсмоктувачів від окремих її елементів в єдиний випуск в атмосферу або в кілька випусків.

Варіант 3. Вентиляційна система цеху (прольоту, ділянки) з об'єднанням внутрішньоцехових відгалужень в єдиний тракт для випуску викидів в атмосферу.

У практиці проєктування викиди від кількох джерел нерідко поєднуються в загальний тракт, після чого очищаються в єдиній газоочисній системі. У цьому випадку також зручно дотримуватись перерахованих варіантів і розглядати очищення як від групи джерел, але не від єдиного групового джерела.

Укладачі завдання та виконавці проєкту повинні домовитися про термінологію до початку проєктування – це дозволить уникнути непорозумінь у ході проєктування. Погодження тим більше необхідне, якщо не виключені окремі нюанси, що виходять за межі трьох перерахованих варіантів.

Оцінка викидів від окремого джерела проводиться за такими показниками:

Витрата викидів ($\text{м}^3/\text{год}$ або $\text{м}^3/\text{с}$). Вказується "максимальний", "мінімальний" і "середній об'єм", а також "пікові стрибки", якщо такі передбачаються. Вказується також тривалість кожного режиму за об'ємом, годин або хвилин. Ці відомості необхідні, оскільки ступінь очищення газів у деяких апаратах (циклонах, трубах Вентурі) вирішальною мірою залежить від швидкості газу, тобто від його об'єму.

Температура викидів та її можливі коливання (середня, мінімальна, максимальна, пікові стрибки). **Нижня межа температури** визначає небезпеку конденсації парів, **верхня** – небезпеку деформації та термічного руйнування конструктивних елементів; можливість піків та їх розмір впливає на проєктні рішення, створені задля екстреного попередження аварійних ситуацій.

Температура конденсації парів агресивних рідин. Для двофазних систем цей параметр зручно визначати експериментально за допомогою приладу ВТИ [1], але не за довідниками.

Хімічний склад парогазової фази викиду (об'ємна частка компонентів, %). Якщо достовірно відомо, що вона вибухо- та пожежонебезпечна, це слід зазначити в вихідних даних.

Хімічний склад дисперсної фази (масова частка компонентів, %) або просто найменування речовини, яка її утворює. Вказівки на вибухо- та пожежонебезпечність зазначають аналогічно парогазовій фазі.

Дисперсний склад пилу. Спосіб утворення частинок дисперсної фази (дроблення, конденсація, сублимація, сушіння суспензій у розпилювальних сушарках, спалювання палива та ін), а також дані щодо їх морфології (в тій мірі, наскільки вони відомі укладачам завдання). Якщо інформація про морфологію почерпнута з літератури – посилання на першоджерело є обов'язковим.

Справжня та насипна щільність матеріалу дисперсної фази, кут її природного укосу.

Абразивні властивості частинок дисперсної фази.

Концентрація дисперсної фази (в $\text{г}/\text{м}^3$), можливість та причини її коливань.

Питомий електричний опір (УЕС) частинок, але за умови, що це величина достовірна. Приблизні значення можуть бути грубо помилковими і призвести до незадовільної роботи електрофільтрів, якщо останні будуть застосовані в проєкті.

Це мінімальний перелік відомостей. Будь-які специфічні особливості викидів мають бути зазначені додатково. Укладачам вихідних даних рекомендується під час роботи консультуватися з майбутніми виконавцями проєкту.

1.1.2 Часовий режим роботи джерела

Відомі такі **основні варіанти часового режиму роботи джерела [1]:**

1. Безперервна цілодобова робота із тривалими (обчислюваними місяцями) проміжками між зупинками на ППР. Приклади: доменні печі, обертові печі для випалу та спікання, теплоенергетичні установки, агломераційні та випалювальні машини, деякі агрегати та технологічні системи в хімії та нафтохімії.

2. Безперервна цілодобова робота із зупинками, викликаними нерегламентними обставинами (відсутність сировини, її некондиційність, переповнення силосів та складів готової продукції). Приклади: дробильно-розмельне обладнання, сушильні та змішувальні барабани та ін.

3. Періодична робота типу «повна зупинка» – повне навантаження – повна зупинка і т. д. з чітко визначеною тривалістю періодів. Приклади: конвертори в чорній та кольоровій металургії, деякі інші пірометалургійні агрегати.

4. Періодична робота за графіком, але з різко вираженими змінами об'єму та складу викидів протягом робочого періоду. Приклад: сталеплавильні печі.

5. Періодична робота без чіткого тимчасового графіка – агрегат запускається і зупиняється в міру потреби. Приклади: ваграночні печі ремонтних цехів, топки для спалювання відходів деревини.

6. Одно- або двозмінна робота з повною зупинкою в неробочу зміну та вихідні дні. Приклад: вентиляційні та аспіраційні системи цехів, які працюють позмінно з вихідними днями.

Можуть бути складніші змішані варіанти, наприклад робота без графіка плюс мінливість технологічного режиму протягом робочого періоду. У ряді випадків має місце відносно тривалий та технологічно складний пусковий період після зупинки на ППР або з інших причин. Це притаманно для великих термічних агрегатів. Так, в обпалювальних печах, що обертаються, стійкий режим настає зазвичай через кілька годин після розпалу. Те саме спостерігається в рудоплавильних печах окремих типів. Протягом пускового періоду об'єм та склад викидів безперервно змінюється, поступово наближаючись до проєктного.

Про те, як необхідно для проєктування газоочисних споруд знати тимчасовий режим газопиловиділень, можна судити на прикладі очищення

викидів від конверторів нікель-кобальтової промисловості. Конвертор працює за режимом, зазначеним вище у п. 3. У сучасних умовах для очищення конверторних газів широко використовують електрофільтри. Під час роботи конвертор викидає гарячі гази із високим вмістом сульфур оксидів. Але при зупинках конвертора електрофільтр охолоджується, а при черговому запуску в ньому відбувається конденсація з утворенням корозійно-активних туманів. Щоб уникнути цього, доводиться передбачати в періоди зупинки конвертора прогрівання електрофільтра від спеціальних калориферів, що обходиться дуже дорого. Якщо проектується газоочищення для групи конверторів, їх викиди об'єднуються, а графік складається так, щоб конвертори працювали зі зсувом за часом. Завдяки цьому коливання температури викидів значно згладжуються. Приклад такого графіка показаний на рис. 1.1.

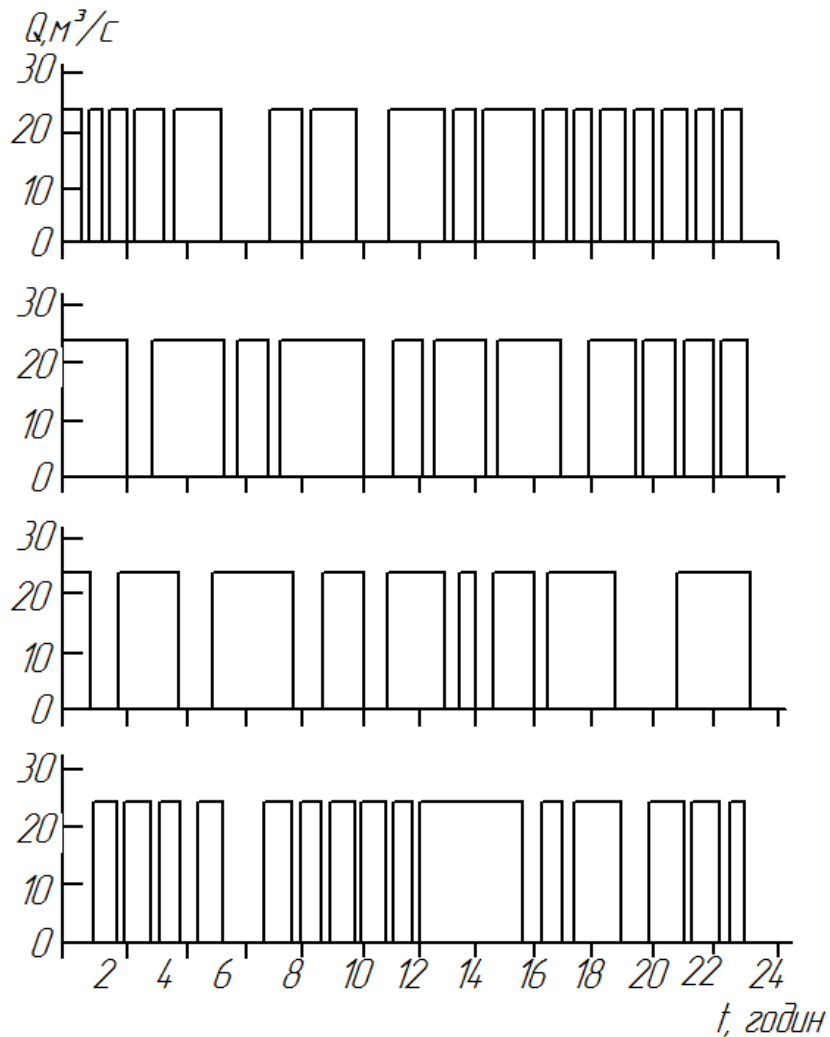


Рисунок 1.1 – Графік роботи групи з чотирьох конвертерів, що згладжує коливання температури в газоочисній системі

Часовий режим обов'язково вказується у вихідних даних та враховується в проекті. При необхідності проектувальники повинні домовитися із замовником проекту та укладачами вихідних даних про можливу зміну режиму з метою спрощення та здешевлення газоочисних споруд.

Якщо відносно недалекому майбутньому передбачається форсувати технологічний процес в агрегаті, який виділяє газопилову суміш, всі дані в опитувальних листах вказуються і для форсування. Нехтування цим правилом призводить до того, що ледь побудовані газоочисні споруди підлягають реконструкції при значних додаткових капіталовкладеннях.

1.2 Завдання на проектування

Завдання на проектування газоочисної споруди видається організації, яка проектує цю споруду, організацією-замовником. У підготовці завдання, як правило, бере участь генеральний проектувальник, тобто головний галузевий проектно-технологічний інститут, у віданні якого знаходяться всі роботи, які проводяться на підприємстві-замовнику. Завдання підписується відповідальними представниками замовника, генерального проектувальника та погоджується відповідальним представником організації-виконавця проекту. Усі підписи скріплюються гербовими печатками, тому завдання може підписуватися і узгоджуватися лише особами, на підписи яких дозволяється ставити гербову печатку. У кожній організації коло зазначених осіб визначається наказом керівника. Зазвичай це сам керівник, головний інженер, заступники керівника та (не завжди) заступники головного інженера. На викладену обставину слід звертати особливу увагу, оскільки у практиці траплялися випадки підписання завдання особами, які не мають права на те (головними спеціалістами, начальниками відділів та ін.).

При виявленні надалі необхідності зміни окремих пунктів завдання наявність у ньому підписів не уповноважених на те осіб, нерідко призводить до конфліктних ситуацій.

Завдання вважається остаточно оформленим, коли воно має всі належні підписи (включаючи узгоджувальні) і затверджено першою або другою особою організації-замовника.

Як **технічний документ** завдання містить основні відомості про завдання та обсяги проектування, а також загальні формулювання найважливіших питань, що підлягають розгляду під час проектування. Перевантажувати завдання зайвими подробицями неприпустимо, оскільки всі деталі майбутнього проектування розкриваються у його додатках.

Як **юридичний документ** завдання визначає взаємну відповідальність замовника, генерального проектувальника та організації-виконавця проекту. Дві перші організації відповідають за коректність та обґрунтованість поставлених завдань, третя – за правильність та належний технічний рівень їх вирішення.

Як **фінансовий документ** завдання є основою визначення вартості та фінансування проектних робіт.

При заміні раніше виданого завдання на нове – останнє оформляється аналогічно попередньому завданню. При внесенні у видане завдання

часткових змін – ці зміни оформляються протоколом, який підписується тими ж особами, які підписали завдання та погодили його, або іншими особами, які мають право. Підписи під протоколом скріплюються гербовими печатками. Якщо раніше видане завдання замінюється на нове – термін видачі відраховується з дати видачі нового завдання, а термін видачі раніше виданого завдання анулюється.

1.2.1 Додатки до завдання

Основними додатками до завдання є опитувальні листи, що містять докладні умови проектування для всіх видів робіт: технологічних та розрахунків на міцність, будівельного конструювання, розробки нестандартизованого обладнання, систем електропостачання, контролю, керування та автоматизації, теплової ізоляції, розробки техніко-економічної та кошторисної документації.

Особливий вид додатків – базові (чи контрольні) якісні характеристики та техніко-економічні показники. Вони покликані служити проектувальникам як загальний контрольний рівень, досягнення якого означає відповідність проекту, як мінімум, середньому рівню, прийнятому найбільш розвинених країн світу.

При оформленні завдання об'єм додатків до нього може бути змінено за взаємною домовленістю між зацікавленими організаціями. Це проводять зазвичай у разі особливих умов проектування. Деякі **особливі умови проектування**, що найбільш часто зустрічаються, наведені нижче.

У проектній практиці існує поняття про межі проектування. **Межа проектування** є лінією поділу, з одного боку якої проектні роботи виконуються однією організацією, з іншого – іншою.

Стосовно газоочисних споруд межами проектування є: з боку входу неочищеного газу – умовно обраний переріз газового тракту, звідки починається тракт газоочищення; з боку виходу очищеного газу – так само умовно обраний переріз, де закінчується тракт газоочищення та відновлюється звичайний технологічний газовий тракт.

Межі проектування зазвичай встановлюються не тільки на основному газовому тракті, але також на системах видалення та транспортування вловленого продукту, розчинообігових системах і т. п. Зустрічаються випадки, коли окремі, порівняно невеликі ділянки в межах загального тракту газоочищення передаються іншій проектній організації (наприклад, тракт газоочищення вбудовується камера допалювання, котел-утилізатор тощо). У таких випадках визначаються місцеві межі проектування.

Встановлення меж проектування потребує певних знань та досвіду. Так, спосіб підведення газу до газоочисних споруд (інколи і спосіб відведення газу від них) дуже впливає на роботу газоочисних апаратів. При встановленні меж проектування їх слід вибирати так, щоб частини тракту, від яких залежить робота газоочисних апаратів, знаходилися у межах проектування спеціалізованої організації. Зокрема, це стосується колекторів,

що роздають і збирають, пилогазопроводів на довжині 6-10 діаметрів, попереду електрофільтрів, циклонів та іншими апаратами і т.п. Грамотно, силами спеціалізованої організації, мають бути спроектовані пристрої для видалення та транспортування вловленого продукту до деякого обумовленого місця, звідки його прийме генпроектувальник чи інший інститут за його дорученням. Якщо дотримання згаданих умов чомусь неможливе, відповідні елементи повинні проектуватися лише за завданням спеціалізованої організації та під її контролем і далі. **Рішення про межі проектування оформляються протоколом з підписами відповідальних осіб.**

При проектуванні газоочищення в стиснених умовах діючого підприємства нерідко виникає необхідність прокладання пилогазопроводів через приміщення діючого цеху або над покрівлю виробничої будівлі. У таких ситуаціях **можливі два рішення**: або ці ділянки пилогазопроводів проектує генпроектувальник, який добре знає несучу здатність усіх конструкцій, розташування підземних комунікацій, особливості технологічного обладнання; або він офіційно видає авторам проекту газоочищення всі необхідні відомості.

Можливий і варіант, коли генпроектувальник прокладає трасу пилогазопроводів, точно вказуючи при цьому місця спирання, закладення фундаментів та висотні позначки осей пилогазопроводів. Якщо трасування не суперечить технологічним завданням очищення газів, воно може бути прийняте для проектування.

У силу специфіки конкретного проекту окремі його частини можуть розроблятися не тією організацією, яка проектує газоочисну споруду в цілому, а генпроектувальником або іншою організацією за його завданням. Такі питання вирішуються за взаємною домовленістю та оформлюються протоколом, який включається до додатків до завдання.

У принципі допустимі **будь-які домовленості**, що диктуються логікою, між зацікавленими сторонами, однак вони у всіх випадках **повинні оформлятися документально**; після цього вони **набувають юридичної сили і вважаються невід'ємними додатками до завдання та до договору проектування**. Ці документи нерідко відіграють найважливішу роль при розгляді помилок, виявлених у період будівництва, а тим більше після запуску газоочищення. Відомі численні факти, коли неможливо було знайти винуватців помилок, оскільки в опитувальних листах та інших додатках до завдання виявлялися виправлення, внесені невідомо ким, коли і чому.

Ще один **додаток до завдання – докладна пояснювальна записка**, в якій головний інженер проекту повідомляє відділам-виконавцям проекту такі відомості:

- народно-господарська значимість підприємства, на якому проектується газоочистка;
- загальне становище з очищенням летких викидів для підприємства та заходи, вжиті (прийняті) для зниження інтенсивності їх утворення;

- специфіка місцевих умов (клімат, місцевість, рослинність, водоймища, житлові масиви, садівництва, сільськогосподарські угіддя тощо);
 - перспективи розвитку джерела, на якому виконується проєкт (форсування, часткова зміна технології та ін.);
 - стан справ з очищення аналогічних викидів на інших підприємствах України та за кордоном (в об'ємі доступної інформації);
 - коротка історія питання: ким, коли, чому прийнято рішення про оснащення даного джерела викидів газоочисними спорудами;
 - загальний рівень інженерної культури для підприємства;
 - основні завдання, що підлягають вирішенню в проєкті.
- Записка такого роду розширює кругозір проєктувальників та полегшує аналіз даних щодо опитувальних листів та інших додатків до завдання.

1.2.2 Формулювання проєктних завдань

Значна частина помилок і недоліків проєктів пояснюється неточними, неоднозначними, іноді навіть помилковими формулюваннями завдань, які ставляться перед проєктувальниками.

Формулювання повинні бути точними, короткими, обґрунтованими, вичерпними, які не допускають двоякі та суб'єктивні тлумачення, що не суперечать чинним ДСТУ, нормам та правилам.

Нижче наведено кілька невдалих формулювань [1].

Неточне формулювання:

«Передбачити повну автоматизацію керуванням очищенням газів».

Не розкрито сенс завдання – «повна автоматизація». Не зазначено, які системи та за якими параметрами мають спрацьовувати.

Довге формулювання:

«Забезпечити безперебійне видалення вловленого пилу з бункерів циклонів та електрофільтрів, враховуючи, що пил гігроскопічний, утворює склепіння та відкладення в кутах бункерів. Щоб уникнути конденсації вологи в пристінній зоні бункерів – передбачити їх обігрів за допомогою ТЕНів».

Слід було вказати проєктувальникам на властивості пилу, не нав'язуючи їм технічних рішень.

Необґрунтоване формулювання:

«Передбачити в проєкті 100% резерв основного газоочисного обладнання».

Такий резерв передбачається тільки в випадках, коли, в силу специфіки даного процесу очищення, один з газоочисних апаратів повинен періодично зупинятися (наприклад, на промивання) без зупинки газопиловиділяючого агрегату. У звичайних умовах за основним обладнанням не використовується 100%-й резерв.

Недостатньо вичерпні і тому такі, що допускають двояке або суб'єктивне тлумачення формулювання:

«Мета очищення: уловлювання відгонів олова як товарного продукту і миш'яку з метою захисту атмосфери».

Не зазначено головну умову: очищення має бути глибоко селективним, щоб уникнути забруднення олова миш'яком.

«Під час проєктування врахувати, що в районі будівництва можуть мати місце температурні інверсії, що перешкоджають розсіюванню залишкових забруднювачів».

Необхідно було вказати, наскільки часті інверсії, який їх характер (приземні, піднесені), якою є глибина і тривалість інверсійних станів атмосфери.

Формулювання, що суперечить чинним нормам та правилам:

«Передбачити байпасування газоочисної споруди на випадок її ремонту при джерелі викидів, що працює».

Байпасування – це відведення частини потоку (зазвичай 4-12%) на паралельну лінію для очищення чи для іншої технологічної мети з подальшим поверненням в основну систему. Байпасування газоочисних споруд заборонено відповідними правилами [1].

Найважливішим показником роботи газоочисних споруд є ступінь очищення газів.

Тому необхідно звернути особливу увагу на формулювання вимог замовника, що відносяться до нього.

Ці вимоги нерідко виражаються таким чином:

«Максимально можлива»;

«100 %»;

«За санітарними нормами».

Подібні формулювання у завданнях абсолютно неприпустимі.

Перше є абсолютно невизначеним та змушує проєктувальників наново разом із замовником переглядати умови проєктування для знаходження реального, дійсно необхідного, досяжного та обґрунтованого ступеня очищення.

Друге ставить практично нездійсненне завдання: 100% -е вловлювання того чи іншого компонента може бути досягнуто лише теоретично і за надмірно великих приведених витрат за газоочисні споруди.

Третє не враховує, що санітарні норми (ГДК) у приземному шарі досягаються шляхом комбінації очищення та розсіювання; якщо ж для даного джерела встановлено ГДВ, то необхідно вказати його значення, виходячи з якого – може бути розрахований ступінь очищення.

Визначення доцільного ступеня очищення – одне з найвідповідальніших санітарно-гігієнічних та техніко-економічних завдань при підготовці проєктування газоочисних споруд. Зв'язок між складом викидів, ПДВ, висотою труби та ступенем очищення має складний характер. Встановлення справді доцільного ступеня очищення можливе лише основі аналізу згаданого зв'язку.

1.2.3 Врахування в завданні відомостей про джерело викидів, місцеві умови та нормативно-статистичні дані

Нижче викладаються короткі рекомендації з обліку найбільш характерних відомостей, зібраних на момент видачі завдання проектування газоочисних споруд.

У цій місцевості відзначаються часті тривалі опади, переважно – дощ.

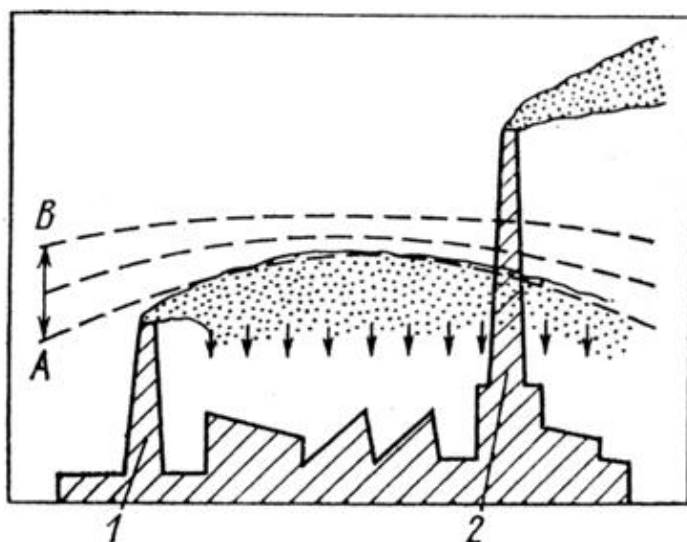
Якщо в викидах містяться пари або тумани, здатні при контакті з опадами давати кислотні дощі, слід мати на увазі, що інтенсивність таких дощів найбільша в зоні найбільшої концентрації факела, тобто поблизу місця його викиду в атмосферу. Тому бажано по можливості знизити концентрацію в факелі згаданих пар або туманів шляхом їх конденсації та уловлювання ще до виходу факела в атмосферу, тобто в межах газоочищення.

Мають місце часті піднесені інверсії.

У метеорології поняття інверсії характеризує аномальний характер зміни параметра, як температура. При температурній інверсії нижні шари повітря холодніші за верхні (зазвичай – навпаки: середня швидкість зменшення температури з висотою – $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ на кожні 160 метрів), що призводить до відсутності вертикального перемішування повітряних мас. Причина цього – у припиненні нормального процесу конвекції, коли тепле повітря піднімається вгору, а холодне повітря опускається вниз. Інверсії виникають у нижніх шарах атмосфери (тропосфері).

Розрізняють два типи тропосферної інверсії: **приземну** та **підняту**. **Приземна** інверсія виникає у шарі завтовшки кілька десятків метрів, а **піднята** – кілька сотень метрів.

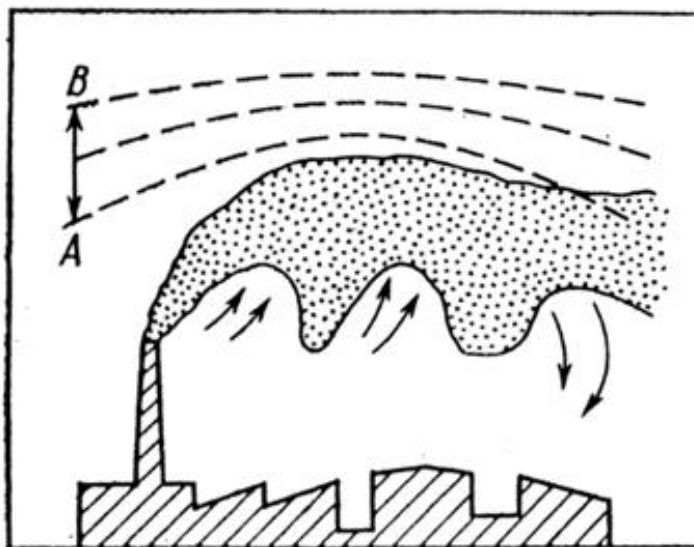
Приземні інверсії зазвичай створюють умови, несприятливі для розсіювання домішок від низьких джерел (наприклад, автотранспорту) (рис.1.2).



A-B – інверсійний шар атмосфери; 1 – низька димова труба; 2 – дуже висока димова труба, устя якої розташоване вище за інверсійний шар

Рисунок 1.2 – Схема приземної інверсії

Підняті інверсії формують підвищений рівень забруднення повітря шкідливими домішками від високих джерел (високих димових труб), рис.1.3.



A-B – інверсійний шар атмосфери
Рисунок 1.3 – Схема піднятої інверсії

Температурні інверсії перешкоджають вертикальним переміщенням повітря та сприяють утворенню застійних зон, у яких накопичуються забруднюючі речовини. Димки та тумани також сприяють накопиченню в повітрі різних органічних та неорганічних домішок. При стійких температурних інверсіях забруднення нижніх шарів атмосферного повітря можна навіть побачити у вигляді **смогу** – суміші газоподібних та твердих домішок промислового та автомобільного походження з туманом.

Доцільно передбачити в проекті технологічний резерв, який в разі потреби може бути задіяний з метою збільшення ступеня очищення порівняно з розрахунковим (для нормального стану атмосфери).

Мають місце часті та глибокі приземні інверсії (рис.1.3).

Можна передбачити високі труби, що забезпечують введення факела вище інверсійного шару. Одночасно слід передбачити технологічний резерв. Альтернативою є зниження потужності газо- та пиловиділяючого виробництва при особливо глибоких інверсіях. Вибір методу визначається техніко-економічним розрахунком.

Місцевість має різко виражений складчастий характер (гори, пагорби, долини).

Рекомендується проаналізувати можливості використовувати рельєф для покращення умов розсіювання. Аналіз проводити обов'язково із залученням спеціалістів гідрометеорологічної служби.

Джерело викиду розташоване всередині великого житлового масиву з великою кількістю високих будівель.

Необхідно споруджувати дуже високу трубу, що гарантує, що зона максимальної концентрації в приземному шарі завжди буде поза межами житлового масиву. Якщо це неможливо з містобудівних чи інших міркувань необхідно знизити ГДВ у кілька разів у порівнянні з формально

розрахованим. Радикальна альтернатива – винесення джерела забруднення атмосфери за межі житлового масиву, причому на таку відстань, щоб зона максимальної приземної концентрації не збігалася із селітебною зоною.

Селітебна територія (зона) – частина території населеного пункту, призначена для розміщення житлової, громадської (громадсько-ділової) та рекреаційної зон, а також окремих частин інженерної та транспортної інфраструктур, інших об'єктів, розміщення та діяльність яких не впливає, що потребує спеціальних санітарно-захисних зон.

Роза вітрів несприятлива щодо захисних об'єктів.

Роза вітрів – векторна діаграма, що характеризує в метеорології та кліматології режим вітру в даному місці за певний період (багаторічні спостереження, рік, місяць, сезон тощо). Виглядає як багатокутник, у якого довжини променів, що розходяться від центру діаграми в різних напрямках (румбах горизонту), пропорційні повторюваності вітрів цих напрямів («звідки» дме вітер).

Додатковими захисними заходами може бути: спорудження високих труб, зниження ГДВ у кілька разів у порівнянні з формально розрахованим, наявність у газоочисних спорудах технологічного резерву.

На момент проектування **немає достовірних даних про перспективи змін умов роботи джерела на найближчі 15-20 років.**

Якщо джерелом викидів є агрегат, робота якого пов'язана з використанням природної сировини (руди) або палива, слід мати на увазі, що для промисловості в цілому (у зв'язку з поступовим вичерпанням легко доступних природних ресурсів та вимогами скорочення викидів CO₂) характерний поступовий перехід на використання позабалансових залишків сировини і більш низькоякісних видів палива, що зазвичай супроводжується підвищенням вимог до очищення викидів. Тому в такій ситуації **слід проектувати газоочищення на 20-25 % потужніше**, ніж це потрібно зараз. Економічно доцільніше заздалегідь передбачити газоочищення підвищеної потужності, ніж через 5-10 років після пуску проводити її капітальну реконструкцію в умовах діючого виробництва та нерідко за відсутності вільних площ на території підприємства.

Викласти в повній мірі всі способи обліку місцевих умов та інших обставин, що супроводжують підготовку проектування, вкрай важко через різноманітність ситуацій, що виникають. Те, що місцеві умови визначають вимоги до кінцевих результатів очищення викидів, є логічним і закономірним. Методи очищення, звичайно, вибираються проєктувальниками. Однак у деяких випадках вказівки щодо кращих методів очищення можуть бути закладені і в завданні на проектування. Наприклад, багато викидів може бути успішно очищені (знешкоджені) як сухими, так і мокрими способами. Більше того, мокрі методи, при формальному техніко-економічному розрахунку, можуть виявитися вигіднішими за сухі. Але якщо порівнювати методи з погляду їх відповідності місцевим умовам, слід перш за все оцінити властивості залишкових викидів, що виходять після того чи іншого виду очищення. Мокрі методи дають залишковий викид з нижчою

температурою і вищою відносною вологістю. Обидві ці обставини погіршують умови розсіювання.

І якщо серед місцевих умов фігурують такі явища, як окремі інверсії, штилі, щільні стійкі тумани тощо, то сухі методи очищення виглядають краще. Ця точка зору може бути зафіксована у завданні на проектування.

1.2.4 Нормативно-статистичні дані

Нормування викидів шкідливих речовин в атмосферу зазвичай проводять за наступними показниками:

- ГДК у точці викиду (наприклад, в гирлі димової труби, у вентиляційному отворі цеху), мг/м³;
- ГДК у повітрі населеної місцевості, мг/м³;
- ГДК у повітрі робочої зони, мг/м³;
- ГДВ, г/с або кг/год.
- тимчасово-погоджений викид ТПВ, г/с або кг/год.

Основним нормативом, що розрахований на довготривалу дію, являється ГДВ. Він є основою для визначення необхідної міри очищення викидів та обчислюється за формулою, г/с:

$$\text{ГДВ} = \frac{(\text{ГДК} - C_{\phi}) \cdot H^2}{AFMN \cdot K_m} \cdot \sqrt[3]{q \Delta t}, \quad (1.1)$$

де C_{ϕ} – фонові концентрації забруднювача, мг/м³;

H – висота джерела над рівнем землі, м;

A – коефіцієнт температурної стратифікації атмосфери;

F – коефіцієнт, що враховує швидкість осідання шкідливих речовин в атмосферному повітрі;

M, N – коефіцієнти, що враховують умови виходу факела з гирла викиду;

K_m – коефіцієнт, що враховує вплив рельєфу місцевості;

q – витрата суміші, що викидається, м³/с;

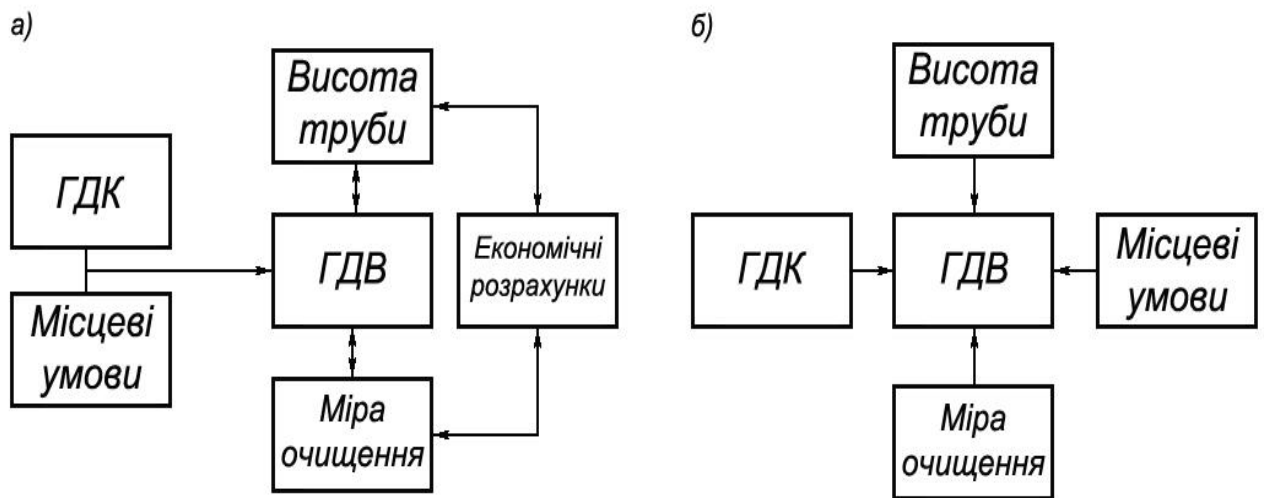
Δt – різниця температур газової суміші t_r , що викидається, і навколишнього повітря t_n :

$$\Delta t = t_r - t_n. \quad (1.2)$$

Тому необхідно розглядати питання щодо висоти викидів:

- визначення доцільної висоти димової труби при новому будівництві;
- нарощування висоти наявних труб;
- заміна існуючих труб новими;
- установка на трубах конфузornoї насадки для збільшення швидкості виходу факела.

Знаходження оптимальних за техніко-економічними показниками рішень при встановленні ГДВ можна виразити за наступними схемами (рис. 1.4).



а – коли можна впливати на міру очищення і висоту викиду; б – коли висота труби не змінюється

Рисунок 1.4 – Схема зв'язку між факторами, що відносяться до встановлення ГДВ

Інвентаризація викидів виконується з метою виявлення усіх джерел забруднення атмосфери на цій території і визначення їх характеристик :

- об'єму і складу викидів;
- способу їх виводу в атмосферу;
- тимчасових режимів роботи джерел.

Умови інвентаризації наступні:

- вимірювання і аналізи по затверджених методиках;
- вимірювання повинні проводитись у період не менше трьох діб;
- стійка робота агрегату в проєктному режимі;
- справний технічний стан агрегату і допоміжного устаткування;
- повинні бути підготовлені місця для виконання вимірювань і відбору проб.

РОЗДІЛ 2. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОФОРМЛЕННЯ І КОМПОНУВАННЯ ГАЗООЧИСНИХ СПОРУД

2.1 Класифікація компоновок

Компоновка газоочисних споруд діляться на декілька типів.

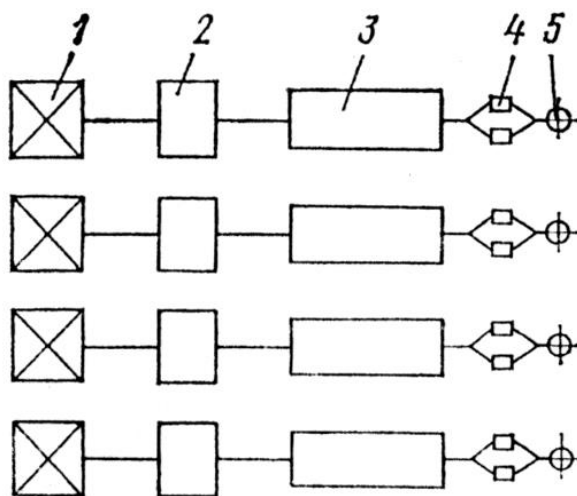
За **технологічними** ознаками:

- пониткова;
- колекторна;
- змішана.

За **будівельними** ознаками:

- розвинена по горизонталі;
- розвинена по вертикалі;
- змішана;
- роз'єднана.

Пониткова компоновка (рис. 2.1), коли кожне джерело викидів має відповідний тракт газоочищення, що незалежний від інших трактів і не сполучається з ними. Робота газоочищення впливає на роботу основного технологічного устаткування. А нестабільна робота агрегату-джерела негативно відбивається на газоочищенні.

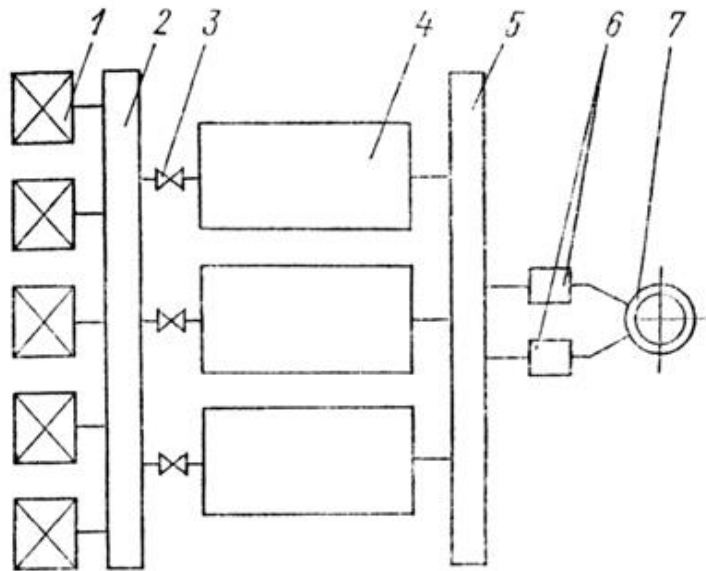


1 – джерело викидів; 2 – перший ступінь очистки; 3 – другий ступінь очистки; 4 – ТДМ (робоча та резервна); 5 – димова труба

Рисунок 2.1 – Пониткова компоновка

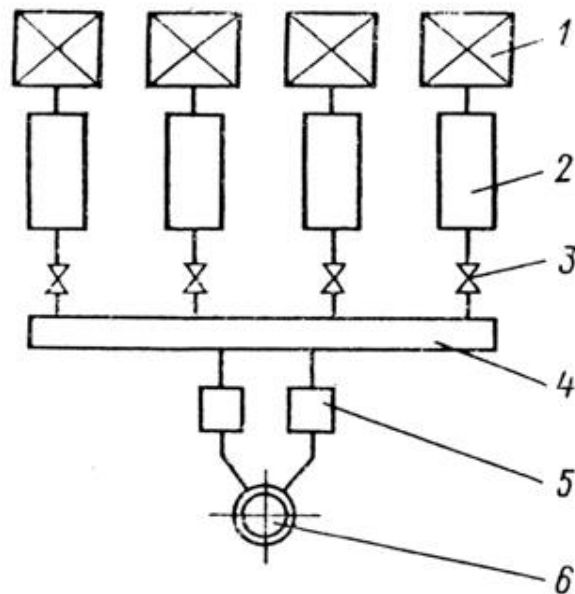
Розводка за допомогою колектора (рис. 2.2) як первинного пелоосаджувача застосовується в найбільш великих газоочисних спорудах. Це дозволяє видалити більш крупні фракції суспензії в газовому потоці, а також усереднити по складу і температурі газовий потік (при нерівномірній і неодноразовій роботі апаратів-джерел).

Варіант змішаної (рис. 2.3) **компоновки** використовують, коли роздача запиленого газу по апаратах пов'язана з труднощами, а збір очищеного газу вирішується без особливих проблем.



1 – джерело викидів; 2 – колектор, що роздає; 3 – запоро-регулюючий пристрій; 4 – газоочисний апарат; 5 – колектор, що збирає; 6 – ТДМ (робоча та резервна); 7 – димова труба

Рисунок 2.2 – Варіант колекторної компоновки



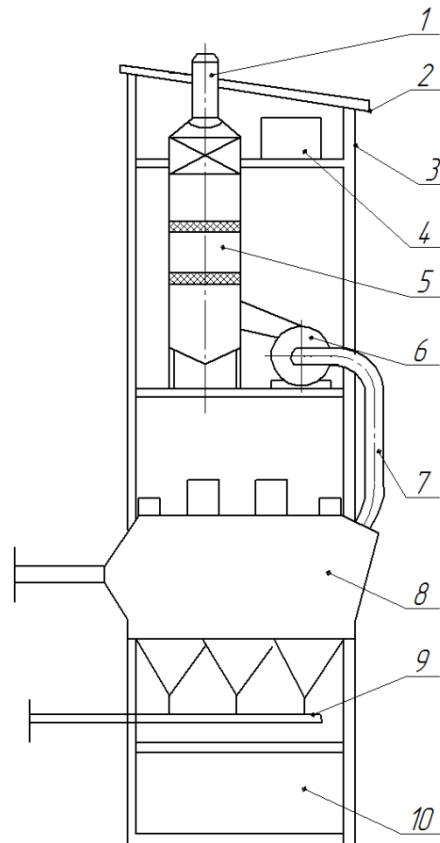
1 – джерело викидів; 2 – газоочисний апарат; 3 – запоро-регулюючий пристрій; 4 – колектор, що збирає; 5 – ТДМ (робоча та резервна); 7 – димова труба

Рисунок 2.3 – Варіант змішаної (за технологічними ознаками) компоновки

За будівельними ознаками **розвинена по горизонталі компоновка**, коли опорні облаштування усіх елементів газоочищення розташовуються на відмітці, прийнятій на цій промисловій площі за нульову, або якщо їх

відхилення від $+0,00$ є мінімальним. Переваги – немає важких несучих конструкцій; недоліки – наявність великих площ.

Розвинена по вертикалі компоновка характеризується відносно малою прямою забудови в плані і значною висотою. Необхідно застосовувати посилені будівельні конструкції (враховуючи заповнення апаратів пилом або рідиною); але таке компонування займає менше місця в плані (рис.2.4).

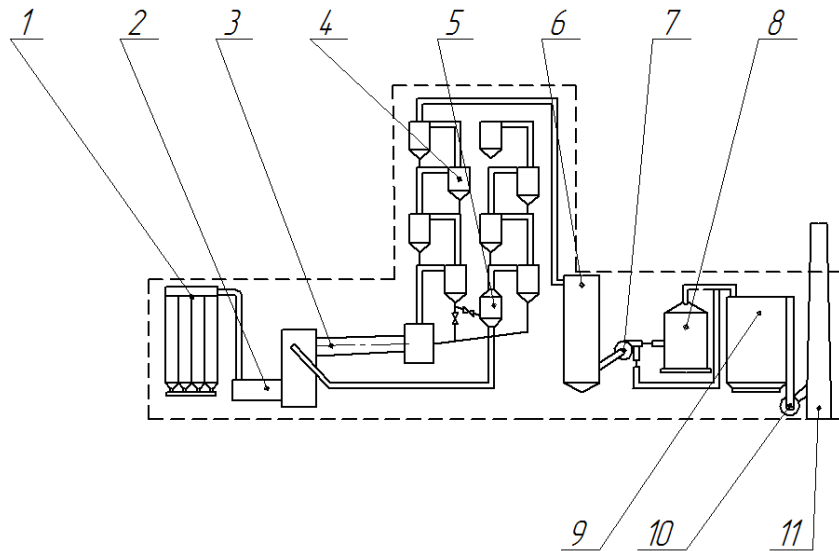


1 – вихлопна свічка; 2 – покрівля; 3 – несуча колона; 4 – бак для розчину; 5 – пінний апарат; 6 – ТДМ; 7 – пилогазопровід; 8 – електрофільтр; 9 – система видалення пилу; 10 – приміщення перетворювальної підстанції

Рисунок 2.4 – Приклад вертикально розвиненої компоновки

Змішана: основне устаткування скомпоновано по горизонталі, а блоки деякого устаткування по вертикалі (наприклад, циклонні теплообмінники), рис. 2.5.

Роз'єднана: різні вузли (східці) однієї газоочисної споруди розміщені на різних майданчиках, іноді пов'язаних довгими комунікаціями (наприклад, на старих, щільно забудованих підприємствах).



1 – рукавний фільтр; 2 – колосниковий холодильник; 3 – піч випалу цементу; 4 – циклонні теплообмінники; 5 – декаборнізатор; 6 – скруббер-кондиціонер; 7 – ТДМ; 8 – сировинний млин; 9 – електрофільтр-сепаратор; 10 – ТДМ; 11 – димова труба

Рисунок 2.5 – Варіант змішаної (за будівельними ознаками) компоновки

2.2 Оцінка якості компоновок

Проекти, що є близькими технологічними аналогами, можуть істотно відрізнитися компонуванням устаткування. Це відіграє важливу роль при виконанні проектів на конкурсній основі.

Оцінка якості компонувань заснована на понятті «компактність».

Компактність може бути проєкційна і об'ємна.

Коефіцієнт проєкційної компактності:

$$K_{п.к.} = \frac{\sum S_{уст}}{S_{п.з}}, \quad (1.3)$$

де $\sum S_{уст}$ – сума площ проєкцій устаткування на пляму забудови, м²;
 $S_{п.з}$ – площа плями забудови, м².

Коефіцієнт об'ємної компактності:

$$K_{о.к.} = \frac{\sum V_{уст}}{V_{заб}}, \text{ безрозмірний} \quad (1.4)$$

або

$$K_{o.k.} = \frac{\sum M_{уст}}{V_{заб}}, \text{ кг/м}^3 \quad (1.5)$$

де $\sum V_{уст}$ – сумарний об'єм обладнання в об'ємі простору, бічні межі якого співпадають з межами плями забудови; верхня межа - площина, що проходить через верхню точку комплексу, що будується, м³;

$V_{заб}$ – об'єм простору плями забудови, яку розглядають, (включаючи заглиблення, приямки, що знаходяться нижче +0,000), м³;

$\sum M_{уст}$ – сумарна маса устаткування, розміщеного в просторі плями забудови, кг.

Якщо газоочищення розміщується на декількох окремих плямах забудови, коефіцієнт компактності розраховується окремо для кожної плями, а потім усереднюється:

$$K_{п.(o.)к.} = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{n} \quad (1.6)$$

Проекції усього устаткування (навіть по вертикалі) підсумовуються.

Таким чином: $K < 1$ – горизонтальне компонування; $K = 1$ – перехідне значення; $K > 1$ – вертикальне компонування.

Для вертикально розвинених компонувань, характерним є **висотно-масовий коефіцієнт**:

$$K_{в.м.} = \frac{M_1 h_1 + M_2 h_2 + \dots + M_i h_i}{M_1 + M_2 + \dots + M_i}, \quad (1.7)$$

де h_i – відстань від площини відліку до центру тяжіння i -го апарату, м;

M_i – маса i -го апарату, кг;

i – число апаратів.

Щоб при проектуванні не виникло ситуацій з невиправдано розтягнутими комунікаціями, ненормально великими просвітами між апаратами, довгими перехідними містками і так далі, необхідно чисельно аналізувати і порівнювати різні компонування.

РОЗДІЛ 3. СУМІЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ. РЕЖИМНА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ

3.1 Основні технологічні функції апаратів очищення

Технологічні процеси очищення газових викидів ґрунтуються на фізичних та хімічних властивостях забруднювачів та використанні основних фізичних закономірностей, внаслідок яких відбувається пиловловлювання. Видалення пилоподібних частинок з газових потоків відбувається з використанням сухих та мокрих технологій очищення [2,3].

Удосконалення технологічних процесів та розробка нових мало- й безвідходних технологій шляхом створення безперервних замкнутих процесів, що дозволяють вловлювати й утилізувати газові відходи, базується на використанні одного або декількох механізмів осадження завислих в газах частинок.

Основними механізмами осадження завислих частинок є дія сил гравітації, інерції, дифузії, відцентрових сил та сил зачеплення [2,3].

Осадження під дією сил гравітації (седиментація) обумовлене вертикальним осіданням частинок внаслідок дії сили ваги при переміщенні їх через газоочисний апарат. Гравітаційне осадження застосовують для грубого очищення газових викидів від запилених частинок розміром 0,3...10 мм та більше.

Осадження під дією відцентрової сили відбувається при криволінійному русі аеродинамічного потоку, коли виникають відцентрові сили, під дією яких частинки пилу відкидаються на поверхню апарата. Відцентрове осадження частинок застосовують для очищення запиленого повітря з температурою до 500°C від частинок розміром більше 5 мкм при швидкості руху газів 2...5 м/с.

Інерційне осадження відбувається у випадку, коли маса частинки або швидкість руху настільки незначні, що вона вже не може рухатися разом з газом по лінії течії, що охоплює перешкоду. Намагаючись за інерцією продовжувати свій рух, частинки пилу стикаються з перешкодою і осаджуються на ній.

Інерційне осадження частинок застосовують для грубого очищення газових викидів від запилених частинок розмірами менше 25...30 мкм при швидкості руху газів 10...15 м/с.

Дифузійне осадження відбувається внаслідок того, що дрібні частинки пилу зазнають безперервної дії газів, які знаходяться в броунівському русі. В результаті цієї взаємодії відбувається осадження частинок на поверхні обтічних тіл або стінок пиловловлювача.

Осадження частинок за рахунок зачеплення спостерігається, коли відстань частинки, що рухається в газовому потоці, від обтічного тіла не перевищує її радіуса.

Крім основних механізмів осадження завислих частинок в технологічних процесах очищення газових викидів враховують термофорез,

дифузіофорез, фотофорез, вплив електричного й магнітного полів та радіометричних сил.

Термофорез – це відштовхування частинок нагрітими тілами. Відштовхування викликане силами, що діють на нерівномірно нагріті частинки аерозолів, які знаходяться в газоподібній фазі. Механізм цих сил 10 суттєво залежить від відношення розміру частинки і середньої довжини вільного пробігу газових молекул.

Дифузіофорез – це рух частинки, що обумовлений градієнтом концентрації компонентів газової суміші, який проявляється в процесах випаровування та конденсації. Градієнт концентрації пару, що виникає при випаровуванні, є причиною гідродинамічної течії парогазової суміші, що впливає на осадження частинок.

Фотофорез – це рух частинок аерозолію, що освітлені з однієї сторони. Характер цього явища визначається розподіленням температур в освітлювальній частинці, яке залежить від форми і розміру частинок, прозорості та показника заломлення матеріалу. Якщо сторона, що звернена до світла, більш гаряча, ніж зворотна, то частинка буде віддалятися від джерела світла.

У технологічному обладнанні для пиловловлювання в більшості випадків одночасно беруть участь в очищенні газового потоку декілька фізичних процесів. Але, частіше, тільки один з них є домінуючим при осадженні частинок певного типу. При проектуванні технологічних процесів і конструюванні газоочисного обладнання необхідно в першу чергу визначити тип речовини, що видаляється з газового потоку, її об'єм та параметри.

Видалення частинок пилу з газових потоків з використанням гравітаційного, інерційного, відцентрового й дифузійного осадження та за рахунок зачеплення реалізується технологічним обладнанням для сухого або мокрого пиловловлювання, класифікація якого наведена на рис. 3.1. Класифікація пиловловлювачів за їх ефективністю залежно від дисперсності пилу наведена на рис 3.2 [2,3].

Характеристика видів технічного обладнання для знепилення, область найдоцільнішого його використання залежно від дискретності пилу та опір наведені на рис. 3.3

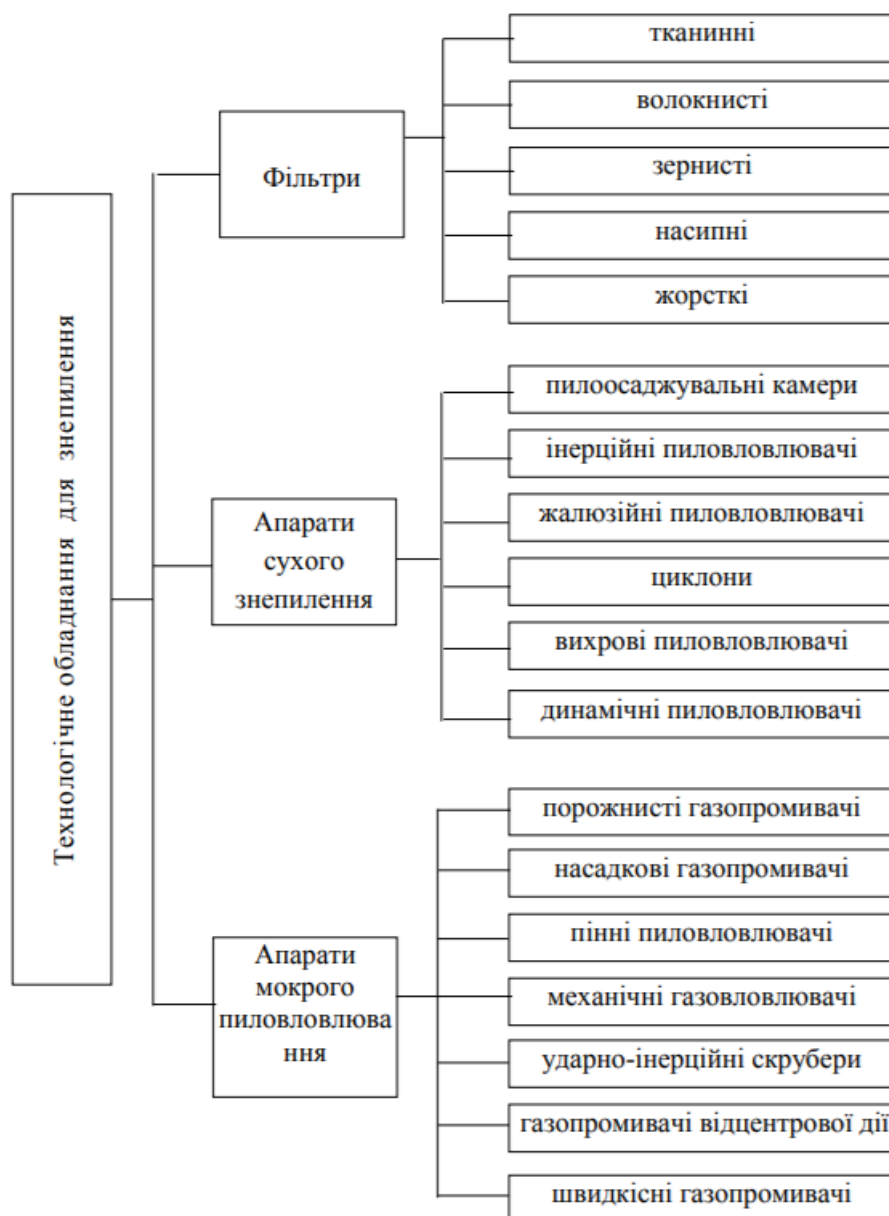


Рисунок 3.1 – Класифікація технологічного обладнання для сухого й мокрого очищення газів від пилу

Клас пиловловлювачів	Розміри частинок, що ефективно вловлюються, мкм	Нижня границя ефективності залежно від дискретності пилу	
		група дискретності пилу	ефективність, %
I	більше 0,3...0,5	V – дуже дрібнодисперсний	< 80
		IV – дрібнодисперсний	99,9...80
II	більше 2	IV – дрібнодисперсний	92...85
		III – середньодисперсний	99,9...92
III	більше 4	III – середньодисперсний	99...80
		II – великодисперсний	99,9...99
IV	більше 8	II – великодисперсний	99,9...85
		I – дуже великодисперсний	> 99,9
V	більше 9	I – дуже великодисперсний	> 99,9

Рисунок 3.2 – Класифікація пиловловлювачів за їх ефективністю

Вид пиловловлювача	Тип пиловловлювача	Клас пиловловлювача за ефективністю	Область найдоцільнішого використання за групами дисперсності пилу					Опір, кг/м ²
			I	II	III	IV	V	
Гравітаційне осадження	Пилоосаджувальні камери	V	+	+	-	-	-	20
Інерційне осадження	циклони	IV	-	+	+	-	-	200
	відцентрові скрубери	IV	-	+	+	-	-	100
	ударно-інерційні скрубери	III	-	-	+	-	-	120
	струйні ротоклони	II	-	-	+	+	-	350
	швидкісні газопромивачі Вентурі	III	-	-	+	-	-	135
		II	-	-	+	-	-	350
I		-	-	-	+	+	1000	
Фільтрація за рахунок зачеплення	тканинні фільтри	V	+	-	-	-	-	80
Інерційне й дифузійне осадження	волокнисті фільтри	III	+	+	-	-	-	60
		II	-	-	+	+	-	150
		I	-	-	-	+	+	250
Дифузійне та інерційне осадження	порожністі, насадкові та пінні пиловловлювачі	II	-	-	+	+	-	200

Рисунок 3.3 – Характеристика видів пиловловлювачів, область найдоцільнішого його використання залежно від дискретності пилу та опір

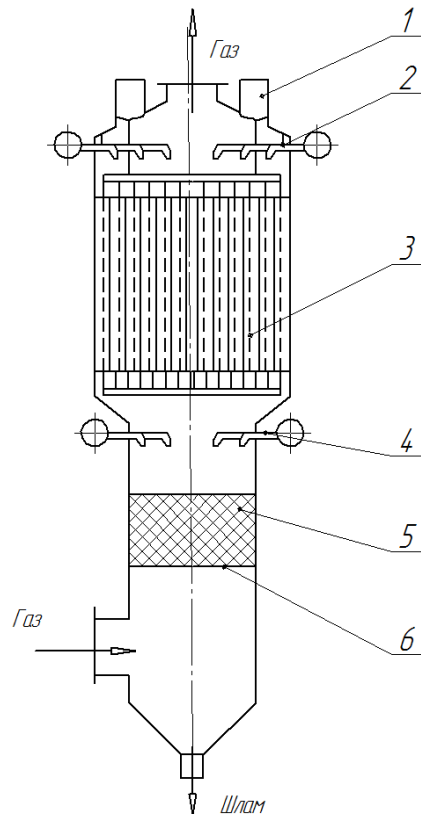
3.2 Спеціальне та нестандартизоване обладнання

Крім газоочисних апаратів загальнопромислового призначення, існують інші, конструйовані спеціально і тільки для застосування в певних специфічних умовах.

Характерним прикладом може служити електрофільтр для рудно-термічних печей електросублімації жовтого фосфору. Він працює в виключно складних умовах [1], тому його конструкція різко відрізняється від звичайних електрофільтрів.

На глиноземних заводах застосовується комбінований скруббер-електрофільтр (КМ – комбінований, мокрий). Він призначений для тонкого очищення газів, що спрямовуються у відділення карбонізації. Схема такого електрофільтра представлена на рис. 3.4.

Від попереднього він відрізняється тим, що в принципі може бути використаний в інших галузях виробництва, якщо в цьому виникне необхідність.



1 – ізоляторна коробка; 2 – змивні форсунки; 3 – система коронуючих та осаджувальних електродів; 4 – зрошувальні форсунки скруберної частини; 5 – насадка; 6 – опорні ґрати

Рисунок 3.4 – Скрубер-електрофільтр

Серед рукавних фільтрів особливе місце займає апарат ФРМ-1440, розроблений спеціально для знепилення повітря в замкнутих системах вентиляції та аспірації на азбестозбагачувальних комбінатах. Завдяки специфічним властивостям волокнистого азбестового пилу і ретельно відпрацьованим на експериментальному стенді режимам фільтрації і регенерації, фільтр дає залишкову запиленість не більше $0,5 \text{ мг/м}^3$. Цей апарат [1-3] в принципі можна використовувати і в інших галузях виробництва, проте в зв'язку з іншими властивостями пилу залишкове запилення буде на один-два порядки вище, тобто для замкнутих вентиляційно-аспіраційних систем він буде непридатний.

До спеціальних пристроїв можна віднести мокрий пиловловлювач для вагранних печей [1-3]. Він розроблений у різних конструктивних виконаннях, але спільність всіх модифікацій – його призначення для встановлення безпосередньо на верхньому обрізі шахти вагранки та інших технологічних агрегатів непридатний.

До нестандартизованого обладнання (НО) відносяться нескладні апарати, механізми, пристрої та пристрої, які відсутні в номенклатурі заводів-виготовлювачів, не передбачені загальнопромисловою нормативно-технічною документацією, однак є необхідними для застосування в даному проєкті. Креслення нестандартизованого обладнання розробляються безпосередньо під час проєктування. Виготовляється воно за індивідуальними замовленнями на підприємствах, де таке замовлення вдається розмістити, а нерідко прямо на будівельному майданчику.

Відношення до розробки НО з боку проєктувальників має визначатися такими міркуваннями:

1. Розміщення замовлень на НО завжди пов'язане з великими труднощами. Незалежно від організації виробництва на заводі-виробнику (яка постійно зазнає змін) замовлення на НО завжди є позаплановим і випадає з рамок загальної налагодженої технології. Положення посилюється тим, що це замовлення, як правило, невелике за обсягом і часто зводиться до виготовлення декількох, а іноді і єдиного виробу. Тому заводи або відмовляються від виконання замовлень на НО, або приймають їх без гарантій термінів виготовлення. В результаті, НО часто доводиться виготовляти в недостатньо обладнаних місцевих механічних цехах або ремонтних промайданчиках. Останнє призводить до різкого зниження якості виготовлення.

При проєктуванні слід шукати всі можливості для того, щоб замість нестандартизованого застосовувати промислове обладнання, що є в номенклатурах заводів. Це потрібно робити навіть у тих випадках, коли серійне обладнання за будь-якими показниками (маса, вартість, габарити) виявляється гіршим за нестандартизоване, яке могло б бути сконструйоване. Це перевірено багаторічною практикою. Такий підхід себе виправдовує, оскільки витрати сил і часу на досягнення домовленості про виготовлення нестандартизованого обладнання зазвичай зводять нанівець економію, що досягається за рахунок його використання у проєкті.

У випадках, коли розробка НО є необхідним, замовник та автори проєкту складають двосторонній документ, у якому обґрунтовують необхідність зазначеної розробки та точно визначають шляхи її реалізації. Питання, де виготовлятиметься НО, вирішується до складання згаданого документа шляхом попередньої домовленості з підприємством-виробником (договірність фіксується документально). Допускається вирішення питання у наступному формулюванні: «Замовник проєкту бере на себе розміщення замовлення виготовлення нестандартизованого устаткування».

3.3 Утилізація теплоти газів, що викидаються

У зв'язку з енергозбереженням, якому в останні роки приділяють багато уваги, постало питання про утилізацію теплоти летких промислових викидів.

З технологічної точки зору утилізацію можна розділити на первинну та вторинну.

Первинна – відбір теплоти від викидних газів безпосередньо без проміжних агентів. Вона здійснюється за допомогою теплообмінних пристроїв, вмонтованих в основний тракт газоочищення.

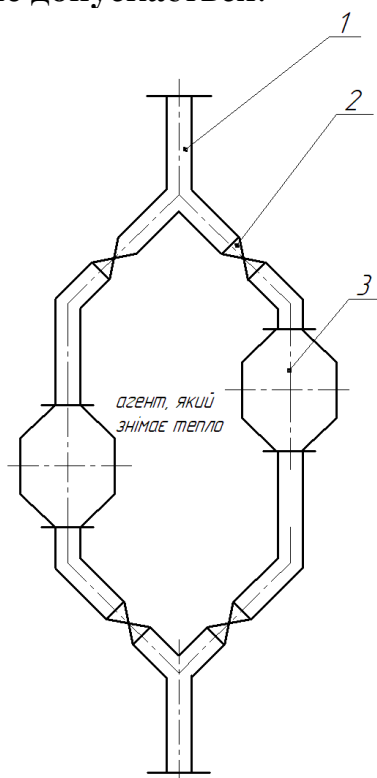
Вторинна – відбір теплоти від проміжного агента, що нагрівся в результаті контакту з викидними газами. Наприклад, при охолодженні гарячого газу водою в скрубєрі остання нагрівається. Якщо вбудувати теплообмінник у систему циркуляції води, це буде вторинна утилізація. Обидва способи утилізації застосовуються практично.

Розрахунок теплообмінних пристроїв проводять загальновідомими методами. Однак при проектуванні утилізації теплоти у складі газоочисних споруд виявляються деякі специфічні аспекти. Так, **найвигідніше утилізувати теплоту на самому початку тракту газоочищення.** По-перше, тут газ має найвищу температуру; по-друге, знімання частини теплоти знизить об'єм газів і, отже, зменшить розміри всієї наступної газоочисної апаратури. Однак, якщо очищення піддається не парогазовий викид, а аерозоль, то на початку тракту його концентрація теж буде найбільшою. Це спричиняє значні труднощі при виборі теплоутилізаційних пристроїв. У принципі можуть бути використані **три типи утилізатора**: котел-утилізатор, теплообмінник (трубчастий або пластинчастий типу газ – газ або газ – рідина) та калорифер.

Відомі котли-утилізатори працюють більш менш надійно при запиленості газу не більше 100 г/м^3 . Але і тоді вони потребують періодичного очищення теплообмінних поверхонь, оскільки навіть невеликий шар пилу, що осів, призводить до різкого зниження коефіцієнта теплопередачі. **Котел-утилізатор, розташований у безпосередній близькості до джерела викиду, не повинен відноситись до обладнання газоочищення.** Він є досить складним теплотехнічним агрегатом, причому вироблена ним пара зазвичай використовується для потреб основного технологічного процесу [1].

При підготовці проектування та укладанні договору доцільно передавати установку котла-утилізатора генпроектувальнику, який має спеціалістів-теплотехніків потрібної кваліфікації. Досвід показав, що включення установки котла-утилізатора в межі газоочисної споруди призводить до різних ускладнень у ході проектування, будівництва та експлуатації. Відзначені випадки, коли пусконаладжувальні роботи на котлах-утилізаторах проводилися дуже важко і довго, причому до цих робіт залучалися фахівці, які не мають жодного відношення до очищення газів.

Теплообмінники проектувальники можуть вибирати на власний розсуд відповідно до паспортних даних та номенклатурних переліків заводів-виробників. Під час роботи теплообмінників на сильно запиленому газі рекомендується запилений газ направити через теплообмінник зверху вниз і щоб забезпечити періодичне очищення поверхонь, покритих пилом. Щоб уникнути експлуатаційних ускладнень та непередбачених зупинок газоочищення, рекомендується встановлювати теплообмінники зі 100 %-м резервуванням (рис. 3.5). Щодо калориферів, то встановлення їх на запиленому газі взагалі не допускається.



1 – пілогозопровід; 2 – запірно-регулюючий пристрій; 3 – теплообмінник типу газ-газ або газ-вода

Рисунок 3.5 – Схема встановлення теплообмінників на тракті очищення газів

У зв'язку з викладеними обставинами у газоочисних спорудах утилізація теплоти нерідко вимушено передбачається після завершення основного процесу газоочищення. При цьому відпадають труднощі, викликані наявністю пилу, але значно знижується кількість теплоти, що утилізується. Сьогодні рукавні фільтри загальнопромислового застосування допускають температуру газу не вище 200-250 °С, електрофільтри – не вище 400-450 °С. Якщо газ надходить від джерела викиду з вищою температурою (нерідко до 800-900 °С), він все одно підлягає охолодженню, але без утилізації теплоти [1].

При утилізації теплоти в межах газоочисних споруд слід дотримуватись загального правила: утилізатори розміщувати там, де відбір теплоти буде максимально можливим з урахуванням запилення газу.

Вторинна утилізація застосовується в системах мокрого очищення газів. Зазвичай у систему циркуляції зрошуючої рідини вбудовуються теплообмінники типу вода-вода. Така схема, зокрема, добре відпрацьована в целюлозно-паперовій промисловості [1] при очищенні викидних газів содорегенераційних котлів.

Оскільки утилізація теплоти летких промислових викидів швидко набуває характеру міжгалузевої, економічно важливої проблеми, слід вирішувати її одночасно за декількома напрямками: необхідно терміново розробляти, по-перше, газоочисне (пиловловлююче) обладнання, здатне працювати при високих (до 600-700°C) температурах газів, а по-друге, котли-утилізатори та інше теплообмінне обладнання, що надійно працює в середовищі сильно запиленого газу. Обидва ці завдання технічно досить складні, але економічний ефект від їх вирішення виявиться дуже значним.

3.4 Кондиціонування газів

Кондиціонування (підготовка) газів перед очищенням здійснюється або з метою інтенсифікації процесів в основних газоочисних апаратах, або для забезпечення нормальної їх експлуатації.

Існує чотири способи кондиціонування.

Охолодження газів. Верхня межа температури визначається матеріалами, з яких виготовлені апарати. Для електрофільтрів – це матеріал електродів і корпусу, для рукавних фільтрів – тканина рукавів.

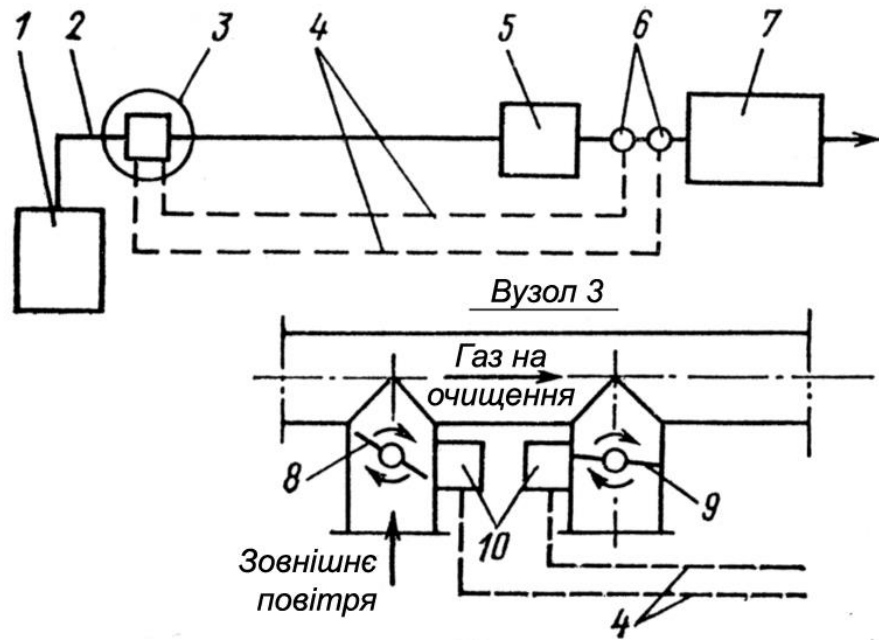
Підігрів газів застосовується для виключення конденсації парів води і кислот.

При зволоженні надто сухих газів покращуються властивості проміжку між коронуючими та осаджувальними електродами в електрофільтрах і знижується ПЕО пилу.

Введення в газовий потік спеціальних добавок (аміаку та інших), які інтенсифікують процес в електрофільтрі.

Охолодження газів (рис. 3.6) виконується за рахунок підсосу зовнішнього повітря. Його місце розташування визначається типом апарату очищення, щоб забезпечити максимальне перемішування гарячого і холодного потоку.

Підігрів газів (рис. 3.7) можна проводити шляхом спалювання палива в окремій топці з наступним вдуванням продуктів горіння в потік газу, що кондиціонується.



1—джерело викиду; 2 – пилогазопровід; 3 – вузол автоматичного підсосу; 4 – імпульсні лінії від датчиків до блоку автоматичного підсосу; 5 – перший ступінь очищення; 6 – датчики (робочий і аварійний); 7 – другий ступінь очищення; 8 – 9 – дросельні клапани робочого і аварійного підсосу; 10 - приводні механізми

Рисунок 3.6 – Автоматичний пристрій для підсосу зовнішнього повітря в тракт газоочищення

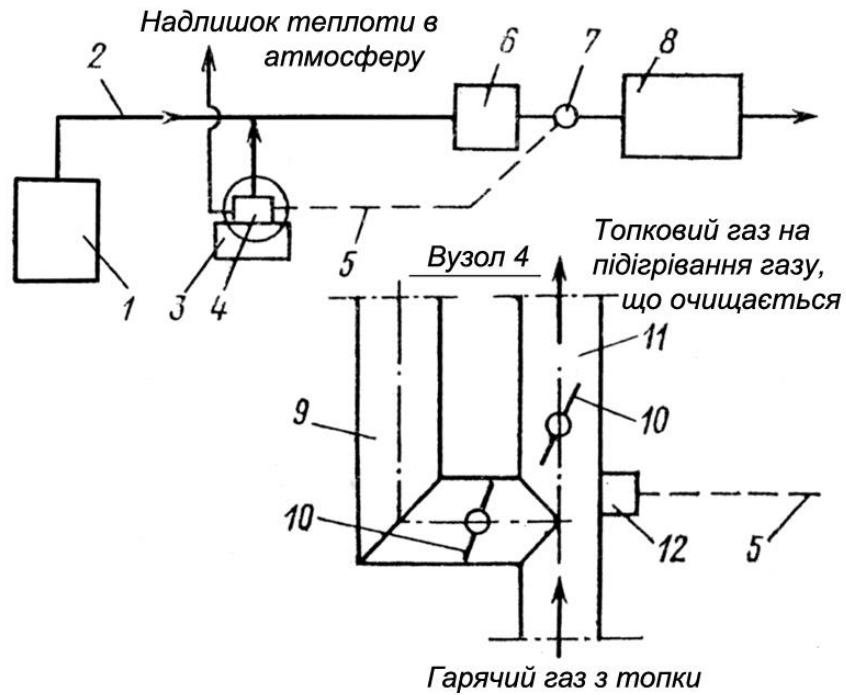
При проектуванні підігріву слід враховувати допустимий інтервал:

$$t = t_{\max} - t_0 , \quad (3.1)$$

де t_0 – температура газу, що очищається, яка перевищує на 20-30 °С «крапку роси»;

t_{\max} – температура, яка максимально допускається за конструктивно-технологічними міркуваннями, °С.

Витрата гріючого газу, що вводиться до газоочистки, м³/с:



1 – джерело викиду; 2 – пилогазопровід; 3 – топка; 4 – вузол розподілення потоків гарячого газу; 5 – імпульсопровід; 6 – перший ступінь очищення; 7 – датчик температури; 8 – другий ступінь очищення; 9 – труба вихлопу надлишку гарячого повітря; 10 – дросель; 11 – труба подання гарячого газу в систему очистки; 12 – приводний механізм

Рисунок 3.7– Автоматичний пристрій для підігріву газів

$$q_{г.г} = \frac{q_{о.г} (t_{см} - t_{о.г})}{(t_{г.г} - t_{см})}, \quad (3.2)$$

де $q_{о.г}$ – витрата газу, що очищається, м³/с;
 $t_{о.г}$ – його температура, °С;
 $t_{см}$ – температура газу після змішування, °С;
 $t_{г.г}$ – температура гарячого газу, °С.

Для зволоження найчастіше використовують скрубери повного випару.

Вони переважно застосовуються перед електрофільтрами, значно рідше – перед рукавними фільтрами. У другому випадку вони використовуються лише для охолодження, а зволоження є небажаним, але неминучим явищем.

Важливо звернути увагу на обставину, недооблік якої може призвести до повної непрацездатності всієї газоочисної споруди. Повне випаровування може бути гарантовано надійно при температурі газу 180-200 °С і більше. За меншої температури небезпечні її коливання. Скрубери повного випаровування, призначені для роботи за порівняно невисокої температури газу, повинні забезпечуватися абсолютно надійним

регулюванням витрати води. Ступінчасте регулювання (вимикання одного або двох ярусів форсунок) зручне в області високих температур (400-800°C); при температурах нижче 200-250°C потрібно вже плавне регулювання. Теоретично повне випаровування можливе і при 120-130°C, проте в цій області температур їх коливання можуть призвести до занесення крапельної вологи в апарат, призначений тільки для сухого уловлювання.

Засоби для гнучкого і точного регулювання витрати води залежно від температури газу є, проте їхня працездатність визначається не тільки їх власними характеристиками, але й умовами експлуатації (захистом від суворих кліматичних умов, кваліфікацією персоналу, загальною культурою виробництва на даному підприємстві).

У ситуаціях, коли температура газу лежить у межах 100-200 °С, а властивості пилу такі, що без попереднього кондиціювання не обійтися, доцільно розглянути варіант з використанням рукавних фільтрів.

Можливість упорскування розпиленої води в потік газу має визначатися на основі врахування властивостей пилу. Якщо пил реагує з водою (наприклад, негашене вапно, цемент, гіпс тощо), то від моменту упорскування до повного випаровування така реакція відбудуватиметься. З цього випливають два правила:

1. Не можна вводити воду у вигляді крапель або туману в аерозольний потік за наявності в ньому частинок, що мають виражені гідрофільні властивості, здатні при взаємодії з водою змінити свій хімічний склад або утворювати бетоноподібні та гіпсоподібні відкладення. Вводити в таку аерозоль вологу можна тільки у вигляді пари без конденсату.

2. За дотримання правила за п. 1 пар краще вводити там, де вміст пилу вже значно знижений за рахунок первинного грубого очищення. Наприклад, якщо в схемі передбачений циклон, а після нього електрофільтр, пар слід вводити після циклону (забезпечивши при цьому хороше перемішування з газовим потоком).

У ході експериментів з кондиціювання парою пічних газів у виробництві магнезиту [1] встановлено, що при об'ємній витраті пари до 1 % від об'єму газів, що очищаються, ступінь очищення підвищилася на 10 % (абс.). Збільшення витрати пари, мабуть, дало б додаткове підвищення ступеня очищення. Однак тут набувають чинності економічні фактори.

Виробництво пари вимагає спеціального обладнання, витрат палива та кваліфікованого обслуговуючого персоналу. При об'ємі газу, що очищається, від 10^6 м³/год і більше, виникає необхідність спорудження спеціальної котельні тільки для газоочищення. В ряді випадків альтернативним рішенням можливо збільшення часу перебування газу в активній зоні електрофільтра – за рахунок зниження швидкості або збільшення числа полів. Остаточне рішення може бути прийняте на підставі техніко-економічного аналізу та з урахуванням всієї специфіки даної газоочисної споруди.

3.5 Інтенсифікація процесу очищення газів

Режимна інтенсифікація – це коли робота газоочисного апарату доводиться до можливо більш напружених режимів, виходячи з властивостей газу, що очищається, і уловлюваного продукту [1-3].

Наприклад, в трубі Вентурі режимна інтенсифікація може бути досягнута збільшенням або швидкості газу в горловині, або питомої витрати зрошуючої рідини.

Для циклонів режимна інтенсифікація може бути досягнута шляхом збільшення швидкості руху газу. Проте енерговитрати $\sim v^2$, а міра очищення піднімається значно повільніше. Не можна також перевищувати верхню межу швидкості задля уникнення вторинного виносу пилу.

В тканинних фільтрах режимна інтенсифікація відбувається за рахунок збільшення швидкості фільтрації до меж "просакування" часток через тканину.

Проте перераховані методи повинні бути економічно обґрунтовані. Інакше вони ведуть до небажаних енерговитрат.

Конструктивно-технологічна інтенсифікація. Конструктивно-технологічна інтенсифікація, коли в конструкцію газоочисного апарату вносять удосконалення, які сприяють інтенсифікації процесів, що відбуваються в ньому.

Наприклад, в електрофільтрах – заміна коронуючих електродів (замість гладких дротяних голчасті або пилкоподібні); у тканинних фільтрах: нові методи регенерації (імпульсна, струминна), нові фільтрувальні тканини, попередня електризація пилу; у "мокрих" апаратах – пристрій для розпилу рідини (покрощує контакт "газ-рідина"), введення стабілізаторів.

Спеціальні способи інтенсифікації. До спеціальних способів інтенсифікації відносяться:

- використання ефекту конденсації, коли гарячі гази перед "мокрим" очищенням насичуються водяною парою;
- попередня електрична зарядка уловлюваних часток і крапель зрошуючої рідини;
- введення поверхнево-активних речовин, що покращують змочуваність гідрофобних часток;
- підтримка ПЕО пилу в межах 10^5 - 10^{10} Ом·см шляхом збереження температурного режиму (100–200 °С).

3.6 Поєднання технологічних функцій

При проектуванні газоочисних споруд необхідно враховувати, що багато газоочисних апаратів здатні одночасно виконувати не одну, а кілька технологічних функцій. Приклади суміщення функцій наведені нижче.

Циклон, що вловлює пил (бризки) і одночасно є високоефективним змішувачем. Якщо у схемі передбачений циклон і потрібно якісне змішування газово-аерозольних потоків, це слід робити в циклоні, не вдаючись до встановлення спеціальних змішувачів.

Димосос-вентилятор створює тягу (напір) в мережі, одночасно відкидаючи за рахунок відцентрової сили аерозольні частинки до периферії ротора.

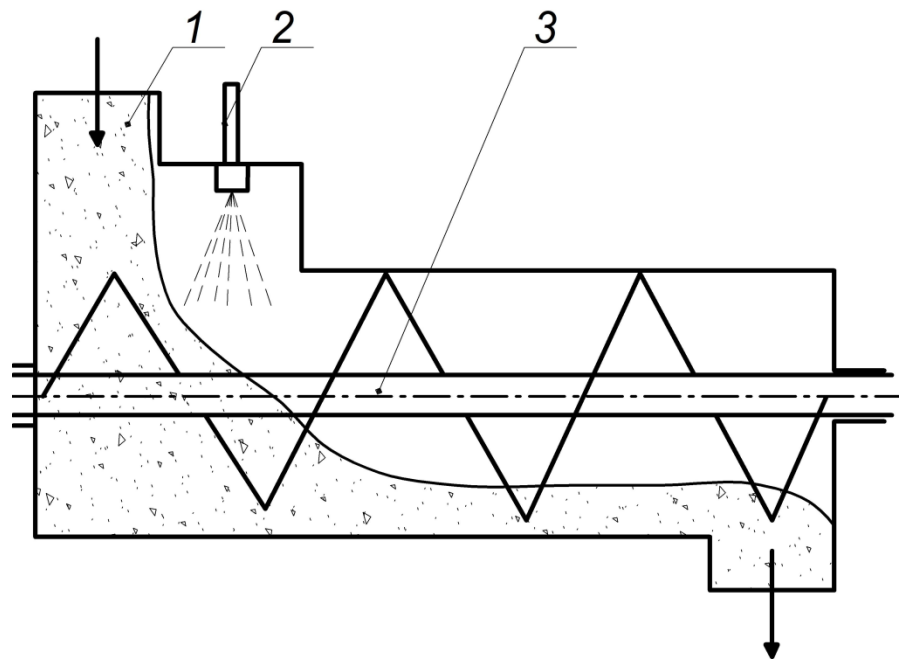
Струменевий газопромивач (ежекторний скруббер) здійснює мокре очищення газів; одночасно, завдяки введенню рідини під великим тиском (порядку 100 кПа) створює в перерізі труби як би рідинний «поршень», що інтенсивно проштовхує газ. Отже, розрахований струменевий промивач може в деяких випадках виключити необхідність установки мережі ТДМ, взявши на себе її функції.

Батарейний циклон-теплообмінник, як і звичайний циклон, може виконувати одночасно функції пиловловлення та змішування. Разом з тим завдяки наявності у батарейному циклоні значних теплопровідних поверхонь, що стикаються з гарячими газами, виникла ідея додати йому третю функцію – теплообмін.

Скрубер повного випаровування охолоджує та зволожує газ. Скрубер будь-якого типу поєднує кілька функцій: уловлювання аерозольних частинок, абсорбцію парів та газів, охолодження газу, зволоження газу при частковому випаровуванні рідини.

Шнек (гвинтовий конвеєр) у системі видалення вловленого пилу використовується як пристрій, який переміщає продукт, але при цьому відбувається його інтенсивне перемішування. Це можна використовувати для усереднення складу (гранулометричного, хімічного) пилу, уловленого від різних джерел. Крім того, шнек, у верхній частині якого встановлені зрошувачі, використовується для змочування пилу з метою виключення вторинного переходу в аерозольний стан (рис. 3.8).

Газорозподільний колектор. У деяких виробництвах, зокрема на аглофабриках чорної металургії, у зв'язку з великим об'ємом газу, що спрямовується на очищення, розведення газу газоочисними апаратами проводиться за допомогою колекторів дуже значних розмірів (з площею поперечного перерізу 40-50 м² і більше). Уникнути осадження пилу в таких колекторах неможливо, тим більше що швидкість газу в них зазвичай невелика і нестабільна в часі. Колектори такого роду розглядають як пилоосаджувальні камери для грубої очистки, забезпечують їх бункерами та засобами для видалення пилу. Інакше кажучи, тут поєднуються функції розведення газу по апаратах та грубого первинного його очищення.



1 – пил; 2 – форсунка тонкого розпили; 3 – вал шнека
Рисунок 3.8 – Шнек-змочувач

Пилові затвори встановлюються під бункерами пиловловлюючих апаратів. У деяких випадках їх функція полягає тільки в тому, щоб забезпечувати вивантаження пилу, не допускаючи зустрічного підсмоктування повітря. Однак, якщо пил вивантажується в систему пилотранспорту, що має певну максимальну продуктивність, затвор повинен дозувати вивантаження в кількості, що не перевищує продуктивність першого транспортного пристрою (шнека, магістралі пневмотранспорту або ін.). Таким чином, поєднуються функції затвора та дозатора.

При проектуванні необхідно уявляти весь комплекс функцій, який виконує кожний апарат, пристрій або **вузол** **проектованої установки**. Розрахунок і вибір устаткування слід проводити, орієнтуючись на головну технологічну функцію, але з урахуванням інших функцій.

РОЗДІЛ 4. ПРОЄКТУВАННЯ ГАЗОПРОВІДІВ ТА АРМАТУРИ. ВИДАЛЕННЯ ТА ПЕРВИННА ОБРОБКА ВЛОВЛЕНОГО ПРОДУКТУ

4.1 Пилогазопроводи

Пилогазопроводи газоочисних споруд служать для підведення газу до початку тракту газоочистки, з'єднання послідовно розташованих газоочисних апаратів та відведення очищеного газу до кінця тракту.

За домовленістю між виконавцями проєкту газоочищення, замовником та генпроектувальником визначаються місця стику пилогазопроводів газоочисних споруд з пилогазопроводами основного виробництва. Конструкція ділянок, що стикуються, повинна бути ідентичною.

Пилогазопроводи особливо великих розмірів є важкими металоконструкціями. Їх проєктування доцільно передавати на субпідрядних засадах спеціалізованій організації.

Особливим видом пилогазопроводів є підземні або наземні ліжаки – канали або тунелі перетином 1,0-12 м². Стіни, днища та перекриття ліжаків виконуються зазвичай з цегли або залізобетону; при використанні збірних залізобетонних плит необхідна ретельна герметизація стиків між ними. Проєктуючи збірні залізобетонні плити, слід враховувати відстань від найближчого заводу-виробника плит до місця будівництва.

Конструкція пилогазопроводу визначається конкретними умовами його експлуатації.

У максимальному варіанті конструкція може включати такі деталі:

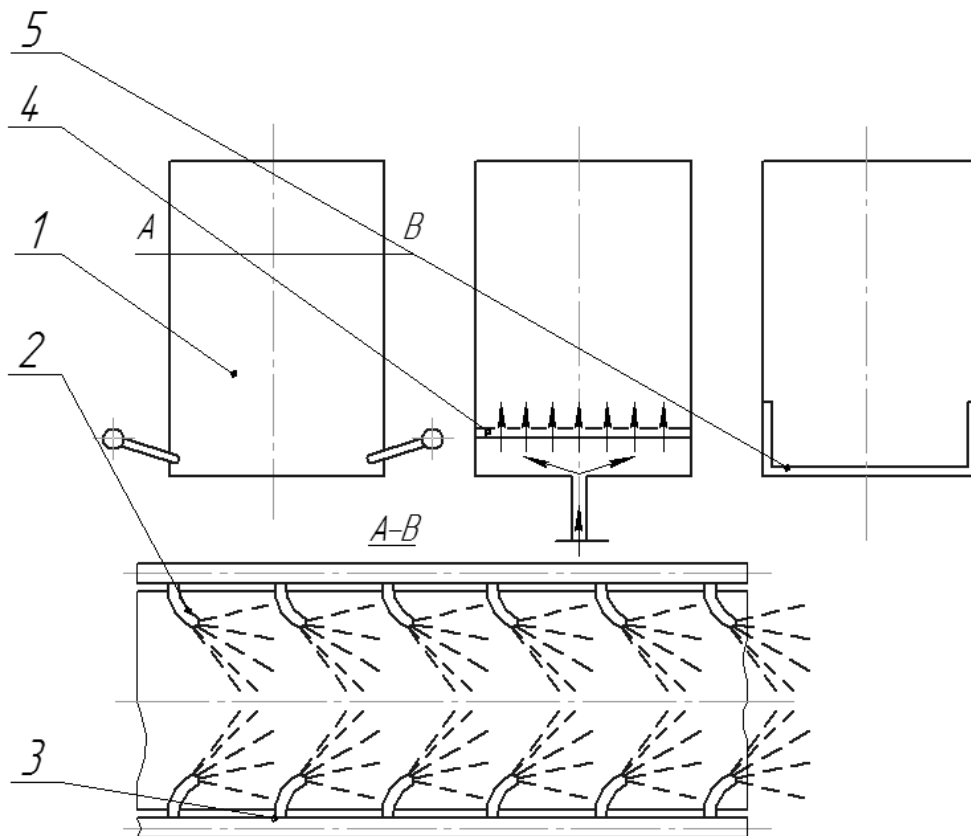
Стовбур, виготовлений з цільнотягнутих або кручених труб або з обічків, зігнутих з листового металу. Стовбури прямокутного перерізу (коробчасті) виготовляються із плоских металевих листів із посиленням ребрами із зовнішнього боку. Крім прямих ділянок до ствола відносяться різні переходи, коліна, трійники, колекторні розгалуження.

Газо- та пилерозподільні пристрої на поворотах, коротких переходах та в колекторах.

Спеціальні пристрої для запобігання утворенню пилових відкладень або накопичення конденсату. Приклади таких пристроїв показані на рис. 4.1-4.4.

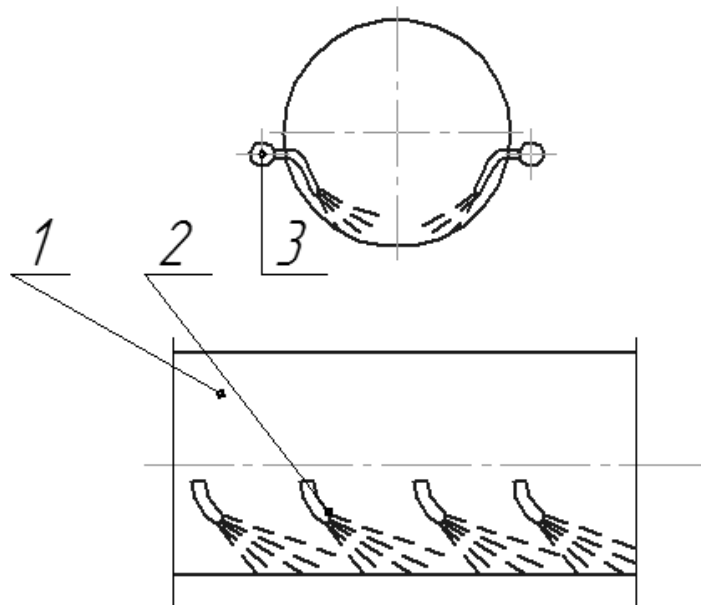
Компенсатори та запірно-регулюючі пристрої. Типаж цих елементів дуже великий. Частина показана на рис. 4.5-4.8.

Розтискні фланцеві з'єднання для встановлення заглушок безпеки (рис. 4.9).



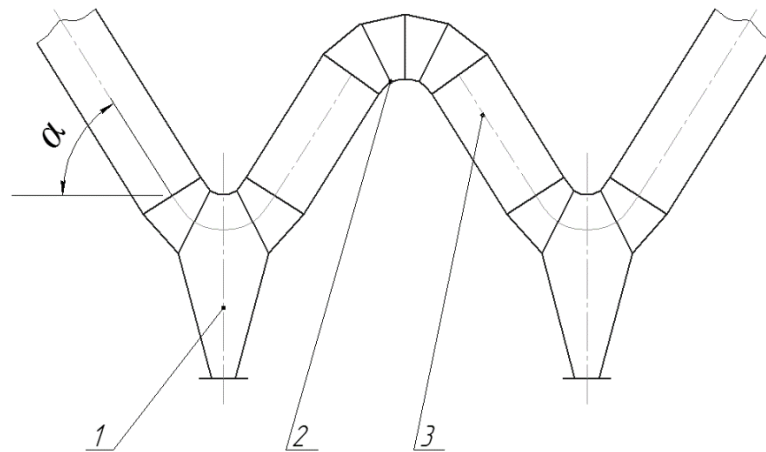
1 – стовбур пилогазопроводу; 2 – повітряні сопла; 3 – повітряний колектор; 4 – пориста перегородка для обладнання «повітряного мастила»; 5 – тонколистова пластмаса на клеї

Рисунок 4.1 – Варіанти пристроїв для боротьби з відкладенням пилу у прямокутному газопроводі



1 – стовбур пилогазопроводу; 2 – повітряне сопло; 3 – колектор стисненого повітря

Рисунок 4.2 – Обдування стисненим повітрям круглого пилогазопроводу



1 – пилозбірний бункер; 2 – коліно; 3 – пряма ділянка
Рисунок 4.3 – Зигзагоподібне прокладання пилогазопроводу

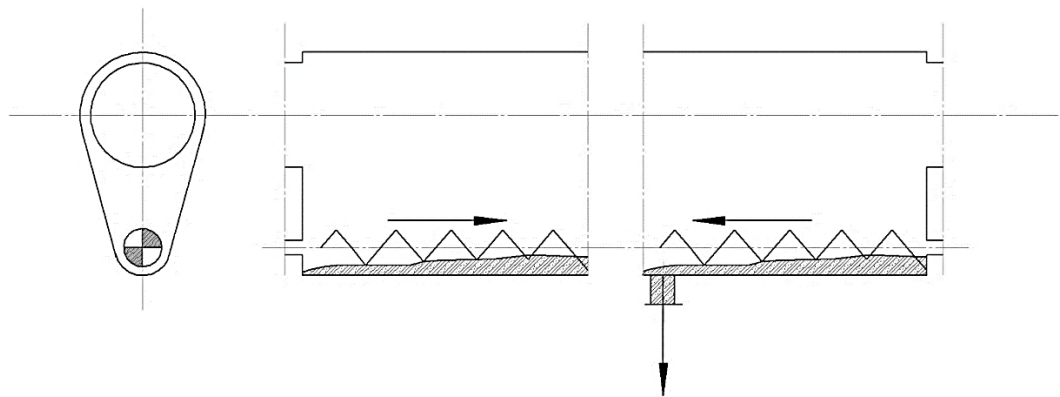
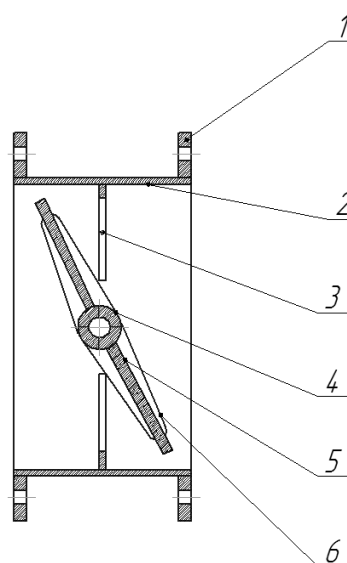
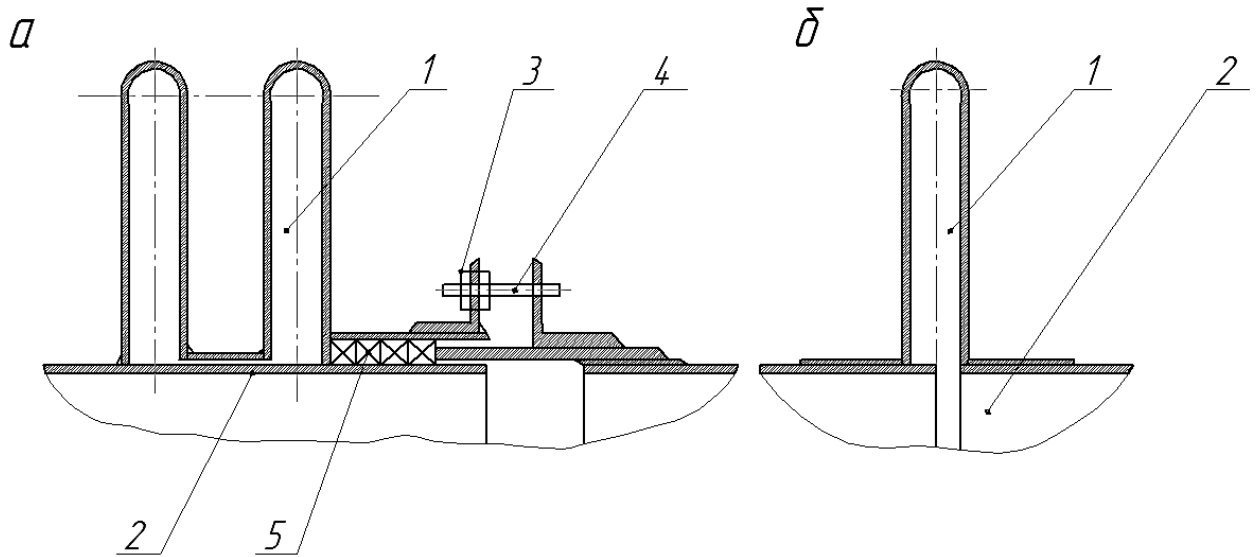


Рисунок 4.4 – Грушоподібний пилогазопровід з пилозбірним шнеком у нижній частині



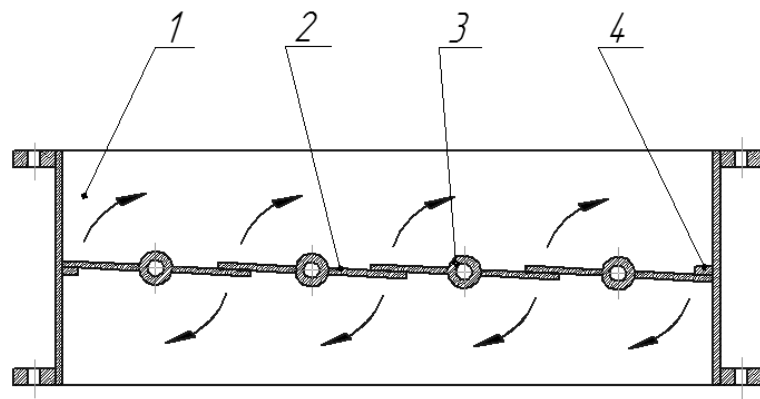
1 – фланець; 2 – обичайка; 3 – упорне півкільце; 4 – вал; 5 – лопата; 6 – ребро жорсткості

Рисунок 4.5 – Однолопатевий дросельний клапан

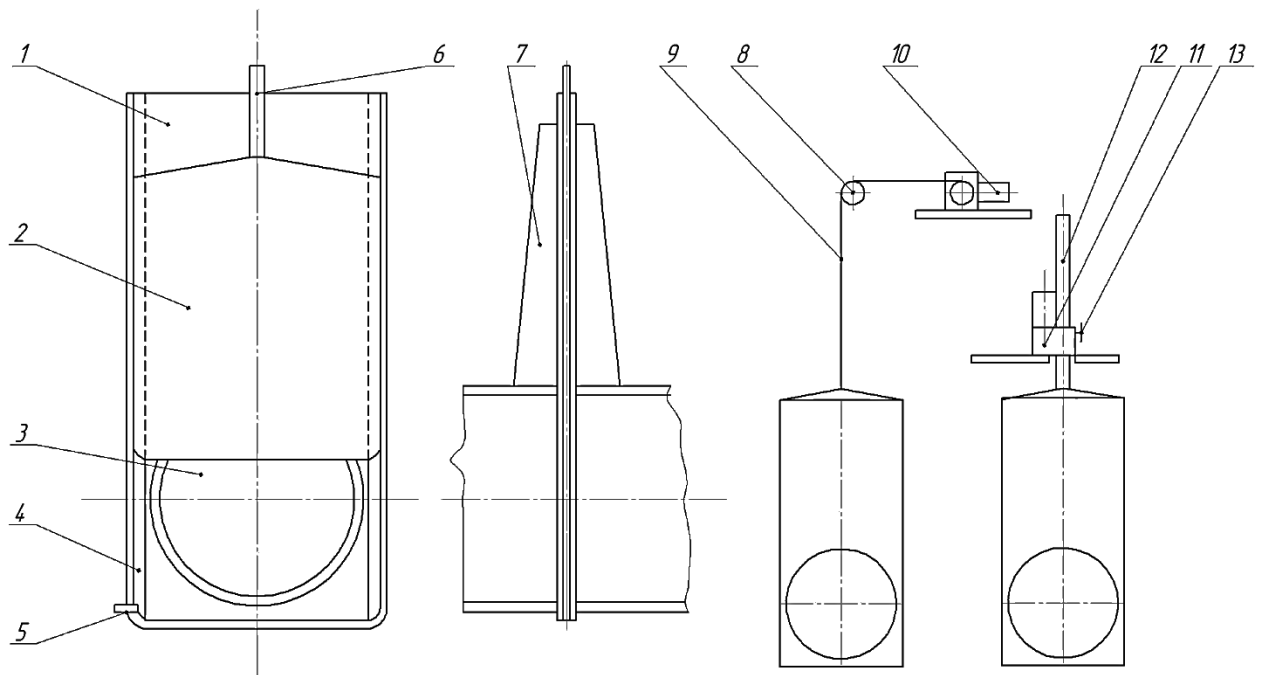


1 – лінза; 2 – основний стовбур пилогазопроводу; 3 – гайка; 4 – стяжний болт; 5 – ущільнення

Рисунок 4.6 – Компенсатори – дволінзовий з ущільненням (а) та однолінзовий без ущільнення (б)

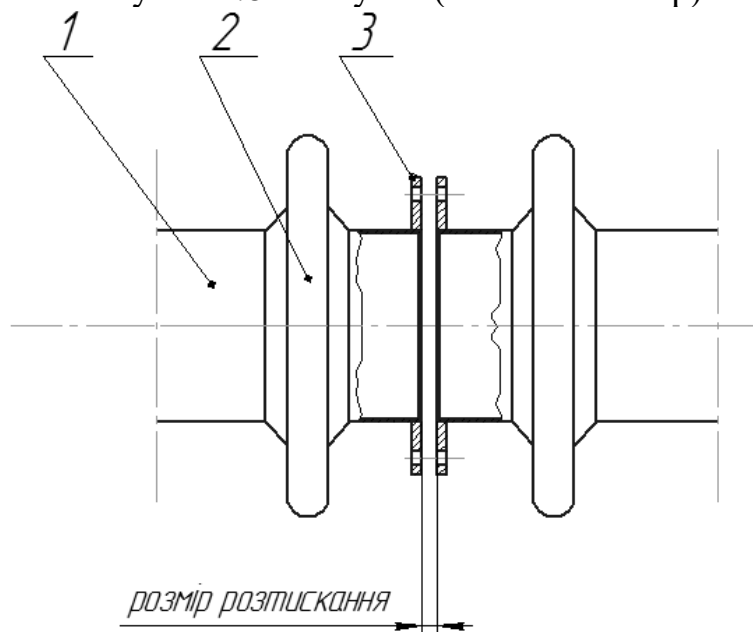


1 – корпус клапана; 2 – лопата; 3 – вал; 4 – опорна планка
Рисунок 4.7 – Багатолопатекий дросельний клапан для прямокутних пилогазопроводів



1 – рама; 2 – рухливий відсікаючий елемент; 3 – круглий пілогозопровід; 4 – напрямні; 5 – патрубок для продування стисненим повітрям; 6 – тяга (шток); 7 – ребро жорсткості; 8 – блок (для засувок з лебідковим приводом); 9 – трос; 10 – лебідка; 11 – мотор-редуктор (для засувок із прямим механічним приводом); 12 – шток з гвинтовою нарізкою; 13 – маховик ручного керування

Рисунок 4.8 – Засувка (плоский шибер)



1 – основний стовбур пілогозопроводу; 2 – лінза компенсатора; 3 – фланець

Рисунок 4.9 – Розтискне фланцеве з'єднання для встановлення заглушки безпеки

Так звані сідла, на які вкладається стіл у місцях опірання. Принцип влаштування сідла видно з рис. 4.10.

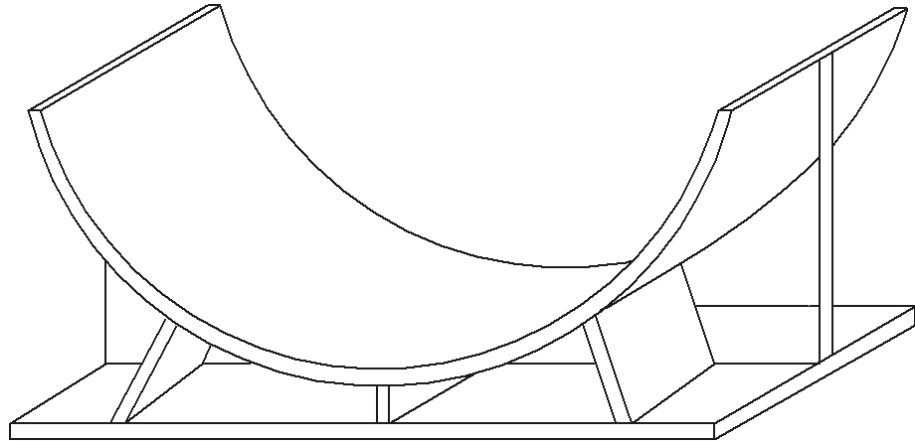


Рисунок 4.10 – Варіант «сідла», на яке укладається ствол круглого пилогазопроводу

Опори – вертикальні конструкції з металу або залізобетону, що нижнім кінцем спираються через фундамент на ґрунт, верхнім – підтримують сідло. Залежно від умов прокладання пилогазопроводу замість опор можуть застосовуватися підвіски.

Теплоізоляція. Її призначення – захист обслуговуючого персоналу від опіків та збереження теплоти газів. Останнє є особливо важливим, якщо є небезпека конденсації парів у пилогазопроводі.

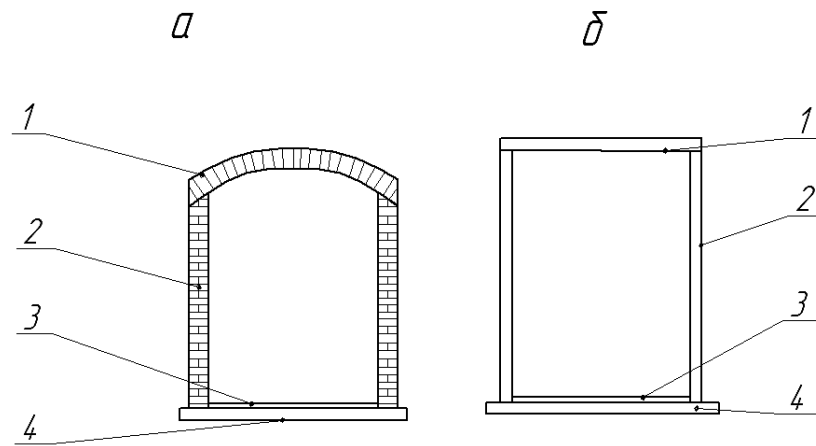
Внутрішнє протикорозійне покриття.

Внутрішнє футерування. Її призначення – захист металу від перегріву, а деяких випадках – і захист протикорозійного покриття від механічних ушкоджень.

Люки, патрубки та штуцери для встановлення контрольно-вимірювальних приладів та приєднання імпульсних трубок.

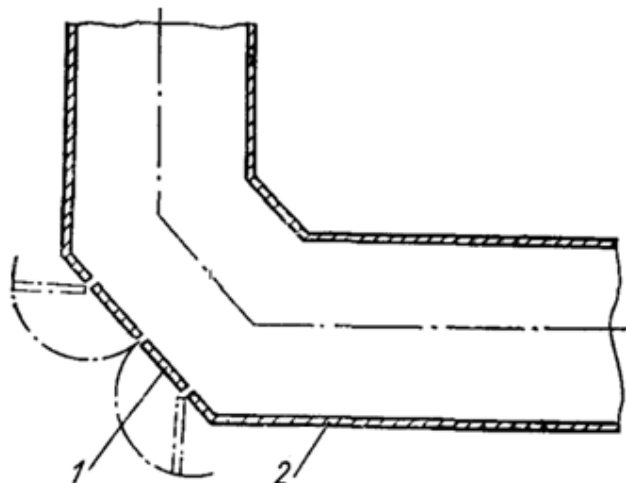
При проектуванні підземних лежаків необхідно мати на увазі труднощі, пов'язані з їх очищенням від осілого пилу, особливо якщо пил гідрофільний. Незалежно від можливості продування, розмір лежаків (російською – «боровов») повинен бути достатній для роботи в них людей. Найбільш характерні форми перерізу лежаків показані на рис. 4.11.

Лежакі, прокладені безпосередньо на поверхні землі, застосовуються рідко, оскільки вони захаращують проммайданчик. Проте вони мають одну перевагу. Якщо переріз лежака досить великий, то можна у зручному місці, наприклад, на повороті (рис. 4.12) передбачити ворота для в'їзду всередину малогабаритного бульдозера або іншого механізму, пристосованого для збирання пилу.



1 – склепіння (а) або верхня стельова плита (б); 2 – стінка (а) або бічна (стінна) плита (б); 3 – покриття підлоги; 4 – залізобетонна плита-основа

Рисунок 4.11 – Характерні форми перерізу підземних лежаків – цегляного (а) та залізобетонного (б)



1 – ворота; 2 – бічна стіна (залізобетон)
Рисунок 4.12 – Наземний димовий лежак

Розрахунок пилогазопровідних систем на міцність проводиться за методом граничних станів та з урахуванням конкретних умов експлуатації.

«Завал» пилогазопроводів пилом є у практиці експлуатації газоочисних споруд поширеним і нерідко небезпечним явищем. небезпека значно зростає, якщо скупчення пилу супроводжується конденсацією парів. На Ачинському глиноземному комбінаті пилогазопровід діаметром близько 2 м через порушення технологічного регламенту одного разу був заповнений майже на 50 % сильно зволоженою масою матеріалу із щільністю набагато вищою за розрахункову. В результаті він обвалився.

Таким чином, при аналізі завдання на проектування необхідно ретельно з'ясувати можливість подібних ситуацій та передбачати у проєкті відповідні заходи.

4.2 Попередження заповнення пилогазопроводів пилом

У практиці газоочищення утворення пилових відкладень у пилогазопроводах можливе, якщо транспортується аерозоль високої концентрації з дисперсною фазою середньої та грубої дисперсності, причому час релаксації певної частки частинок перевищує час існування окремих турбулентних пульсацій. Інакше висловлюючись, швидкість потоку недостатня запобігання осідання найбільш грубих частинок. Найбільша ймовірність цього має місце на початку тракту, де концентрація аерозолю максимальна і великі частки присутні в потоці.

Відкладення утворюються також, якщо пилогазопровід працює в умовах різко змінного швидкісного режиму.

Наприклад, якщо до одного пилогазопроводу підключено кілька джерел і частина з них буде зупинена, швидкість потоку відповідно впаде. При роботі пилогазопроводу на одне джерело в момент зупинки останнього швидкість падає до нуля, і пил, який знаходився в момент зупинки в зваженому стані, осідає, як у пилоосаджувальній камері.

Способи боротьби з відкладенням пилу в пилогазопроводах вибираються при проектуванні. Нижче перераховуються ці методи.

1. Швидкість потоку повинна виключити або мінімізувати можливість осідання пилу. Залежно від концентрації, дисперсності та щільності частинок вона вибирається в межах 15-25 м/с.

2. На ділянках транспортування неочищеного газу по можливості слід уникати довгих горизонтальних пилогазопроводів. Часто застосовується транспортування неочищеного газу газопроводами ламаного профілю з кутами нахилу а трохи більше кута природного укусу пилу. В нижніх точках перегину можна вбудувати невеликі бункери, обов'язково із системою безперервного видалення пилу.

3. Відомо, що адгезія пилу до пластмас менша, ніж до металів. Тому в окремих випадках можна **обклеювати донну частину пилогазопроводу пластмасовими листами** (фторопласт, поліпропілен та ін.). Цей спосіб поки що використовується рідко. Роботи з обклеювання технічно складні, а багато пластмас є дефіцитними і строго фондованими.

4. Особливості обладнання «повітряного мастила». Для цього в пилогазопроводі створюється хибне дно з пористої кераміки, під яке подається осушене стиснене повітря. Витрата повітря становить 0,8-1,2 м³/м² при тиску 2-4 кПа. (Остаточно ця величина визначається при пусконаладжувальних роботах). Конструкції такого роду значно збільшують вартість пилогазопровід, а керамічне хибне дно вимагає систематичної перевірки в ході експлуатації, оскільки поява в ньому щілин та тріщин порушить розрахунковий режим «мастила». Тому застосовувати їх слід на невеликих ділянках (15-20 м) і тільки в пилогазопроводах порівняно невеликих перерізів (орієнтовно до 1 м²).

5. Може бути використане обдування пилегазопроводу в його нижній частині концентрованими струменями повітря з простих щілинних сопел. Відстань між соплами, витрата повітря і напрямок струменів підбираються так, щоб по можливості перекривалася вся поверхня, де можливе відкладення пилу. Сопла слід конструювати і розташовувати так, щоб вони давали плоске повітряне «віяло» на поверхні, що обдувається.

Способи, описані у пп. 3, 4 та 5, проілюстровані на рис. 4.1. Правда, там вони дані стосовно плоского коробчатого пилогазопроводу, але аналогічним чином їх можна застосовувати і для пилогазопроводів круглого перерізу. Нормативних методів конструктивно-технологічних розрахунків, що з їх застосуванням, немає; конструктивні рішення містять елемент творчого пошуку, а технологічні режими підлягають уточненню при налагодженні та поточній експлуатації.

У деяких галузях виробництва знаходять застосування пилогазопроводи грушоподібної форми (рис. 4.4) зі шнеком, який під час роботи пилогазопроводу також безперервно працює, згрібаючи пил, що осаджується. Довжина такого пилогазопроводу конструктивно лімітується довжиною шнека. Продуктивність шнека приймається на основі досвіду та орієнтовних розрахунків кількості видаленого пилу із запасом у 20-25 %.

З технологічних заходів, які знаходять застосування практично, слід зазначити наступний прийом. Якщо в кінці тракту газоочищення, до якого підключено кілька джерел викидів, встановлено загальну ТДМ (або на тракті встановлено дві ТДМ послідовно), то при відключенні частини джерел продуктивність ТДМ не знижується, а на тракті відкриваються резервні клапани для підсмоктування повітря. При цьому швидкість потоку залишається незмінною, тобто не виникають додаткові умови для осадження пилу. Крім того, концентрація пилу в газі падає. Цей спосіб технологічно ефективний, але вкрай неекономічний.

У технічно та економічно обґрунтованих випадках слід передбачати у проекті два паралельні пилогазопроводи однакового призначення: робочий та резервний. Це пов'язано лише з додатковими капітальними витратами, але дає істотну економію за рахунок того, що зупинка пилогазопроводу для очищення від пилу не викликає жодних збоїв у роботі газоочисної споруди. Такі рішення перевірені практично і дали цілком позитивний результат.

Питання осадження пилу в пилегазопроводах певною мірою пов'язані з питанням їх трасування. Трасування не викликає труднощів при новому будівництві, але на старих підприємствах, що діють, нерідко перетворюється на проблему. Основні проблеми виникають, якщо для газоочисних споруд виділяється майданчик на значній (100-150 м і далі) відстані від джерела викидів. У цьому випадку весь довгий пилогазопровід служить для транспортування, аерозолі з його вихідною, часто дуже високою концентрацією. Усунути пов'язані з цим проблеми можна, встановивши безпосередньо біля джерела апарати первинної (грубою) очистки, наприклад циклони. Наступні ступені очищення, наприклад, великогабаритні електричні або рукавні фільтри, можуть бути віднесені на віддалений майданчик.

Оскільки грубий пи́л буде вловлений на самому початку тракту, робота пилогазопроводу значно полегшиться.

Проектне трасування пилогазопроводів у складних умовах діючого підприємства необхідно ретельно опрацьовувати спільно з генпроектувальником та замовником, маючи на увазі наступні обставини:

- якщо проммайданчик має насичене підземне господарство, на передбачуваній трасі може не опинитися місця для розміщення фундаментів під опори (тим більше для прокладання підземних кнурів). У цій ситуації не виключено перенесення частини підземних комунікацій. Вирішити питання про перенесення та видати проектне рішення на перенесення може лише генпроектувальник;

- якщо ділянка пилогазопроводу перетинає діючий цех, щільно насичений обладнанням, доцільно передати проектування цієї ділянки генпроектувальнику, який знає всі особливості даного цеху і має право на його часткове репланування.

- для проектування опори пилогазопроводу на несучі конструкції покрівлі будівлі або його міжповерхові перекриття необхідно отримати від генпроектувальника офіційні матеріали із зазначенням місць спирання та навантажень, що допускаються.

Слід уникати надмірної висоти пилегазопроводів над поверхнею землі.

4.3 Арматура

На пилогазопроводах розташовуються різні запірно-регулюючі пристрої. Найбільш поширені плоскі засувки та дросельні клапани [1-3].

Конструкція плоских засувок (шиберів) може бути різною. Вона залежить від умов застосування: форми перерізу пилогазопроводу (круглий, прямокутний), властивостей і характеристик середовища, перепаду тисків при закритому положенні, технологічних вимог (швидкість, ступінь ущільнення та ін.). Завжди бажано застосовувати засувки, що випускаються серійно промисловістю. Однак у деяких випадках доводиться конструювати засувки, для конкретного проекту як нестандартизоване обладнання.

При конструюванні слід приділяти основну увагу наступним питанням:

Лопата засувки не повинна піддаватися жолобленню, небезпека якого особливо велика при високій температурі середовища. Лопата може бути зроблена зі сталевого листа, але якщо є небезпека втрати ним строго плоскої форми, слід виготовляти лопату з чавунного лиття.

Засувка повинна бути забезпечена як мінімум ручним гвинтовим приводом або електроприводом через редуктор. Для особливо великих засувок зазвичай використовується підйомний лебідковий механізм.

Часта причина поганої роботи засувок – неточності в виготовленні рами та лопаті. У кресленнях необхідно вказувати допуски, звертаючи

особливу увагу забезпечення мінімального зазору між лопаттю і направляючими.

Зазори, забезпечуючи вільне переміщення лопаті, у той самий час виключають щільне перекриття пилогазопроводу. Крім того, у нижній частині короба засувки можливе скупчення пилу, через що лопаті при закритті може не дійти до нижнього упору на кілька міліметрів. З цих причин плоска засувка, виготовлена як нестандартизоване обладнання, не може розглядатись як герметичний затвор.

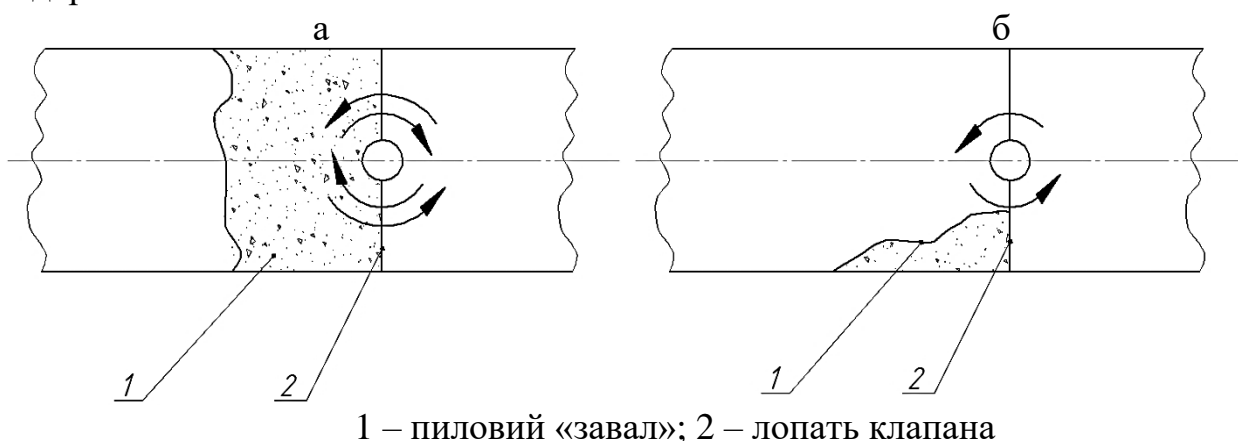
Повертаючись до питання про застосування серійних засувок, можна рекомендувати поділ пилогазопроводу великого перерізу, що перевищує максимальний розмір серійної засувки на два паралельні пилогазопроводи меншого перерізу. Поділ є місцевим. Після ділянки, призначеної для установки засувок, пилогазопроводи знову з'єднуються.

Дросельні клапани застосовуються значно частіше, ніж плоскі засувки: вони простіші у виготовленні і надійніші в роботі. Існують дві групи клапанів: однолопатеві та багатолопатеві. Перші застосовуються в основному для круглих пилогазопроводів, другі – для прямокутних.

Для приведення дросельних клапанів у дію застосовуються ручні та електричні механізми.

При проєктуванні пилогазопроводів з дросельними клапанами слід враховувати такі обставини:

На ділянках пилогазопроводів, розташованих горизонтально або з невеликим нахилом до горизонту, не можна розташовувати вісь клапана вертикально (у загальному розумінні, перпендикулярно до донної частини пилогазопроводу). У цьому випадку, якщо з одного або іншого боку клапана утворюється відкладення пилу (рис. 4.13, а), клапан неможливо буде відкрити.



1 – пиловий «завал»; 2 – лопать клапана
Рисунок 4.13 – Установка дросельного клапана з вертикальним (а) та горизонтальним (б) валом

При горизонтальному розміщенні осі клапана необхідно передбачити, щоб при відкритті його нижня лопать переміщалася у бік, протилежний до тієї, де можливе відкладення пилу (рис. 4.13, б).

По периметру закритого клапана завжди залишається непереборний зазор, як мінімум, в 1-3 мм. Тому **дросельний клапан не є запірним**

пристроєм, який буде ще герметизувати. Обмазка дросельного клапана по периметру глиною, цементом або іншими в'язкими, що нерідко застосовується заводськими працівниками, не змінює сутності справи, оскільки стан обмазування неможливо надійно перевіряти.

4.4 Компенсація температурних розширень

Існує два шляхи компенсації температурних розширень: за рахунок самокомпенсації або за допомогою спеціальних компенсаторів. Відомі два типи компенсаторів: дволінзовий з ущільненням та однолінзовий без ущільнення. Тип компенсаторів, що застосовуються у різних галузях виробництва, дуже великий.

Компенсатори бувають: лінзові та сальникові; число лінз в одному компенсаторі – від однієї до трьох; у площині, перпендикулярній до осі пилогазопроводу, лінзи можуть мати форму прямокутну, шестигранну або круглу; у поперечному розрізі – прямокутну або із заокругленими краями. Ущільнення компенсаторів необхідне в тих випадках, коли небажано попадання всередину компенсатора середовища, що знаходиться в газопроводі. Але в деяких конструкціях врахована можливість накопичення всередині лінз рідкого конденсату, у зв'язку з чим компенсатор має зливний патрубок.

Компенсуюча здатність компенсатора повинна відповідати температурному подовженню пилогазопроводу на даній ділянці.

Компенсуюча здатність збільшується за рахунок попередньої розтяжки компенсатора. При проєктуванні треба мати на увазі, що компенсатор будь-якого типу порушує суцільність стовбура пилогазопроводу. В результаті стовбур послаблюється. Тому на важких пилогазопроводах компенсатори повинні розміщуватися між двома опорами, на легких (без футерування) поряд з однією з них. Число компенсаторів має бути мінімально необхідним, тим більше на пилогазопроводах, що мають внутрішнє захисне покриття або футерування.

У місцях розміщення компенсаторів забезпечити захист (футерування) стовбура завжди викликає значні труднощі. Зовнішня теплоізоляція в місцях встановлення компенсаторів теж переривається, що небажано, оскільки це сприяє конденсації пари всередині лінз.

Зменшити кількість компенсаторів можна такими шляхами:

- застосовувати опори, що допускають подовжнє ковзання стовбура пилогазопроводу;
- застосовувати маятникові (хитливі) опори, що сприймають температурні деформації стовбура за рахунок власної гнучкості;
- надавати пилогазопроводу форму, що забезпечує його самокомпенсацію.

4.5 Видалення та первинна обробка вловленого продукту

Продукт, уловлений в газоочисних апаратах, може бути в трьох станах:

- **рідина** – якщо під час очищення відбувалася лише абсорбція компонентів газової фази викиду чи якщо вловлювався туман (дисперсна фаза рідкого аерозолю);
- **шлам** – якщо в мокрому апараті відбувалося вловлювання пилу (дисперсної фази твердого аерозолю);
- **у вигляді сухого сипучого матеріалу** – якщо відбувалося вловлювання пилу в сухому апараті.

Рідину або використовує підприємство на власний розсуд або підприємство її спрямовує до загальнозаводської системи очищення стоків, або проходить локальне очищення в межах газоочисної споруди і знову подається на зрошення апарату (замкнутий цикл зрошення).

Шлам транспортується на шламове поле, де висихає і потім може бути використаний, або пропускається через систему відстійників і фільтрів. Після фільтрації рідина повертається на зрошення, а відфільтрована маса (як так званих кеків) утилізується. В обох випадках проектування видалення та обробки вловленого продукту не викликає особливих труднощів. Більш складний третій випадок, оскільки сипкі продукти мають властивості, які сильно розрізняються і до того ж специфічними.

4.6 Пилетранспорт

У практиці проектування газоочисних споруд системи видалення та первинної обробки вловленого сипкого продукту прийнято називати коротким терміном – «**пилотранспорт**». Для грамотного проектування пилотранспорту необхідно засвоїти нижченаведене.

Відношення істинної густини частинок до насипної щільності називається **коефіцієнтом розпушення**. Він завжди більше одиниці і може сягати 4-5.

Коефіцієнт розпушення збільшується в міру подрібнення матеріалу. При подрібненні, наприклад, середнекусового матеріалу до порошкоподібного стану може зрости в півтора рази і більше.

Відношення маси ущільненого сипкого матеріалу до його маси при вільному засипанні називається **коефіцієнтом ущільнення**. Він лежить у середньому в межах від 1,1 до 1,6.

За певних умов **сипкий матеріал може бути в аерованому стані**. Він характеризується тим, що простір між частинками заповнено надмірною кількістю газу, через що частинки або не стикаються, або дуже слабо стикаються одна з одною. Аерований матеріал дуже рухливий, при

відповідному ступені аерації набуває властивостей рідини. Тому **інтенсивне аерування** має синонім – **псевдозрідження**.

За насипною щільністю порошкоподібні матеріали прийнято поділяти на чотири групи:

- легкі до 600 кг/м^3 ;
- середні $600\text{-}1100 \text{ кг/м}^3$;
- важкі $1110\text{-}2000 \text{ кг/м}^3$;
- дуже важкі понад 2000 кг/м^3 .

Сипучі матеріали, висушені до постійної маси при температурі 105°C , називають **сухими**. Сухі матеріали мають найкращі якості для транспортування. Недосушені матеріали створюють небезпеку зависання та налипання в системі пилетранспорту, пересушені підвищують можливість вторинного утворення аерозолів.

Волога, що міститься у матеріалі, ділиться на три види: конституційну, хімічно пов'язану з частинками; гігроскопічну, поглинуту частинками з навколишнього середовища; зовнішню, що заповнює пори між частинками. Для пилетранспорту найбільш небезпечна гігроскопічна волога, оскільки вона може перетворити нормальний сухий матеріал на недосушений з наслідками, що з цього випливають.

Кут природного укусу пилу в стані спокою (статичний кут) завжди більший, ніж у стані руху (динамічний кут).

Деякі сипкі матеріали в промисловості піддаються штучній пластифікації – частки покривають найтоншою плівкою, що різко знижує їх адгезію і аутогезію.

Адгезія (рис. 4.14) – зчеплення (прилипання, злипання) приведених в контакт різнорідних твердих або рідких фаз; комплекс явищ, які здатні утворити зв'язки між матеріалами, що склеюються.

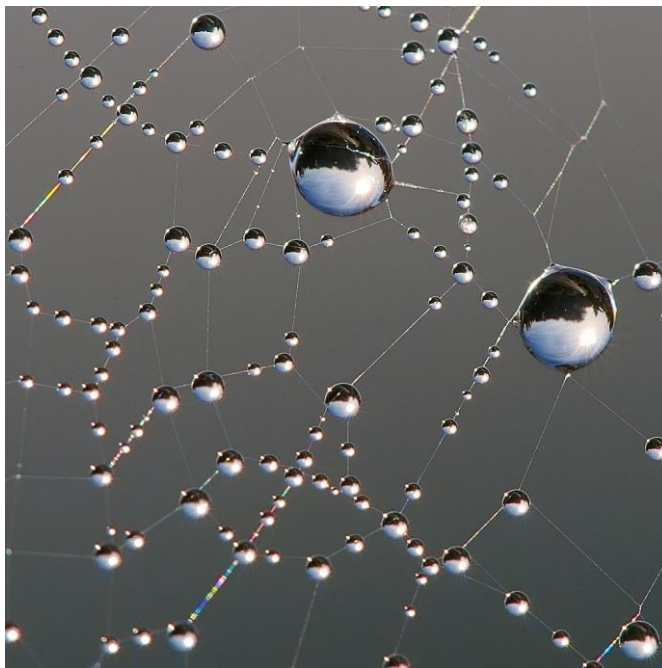


Рисунок 4.14 – Адгезія на прикладі крапельок води на павутині

Аутогезія – явище самозлипання двох наведених у контакт поверхонь тієї самої речовини, що перешкоджає їхньому розділенню по місцю контакту. Аутогезія являє собою окремий випадок адгезії. Всі встановлені для адгезії закономірності властиві аутогезії. Злипання однорідних тіл не завжди приводить до утворення на границі поділу структури, що аналогічна об'ємній фазі речовини. Найчастіше аутогезійний зв'язок менш міцний, ніж когезійний. У низькомолекулярних зв'язуючих спостерігається рівність аутогезії і когезії.

Наприклад, пластифікований цемент має високу плинність та у гарячому стані розтікається подібно до води (кут природного укусу близький до нуля).

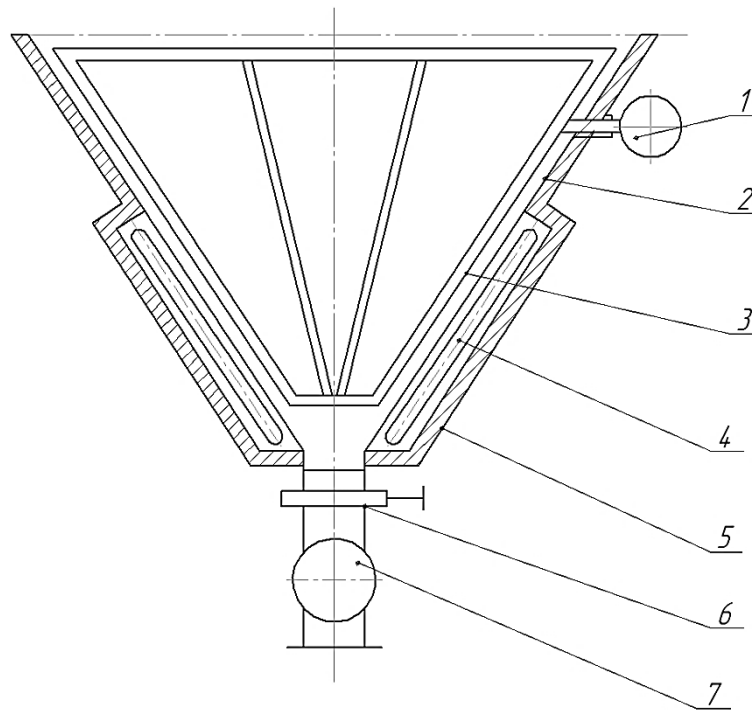
Перераховані вище міркування в кожному конкретному випадку повинні бути ретельно розібрані на початок проектування системи пілоттранспорту. Потрібно вимагати максимум відомостей від замовника, а також скористатися довідниками, звітами та іншими джерелами інформації. Найбільш достовірним джерелом інформації – є прямиий чи близький аналог.

Систему пілоттранспорту можна розділити на чотири групи пристроїв:

- спонукачі, що сприяють розпушенню пилу в бункері та його витіканню в підбункерні транспортні механізми;
- затвори-дозатори, які встановлюються безпосередньо під бункером; їх призначення – дозоване за часом вивантаження пилу і одночасно – виключення зустрічних підсмоктувань повітря в бункер;
- механізми горизонтального та вертикального переміщення пилу в межах проектування газоочисної споруди;
- пристрої для первинної обробки вловленого пилу. (В абсолютній більшості випадків обробка зводиться до грануляції пилу. В вигляді гранул його може бути утилізовано на даному або іншому підприємстві, а при транспортуванні звичайними способами на далекі відстані, наприклад, на залізничних платформах або в кузовах вантажних автомобілів, гранули виключають вторинне пилоутворення).

Поширеним варіантом спонукача – є **рамна конструкція** (рис. 4.15), що приводиться в дію від вібратора. В практиці зустрічаються рішення, за якими вібратор кріпиться безпосередньо на стінці бункера. Цей спосіб нераціональний, оскільки вібрація не тільки може порушити герметичність бункера, але здатна передаватися на постамент та інші відповідальні конструкції.

До спонукувачів можна віднести і **пристрої для обігріву зовні стінок бункерів, в їх нижній частині**. Обігрів можна проводити трьома способами: ТЕНами, перегрітою парою або гарячим повітрям. Найбільш раціональний перший спосіб, оскільки інші вимагають складніших конструктивно-технологічних рішень.



1 – вібратор; 2 – стінка бункера; 3 – склепіння; 4 – електронагрівач (ТЕН); 5 – теплоізоляція; 6 – шиберний затвор (ручний); 7 – затвор-дозатор

Рисунок 4.15 – Бункер пиловловлювача

Шиберний затвор з гвинтовим ручним приводом застосовується як відсічний пристрій між пиловим бункером і затвором-дозатором (на час ремонту, заміни дозатора тощо). **Перевага:** простота конструкції. **Недолік:** можливість заклинювання в пазах, що направляють.

Одинарна пилова мигалка (пелюстковий затвор) застосовується в невідповідних пиловивантажувальних вузлах. **Перевага:** простота конструкції. **Недолік:** не забезпечує надійної герметизації (у момент відкриття можливе зустрічне підсмоктування повітря). Одинарна пилова мигалка відома в багатьох конструктивних варіантах: з горизонтальним, похилим і вертикальним розташуванням клапана, з клапаном плоскої або конічної форми і т. д.

Подвійна мигалка з електроприводом технологічно надійніша за одинарну. Відкриття і закриття клапанів відбувається неодноразово, тобто забезпечується шлюзування пилу, що вивантажується. **Перевага:** досить висока герметичність. **Недолік:** значний розмір по висоті, нерідко ускладнює компонування. Можливий **безпривідний варіант**, але він, по суті, зводиться до послідовної установки двох одинарних мигалок і є простим механічним блокуванням, що виключає одночасне відкриття обох клапанів.

Затвор-живильник барабанний (роторний, шлюзовий, осередковий) застосовується у випадках, коли потрібна одночасно герметизація бункера та дозована видача пилу. **Переваги:** можливість точного та регульованого дозування пилу (шляхом зміни числа обертів), порівняльна простота конструкції, надійність у роботі. **Недоліки:** можливість підсмоктування

повітря через зазори між лопатями ротора та корпусом, схильність до замазування вологим пилом. Відомий у багатьох конструктивних варіантах.

Затвор-живильник гвинтовий застосовується для вивантаження пилу з одночасним забезпеченням дозування та герметичності. Дозування – за рахунок кількості обертів гвинта. Герметичність створюється гвинтом з кроком, що вкорочується, і притискним клапаном. У зоні укороченого кроку завдяки наявності притискного клапана постійно існує пилова пробка, що перешкоджає зустрічному підсмоктуванню повітря. **Позитивні якості:** повна герметизація бункера, велика продуктивність. **Недоліки:** складність конструкції, великі габарити, зношування гвинта, стінок корпусу та клапана, висока енергоємність. Відомий у багатьох конструктивних варіантах.

Вибір системи видалення та транспорту пилу багато в чому залежить від конфігурації бункера пиловловлюючого апарату. В основному застосовуються два типи бункерів: щілинні та пірамідальні (рис. 4.16).

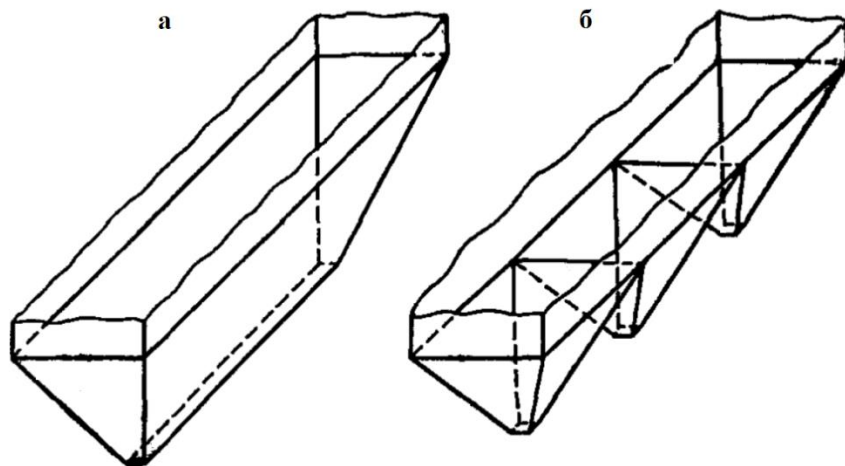


Рисунок 4.16 – Основні типи бункерів пиловловлюючих апаратів: а – щілинний; б – пірамідальний

Щілинні бункери мають малу металоємність; вони зручні для зовнішнього обігріву та обладнання спонукальними пристроями; можливість склепінняутворення та відкладення пилу на стінках у них відносно невелика. **Недоліком** щілинних бункерів є нездатність затворів-живильників дозованого вивантаження пилу. Необхідність монтувати безпосередньо під бункером гвинтовий або скребковий конвеєр із повністю загерметизованим корпусом.

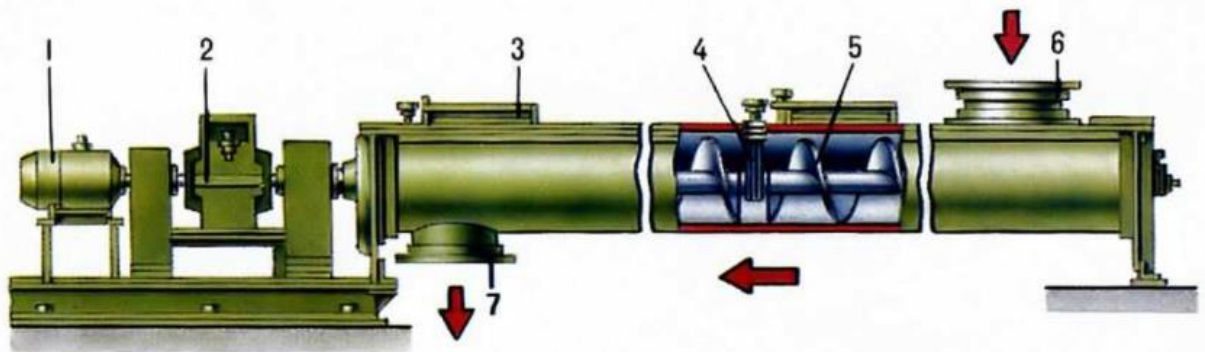
Пірамідальні бункери зручні для встановлення індивідуальних затворів-живильників з герметизацією розвантажувальних отворів. Однак вивантаження пилу з них ускладнено через можливість склепінняутворення та відкладення пилу, особливо в кутах бункерів; значна площа бічних і поперечних стін ускладнює проєктні рішення щодо їх обігріву.

Таким чином, пил з щілинного бункера відразу потрапляє в пристрій для подальшого транспортування, з пірамідального – через посередництво підбункерних затворів-живильників.

Властивості пилу сильно залежить від розміру її частинок. Тому умови вивантаження пилу з останніх по ходу газу бункерів можуть бути зовсім іншими, ніж з перших. Дуже різко відрізняється розрахунковий час заповнення бункерів пилом. Якщо розглядати лише один чотирипільний електрофільтр, то час заповнення бункера четвертого поля перевищує час заповнення першого 80-120 разів. Розрахунковий час заповнення кожного бункера підлягає обов'язковому зазначенню в проєкті. Заводський персонал повинен знати, які тимчасові ресурси він має, наприклад, на ремонт або заміну затвора-живильника під одним з бункерів.

Для горизонтального та вертикального переміщення пилу використовуються конвеєри різних типів, ковшові елеватори та пневмотранспортні системи.

Гвинтовий конвеєр (шнек) застосовується для транспортування пилу на відстань до декількох десятків метрів, а з перекиданням з одного конвеєра в інший - на кілька сотень метрів.



1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – жолоб; 4 – підвісний підшипник; 5 – шнек; 6 – завантажувальний патрубок; 7 – розвантажувальний патрубок

Рисунок 4.17 – Шнековий конвеєр

Переваги: відносна простота конструкції, відсутність елементів, схильних до великих динамічних навантажень, нескладні конструктивні рішення з герметизації корпусу; допускає установку з деяким нахилом вгору чи вниз; дозволяє транспортувати гарячий (до 400 ° С) пил. **Недоліки:** сильне зношування при транспортуванні абразивного пилу; мінімальний коефіцієнт заповнення (трохи більше 0,3); при значній довжині – наявність проміжних підшипників, які працюють без мастила в запиленому середовищі; небезпека забивання пилом, що злежується і злипається. Щоб уникнути переповнення, вимагає установки на вході дозуючого пристрою. При розміщенні під щільним бункером пиловловлюючого апарату він повинен видаляти пил безперервно: завал гвинтового конвеєра пилом (тим більш важким) виключає можливість його пуску і вимагає ручного розчищення.

Скребокний конвеєр (рис.4.18) застосовується для транспортування пилу на кілька десятків метрів. **Переваги:** широкий діапазон матеріалу, що транспортується за температурою, дисперсністю, вологістю та іншими

характеристиками, можливість роботи без дозуючих пристроїв (коефіцієнт заповнення не контролюється).



Рисунок 4.18 – Скребоквий конвеєр

Недоліки: великі динамічні навантаження на ланцюг і скребки, шум під час роботи, складність герметизації прямокутного корпусу.

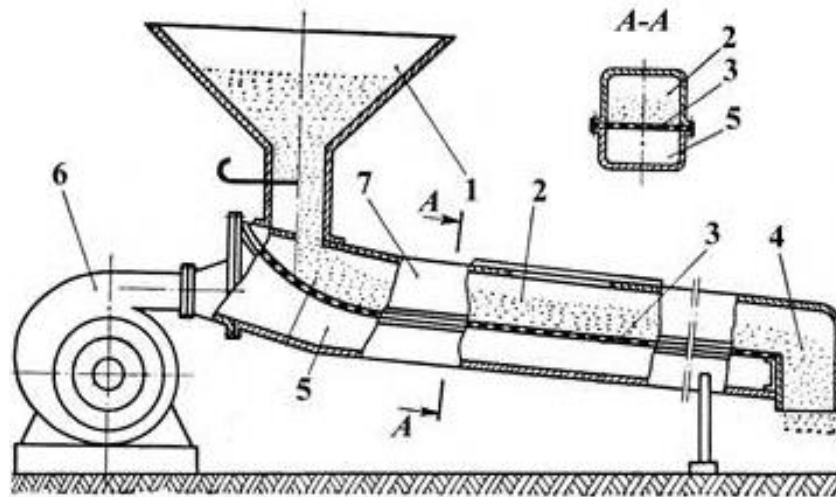
Стрічковий конвеєр (рис. 4.19) застосовується для транспортування пилу великі відстані (500-600 м і більше).



Рисунок 4.19 – Стрічковий конвеєр

Позитивні якості: можливість зміни кутів нахилу по ходу стрічки, широкий діапазон продуктивності, безшумність. **Недоліки:** складність герметизації, необхідність аспірації місць завантаження та перевантаження пилу, обмеження температури пилу термостійкістю стрічки, велика кількість вузлів, що вимагають мастила.

Аерожолоб (рис.4.20) застосовується для переміщення пилу на відстань до кількох десятків метрів, обов'язково з невеликим ($2-5^\circ$) ухилом у бік переміщення.



1 – лійка завантажувальна; 2 – канал вантажний; 3 – перегородка пориста; 4 – патрубок вивантажний; 5 – повітряний канал; 6 – вентилятор; 7 – жолоб у зборі

Рисунок 4.20 – Аерожолоб

Переваги: безшумність, незначна витрата енергії (у 5-6 разів менше, ніж у гвинтового конвеєра), простота конструкції та обслуговування, відсутність частин, що рухаються.

Недоліки: неможливість транспортування пилу строго горизонтально і, тим більше, з підйомом вгору, потреба в глибоко осушеному повітрі, необхідність індивідуального визначення (зазвичай експериментально або при налагодженні) тиску повітря для різних пилов, труднощі в підборі матеріалу для пористої повітропроникної перегородки. Найкращий матеріал перегородки – пориста керамічна плитка. Заміна плитки різними видами тканини можлива, але не рівноцінна.

Пневмopідйомник (ерліфт) застосовується для підйому пилу на висоту до кількох десятків метрів. **Переваги:** повна власна герметичність, а у поєднанні з гвинтовим затвором-живильником – повна герметизація бункера. **Недоліки:** потрібне глибоко осушене повітря; якщо повітря подається через пористу перегородку, встановлену в нижній камері підйомника, то виникають ті ж проблеми з вибором матеріалу для неї, що й у аерожолоба. Відомий у багатьох конструктивних виконаннях.

У довідниках та каталогах перелік пристроїв для вивантаження та транспортування пилу значно ширший. При проектуванні потрібно

аналізувати особливості цих механізмів і давати їм технологічну оцінку в порівнянні з властивостями пилу. Застосовувати в проєктах слід лише ті, які серійно випускаються промисловістю і є в каталогах заводів-виробників.

Необхідно вимагати від замовника та осіб, які готують завдання, щоб у опитувальних листах вказувалися не тільки найменування пилу, а й його характеристики для конкретного випадку. Нерідко пил одного найменування, що виділяється з аналогічних агрегатів, на різних підприємствах (і навіть у різних цехах одного підприємства) може мати несхожі характеристики. Це може бути пов'язано з незначними відмінностями в організації технологічного процесу та іншими обставинами, аж до рівня виробничої культури. Наприклад, насипна щільність соди може коливатися в діапазоні 500-1300 кг/м³, сухої глини – від 1000 до 1800 кг/м³, гіпсу – від 800 до 1700 кг/м³ і т.д.

Строго обґрунтованих теоретичних розрахункових формул для запірно-дозуючих пристроїв немає, оскільки неможливо врахувати все різноманіття властивостей і станів пилу, що вивантажуються. Тому розрахунок проводять за усередненими та спрощеними напівемпіричними формулами, або витягують відповідні дані з довідкових таблиць.

Крім сухого пилотранспорту, на деяких підприємствах застосовується мокре видалення та транспорт у потоці рідини пилу, уловленого в сухих апаратах. Це характерно, зокрема, для збагачувальних підприємств чорної металургії, де є флотаційні відділення. Оскільки флотація руд провадиться з вживанням великої кількості води, то підприємство приймає назад у виробничий цикл шлам із системи мокрог пилотранспорту.

У спеціальному газоочисному устаткуванні застосовуються спеціальні способи видалення пилу. Так, в електрофільтрах рудно-термічних фосфорних печей та содорегенераційних котлів у целюлозно-паперовій промисловості, що мають плоскі днища (без бункерів), пил видаляється за допомогою безперервно працюючих скребкових механізмів.

4.7 Властивості пилу та їх облік при проєктуванні пилотранспорту

Залежно від властивостей пилу і труднощами, що викликаються ними, розроблені різні проєктні рішення для усунення або попередження несправностей у роботі обладнання.

Пил, що має великий кут природного укосу (50 ° і більше) призводить до утруднення його стікання по стінках бункерів та похилим тічкам. Для попередження труднощів збільшують нахил стін та тічок; наносять на стінки бункерів покриття з малим коефіцієнтом тертя; використовують покриття з «повітряним мастилом».

Пил, що має невеликою насипною щільністю сприяє утворенню пластівцеподібних агрегатів, що легко переходять в аерозольний стан, що в свою чергу призводить до вторинного пиловиносу з бункерів і системи

пилотранспорту. Для попередження даних процесів необхідно застосовувати повністю герметичних пилових затворів та наглухо загерметизованих пилотранспортних систем та використовувати ежекційний пневмотранспорт.

Пил, що має корозійні властивості (особливо у присутності вологи) призводить до корозії нижньої частини бункерів та окремих елементів пилетранспортної системи. Нанесення на стінки бункерів неметалевих хімічностійких покриттів та плакування нижньої частини бункерів тонколистової нержавіючої сталі, зовнішній обігрів бункерів дозволить запобігти корозії обладнання.

Плакування – нанесення на поверхню металевих листів, плит, дроту, труб тонкого шару іншого металу або сплаву термомеханічним способом.

Схильність пилу до злежування призводить до утворення склепінь та відкладень на стінках бункерів. Використання в бункерах спонукачів різного типу, відсутність у системі пилотранспорту проміжних ємностей та безперервне вивантаження пилу вирішує вищеописану проблему.

Волокнистий або пластівчастий за структурою пил сприяє формуванню відносно компактних об'ємів матеріалу і в той же час утворенню довгострокових відкладень в кутах бункерів. Можливі проєктні рішення – це влаштування листових гнутих металевих накладок, що заокруглюють кути бункерів.

Підвищена гігроскопічність призводить до зниження рухливості та плинності пилу, утворення склепінь та відкладень, погане вивантаження з бункерів аж до повного його припинення. Шляхи вирішення проблеми: зовнішній обігрів бункерів; підтримка в системі очищення температурних режимів, що виключають конденсацію пар; застосування спонукачів; безперервне вивантаження пилу з бункерів.

Висока абразивність пилу. Наслідки: знос стін бункерів і похилих тічок; знос елементів пилотранспортної системи, що мають інтенсивний динамічний контакт з пилом. Шляхи вирішення: покриття поверхонь, що зношуються, зносостійкими матеріалами; виключення застосування гвинтових та скребкових конвеєрів; застосування у системах пневмотранспорту колін трубопроводів футерованих керамікою; зведення числа колін до мінімуму.

Наявність у складі пилу оксиду кальцію чи вапняку. При сукупній наявності в газах сульфур оксидів і вологи такий пил сприяє утворенню твердих відкладень, що важко видаляються. Методи боротьби: підтримка температурного режиму, що виключає конденсацію; обігрів стінок бункерів; безперервне вивантаження пилу.

Наявність на поверхні частинок пилу масляної плівки, що сприяє їх коагуляції і, як наслідок, призводить до зависання пилу в кутах бункерів, іноді до утворення склепінь. Шляхи вирішення: застосування понукальних пристроїв та пристроїв, які руйнують склепіння.

Сильна електрична зарядженість частинок пилу. Погане ковзання пилу по похилих стінках бункерів н течках. Утворення пробок у вузьких і незручних місцях. Шляхи вирішення: максимально можливе збільшення кута

нахилу поверхонь, усунення незручних для проходження пилу місць, застосування пластмасових діелектричних покриттів.

Грануляція вловленого пилу. У більшості випадків первинна обробка уловленого пилу, на прохання замовника, полягає у його грануляції. Для цього в принципі може бути використаний будь-який серійний гранулятор.

Розчиноприготувальне та розчинооборотне господарство. Якщо система газоочищення проектується для підприємств, що мають власне розвинене розчиноприготувальне та розчинооборотне господарство, то таке не входить до складу газоочисних споруд. Завод подає на газоочищення готові розчини та приймає їх після відпрацювання назад у загальнозаводське господарство. Можливі компромісні рішення: наприклад, завод подає на газоочищення реагенти у сухому вигляді (соду, вапняк, луг та ін.); в межах газоочищення з них готуються розчини, які після використання піддаються частковому очищенню, а потім прямують до загальнозаводської системи очищення стоків.

Найбільш складні випадки, коли все розчинне господарство; (приготування, очищення, регенерація) передбачено у складі проекту газоочищення.

Технологічні схеми розчиноприготування та обороту настільки ж різноманітні, наскільки різноманітні завдання, які вирішуються мокрим газоочищенням. Ускладнюючим фактором є селективність зрошення (за режимами та хімічним складом зрошувальних рідин) – як по окремих апаратах, так і всередині одного апарату з різних вузлів зрошення.

Зрошення мокрих апаратів без повторного використання розчину, в даний час застосовується зрідка, оскільки веде до невикористано великої витрати рідини і реагентів, що містяться в ній. У проєктах зазвичай передбачається циклічність зрошення, тобто n-кратне використання одного і того ж розчину з поступовим частковим виведенням його із циклу та добавкою свіжого розчину. Якщо очищення піддається гарячий газ і циркулюючий розчин нагрівається, то в цикл вбудовується теплообмінник-холодильник.

При проектуванні систем зрошення важливу роль грає поняття про граничний стан розчину. Якщо зрошувати мокрий апарат циркулюючим розчином без відведення його частини та добавки свіжого, то через деякий час стан розчину виключає його подальше використання. Граничний стан може визначатися факторами, які перераховуються нижче.

Якщо розчин вловлює дисперсну фазу твердого аерозоллю, то вміст завислих речовин не повинен перевищувати концентрації, вище за яку порушується робота зрошувачів. Іншим критерієм граничного стану в цьому випадку є неприпустиме зниження ступеня уловлювання, викликане великим виносом продукту, що уловлюється, з бризками концентрованої суспензії.

При накопиченні в розчині деяких компонентів, наприклад, малорозчинних карбонатних сполук, за певних умов починається їх кристалізація на внутрішній поверхні труб, апаратів, арматури, причому вона супроводжується також осадженням інертних завислих речовин.

Початок кристалізації означає, що настав граничний стан розчину; подальше його використання призведе до швидкого забивання елементів зрошувальної системи.

При абсорбції парів або газів граничним станом є таке насичення розчину, при якому його подальше використання втрачає сенс: між розчином і компонентом, що абсорбується, встановлюється рівновага, і абсорбція припиняється.

4.8 Тяго-дугтвові машини

Розрахунок тяго-дугтвових машин (ТДМ), що забезпечують рух газу (аерозолі) по тракту газоочищення, виконується з урахуванням тиску (розрідження), з яким суміш, що транспортується, виходить з джерела викиду і надходить до початку тракту газоочищення.

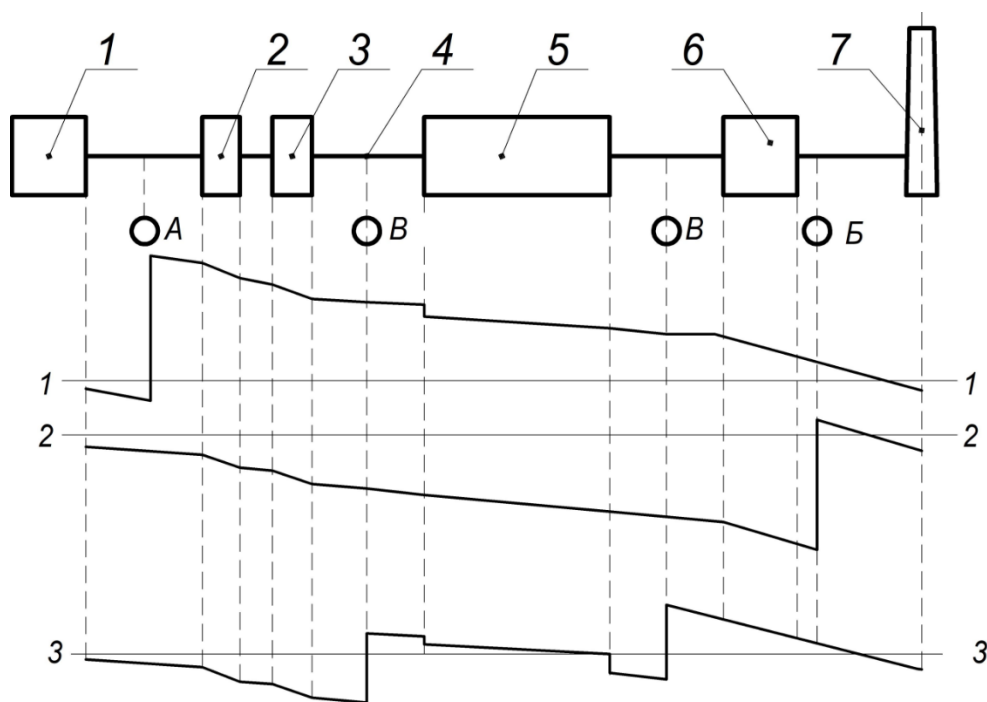
При проектуванні істотно важливим є питання про місце розташування ТДМ у схемі газоочисної споруди, де вона відчуває на собі різноманітні впливи. Це можуть бути висока температура, абразивна дія пилу, корозія, розбалансування ротора (через корозійне і абразивне зношування, а також через утворення на роторі важко видалених – бетоноподібних відкладень). У свою чергу, ТДМ, зважаючи на те, де вона розташована, створює певний гідравлічний і аеродинамічний режими в елементах схеми, розташованих до неї або після неї по ходу газу.

У практиці проектування газоочисних споруд трапляється кілька варіантів розташування ТДМ (крім нетипових випадків), причому вибір варіанта проводиться проектувальником виходячи з наступних міркувань (рис. 4.21):

1. ТДМ розташована в самому кінці тракту газоочищення, між останнім по ходу газу апаратом та димовою трубою. Пилове навантаження на ТДМ повністю або майже повністю відсутнє, абразивного зношування немає. Якщо в схемі, особливо в кінці її, є мокрий апарат, що дає кислий бриковиніс, або якщо в хвості схеми починається конденсація парів хімічно агресивних сполук, ТДМ наражається на небезпеку корозійного впливу. Вона має бути виготовлена із спеціального матеріалу (титан, легована сталь) або мати протикорозійне покриття.

З погляду гідравліки таке розташування ТДМ можна вважати нормальним лише для порівняно простих газоочисних споруд з коротким газовим трактом, інакше кажучи – відносно невеликим гідравлічним опором. У складних системах «хвостове» розташування ТДМ може створити в останніх по ходу газу апаратах дуже велике розрідження. Наслідком його є надмірно великі паразитні підсмоктування зовнішнього повітря через нещільності апаратів і пилогазопроводів. Не виключено також втягування всередину плоских стін найбільших апаратів (такі факти мали місце в

практиці експлуатації, коли через аварійне збільшення опору тракту ТДМ розвивала свою максимальну паспортну тягу).



1 – джерело викидів; 2 – перша ступінь циклонного очищення; 3 – друга ступінь циклонного очищення; 4 – пилогазопровід; 5 – електрофільтр; 6 – хвостовий доочисник; 7 – димова труба

А – ТДМ на початку тракту (єпюра тиску 1); Б – ТДМ наприкінці тракту (єпюра тисків 2); В – В – дві ТДМ у середині тракту (єпюра 3)

Рисунок 4.21 – Варіанти розміщення ТДМ на тракті газоочищення

2. ТДМ розташована на початку тракту газоочистки, до входу газу в перший газоочисний апарат. У цьому випадку ТДМ піддається впливу всіх компонентів, що є у викиді, включаючи абразивну дію пилу. Гідравліка системи протилежна описаній вище: перші по ходу газу апарати виявляються під надлишковим тиском, далі трактом тиск падає.

3. ТДМ розташована після основного сухого пиловловлюючого апарату (електрофільтра, рукавного фільтра), але перед мокрим апаратом, встановленим в кінці тракту (наприклад, перед трубою Вентурі, хвостовим скруббером тощо). У цьому випадку умови роботи ТДМ сприятливі: вона захищена від абразивного зносу пилом та від корозійного зносу, бризками рідини.

4. На тракті газоочищення розташовуються дві ТДМ послідовно: одна – на початку тракту, друга – наприкінці. Умови експлуатації ТДМ при цьому різко різняться, і вони можуть бути різними за своїми характеристиками та конструкціями. Така схема використовується, коли з тих чи інших причин необхідно, щоб тракт газоочищення (або його частина, укладена між першою та другою ТДМ) працювали за мінімального розрідження (тиску). Останнє досягається відповідним підбором та регулюванням кожної ТДМ. Іноді

ділянка між двома ТДМ скорочується у проєкті до одного апарату. Наприклад, ТДМ можуть бути встановлені на вході газу великогабаритний електрофільтр і відразу після виходу газу з нього. У цьому випадку фільтр знаходиться під тиском (розрідженням), близьким до нуля, завдяки чому знижуються підсмоктування повітря та полегшується робота великорозмірних плоских стінок корпусу.

При проєктуванні газоочисних споруд необхідно аналізувати та вирішувати три основні гідродинамічні завдання:

а) розрахунок гідравлічного опору тракту, вибір ТДМ та визначення місць їх розташування;

б) забезпечення на всьому тракті газоочищення режиму руху газу (аерозолі), що найкраще відповідає заданим умовам;

в) забезпечення рівномірного (у межах допустимих відхилень) розподілу газового та пилового навантаження між апаратами та всередині них.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗООЧИСНИХ СИСТЕМ

5.1 Захист персоналу від токсичних компонентів викидів та сорбентів

Небезпека інтоксикації для обслуговуючого персоналу на газоочисних спорудах може виходити від трьох основних джерел [4-7]:

- суміші, що знаходяться всередині тракту газоочищення;
- речовини, що вловлені в газоочисних апаратах і підлягають видаленню з них;
- розчини або тверді сорбенти, що використовуються для вилучення з суміші, що очищується, відповідних компонентів.

Одна з головних вимог до газового тракту – повне виключення витoku з нього компонентів суміші, що очищається. Це досягається двома способами: ретельною герметизацією тракту або розстановкою ТДМ на тракті таким чином, щоб найбільш небезпечні ділянки тракту постійно знаходилися хоча б під невеликим розрідженням (див. рис. 4.21). Якщо це чомусь неможливо, то частину тракту, що працює під тиском, рекомендується розміщувати поза приміщенням, на відкритому повітрі.

Складніша ситуація, коли суміш у газовому тракті має не тільки токсичні, але потенційно пожежо- і вибухонебезпечні властивості. Слово «потенційно», що входить у цей вислів, означає, що суміш може спалахнути або вибухнути лише в межах між нижньою і верхньою межами вибуховості, плюс нормативні запаси. Якщо суміш потенційно вибухо- і пожежонебезпечна, необхідно забезпечити вміст кисню в суміші не тільки нижче нижньої межі вибуховості (займання), але і не вище межі, що враховує нормативний запас. Останній постійно посилюється. Знати його зобов'язаний спеціаліст із техніки безпеки проектної організації.

Підсмоктування повітря в цьому випадку абсолютно неприпустимі, щоб уникнути досягнення нижньої межі вибуховості. У такій ситуації необхідні спеціальні заходи щодо герметизації тракту: заміна роз'ємних з'єднань зварними нероз'ємними усюди, де це можливо; у роз'ємних з'єднаннях (їх число має бути скорочено до мінімуму) застосування фланців типу шип-паз; у місцях видалення уловленого продукту – встановлення для пилу герметичних затворів з електроприводом, для рідин – гідрозатворів зі збільшеною висотою замикаючого стовпа або двох гідрозатворів послідовно.

У тих місцях, де ймовірність підсмоктування або витoku особливо велика (останнє характерно для великогабаритної апаратури з великою поверхнею плоских стінок – електрофільтрів, рукавних фільтрів тощо) слід розміщувати ТДМ так (див. рис. 4.21), щоб підтримувати мінімальне розрідження (0,3-0,5 Па). При цьому зведеться до мінімуму можливість як підсмоктування, так і витоків.

Якщо суміші в тракті газоочищення близькі або аналогічні сумішам в основному виробництві, то з метою уніфікації рішень та використання досвіду слід ознайомитися з заходами захисту, що використовуються на

підприємстві, і запозичувати з них те, що відповідає нормам та специфіці газоочисної споруди.

Герметичність великогабаритних апаратів має бути забезпечена під час монтажу незалежно від того, чи є у проекті відповідні вказівки.

У особливо небезпечних випадках захист персоналу забезпечується спеціальними заходами. Наприклад, на газоочисних спорудах у цехах з виробництва жовтого фосфору [4-7] визначено зони, куди доступ обслуговуючого персоналу при працюючій газоочищенні взагалі заборонено. Якщо такі заходи не вимагають проектних рішень, вони все одно повинні обговорюватися в пояснювальній записці, розділ «Техніка безпеки».

Уловлений продукт може бути токсичним сам по собі (наприклад, миш'як, елементарна сірка, деякі сполуки нікелю, кислоти та ін.). У цьому випадку безпека та заходи захисту визначаються за довідниками [4-7], а також за ДСТУ на окремі промислові речовини, де зазначені і заходи безпеки при поводженні з ними.

Відомі випадки, коли вловлена речовина сама по собі не токсична і не становить небезпеки, проте вона може бути отруєна домішками, які з різних причин виявилися ненавмисними і в незначній кількості у складі улову. Так, нейтральний пил здатний адсорбувати дуже малу, але достатню для інтоксикації кількість газів (парів) з аерозолі; в мокрих апаратах те ж саме може статися з рідиною, що зрошує. При проектуванні необхідно насамперед проаналізувати можливість описаної ситуації. Якщо вона підтвердиться, то слід передбачити заходи безпеки з перелічених нижче.

Якщо передбачається одночасне вловлювання нейтрального та токсичного продукту, слід застосувати селективне очищення газів. Селективність, зокрема, забезпечується за рахунок того, що сухі пиловловлювачі (циклони, електрофільтри, рукавні фільтри) не вловлюють ні пари, ні газу. Отже, в період уловлювання нейтрального пилу токсичний продукт не повинен перебувати в аерозольному (сконденсованому) стані. Прикладом може бути вже згаданий, раніше спосіб уловлювання олова, миш'яку та інших речовин із відхідних газів печей. Селективне уловлювання компонентів проводиться у різних температурних режимах, що визначають їх агрегатний стан.

Пил, аерований токсичними газами, рекомендується деякий час витримувати в бункері для деаерації, після чого направляти в систему пілоттранспорту. Тим не менш, пілоттранспортні пристрої повинні бути герметичними та забезпечені власними аспіраційними системами. Аспіроване повітря можна направити знову в основний газовий тракт.

При очищенні газів мокрим способом деякі парогазові компоненти абсорбується рідиною. Надалі можлива їх часткова десорбція. Процеси абсорбції та десорбції можуть бути розраховані звичайними методами хімічної технології, і на цій основі оцінено безпеку для персоналу, що їх обслуговує, з боку десорбованих речовин. На практиці недооцінка цієї небезпеки вже призводила до нещасних випадків із тяжким наслідком. Якщо безпека такого роду при аналізі є реальною, необхідно передбачити в

проекті герметизацію водооборотного господарства і забезпечити його, як мінімум, природною витяжною вентиляцією для виведення небезпечних виділень в атмосферу.

Що стосується захисту персоналу від токсичних реагентів, які використовуються для очищення газів, то вони, як правило, є речовинами, що широко використовуються в промисловості. Слід керуватися ДСТУ на ці речовини, оскільки там обумовлено заходи безпеки.

5.2 Заходи з вибухо- та пожежної безпеки

Проект газоочисної споруди повинен виконуватися при неухильному дотриманні загальнопромислових норм і правил вибухо- та пожежної безпеки виробничих будівель та споруд. Розглядати тут ці норми і правила немає необхідності. Ми зупинимося на деяких специфічних питаннях, пов'язаних саме із газоочищенням.

На очищення зазвичай надходять багатокомпонентні суміші, як правило двофазні (аерозолі). Суміш може складатися з компонентів, потенційно вибухо- та пожежонебезпечних (метан, водень, карбону(II) оксид та ін.) та флегматизаторів (азот, водяна пара, нейтральний пил та ін.). Перше, що слід зробити при проектуванні – визначити дійсну вибухо- та пожежонебезпечність суміші та умови її займання (вибуху). У табл. 5.1 наведено концентраційні межі (в %) займання ряду газів і пар у суміші з повітрям (при 20 °С та тиску 10 кН/м²) [4-7].

Таблиця 5.1 – Концентраційні межі (в %) запалення ряду газів і пар у суміші з повітрям (при 20 °С та тиску 10 кН/м²)

Аміак	17,1-26,4	Метан	5,0-15,0
Ацетилен	2,5-85	Нафталін	0,89—5,8
Бензин	1,2-7,0	Нафтовий газ	4,0—14,0
Бензол	1,41-7,45	Октан:	1,10-6,5
Бутан	1,5-8,5	Пентан	1,3—7,8
Бутіленг	1,7—9,0	Природний газ	5,0-15,0
Водень	4,0—75,0	Пропан	2,0-9,5
Водяний газ	6,0—70,0	Пропілен	2,2-9,7
Гексан	1,18—7,4	Сірководень	4,3-45,5
Генераторний газ	35,0—75,0	Толуол	1,27—6,75
Гептан	1,10—6,7	Вуглецю (II) оксид	12,5-75,0
Доменний газ	37,0—75,0	Ціан	6,6—42,6
Коксовий газ	4,5—30,0	Етан	3,0—14,0
Ксилол	1,0-1,6	Етилен	3,0-33,3

Межі займання сумішей приблизно розраховуються за формулою Ле Шательє:

$$N_{\text{сум}} = \frac{100}{\frac{z_1}{N_1} + \frac{z_2}{N_2} + \dots + \frac{z_i}{N_i}}$$

де z_1, z_2, \dots, z_i – вміст компонентів у суміші, %;
 N_1, N_2, \dots, N_i – межі займання компонентів, %.

Але ця формула не враховує присутності флегматизаторів і тому не дає точних значень меж запалення. Тим часом помилки у визначенні рівня небезпеки в даному питанні абсолютно неприпустимі. Тому рекомендується доручати розрахунки такого роду (за винятком елементарно простих випадків) спеціальним організаціям або залучати для консультацій фахівців із таких організацій. Консультації слід оформляти офіційним документом з підписами відповідальних осіб.

Аерозольні частинки, що витають у масі газу, грають двояку роль. Якщо вони негорючі і невибухонебезпечні, то їх можна розглядати як флегматизатор. Але оскільки вони сприяють накопиченню статичної електрики, то [4-7] рекомендується уникати утворення аерозолів. Природно, що з точки зору проектування газоочисних споруд ця рекомендація є неприпустима.

Радикальний спосіб боротьби з запаленням суміші в газоочисній споруді – установка перед ним спеціальної камери для допалювання горючих компонентів. Якщо у складі газоочищення є електрофільтр, то камера допалювання повинна бути заблокована з агрегатами живлення (з використанням струму високої напруги). У разі згасання полум'я в камері автоматично відключається живлення електрофільтра, тобто гаситься корона і виключається можливість іскрових розрядів. Безпосередньо в камері слід передбачити аварійний викид на свічку з використанням автоматичної системи запірних пристроїв. При згасанні полум'я незгоріла суміш викидається в атмосферу. Такий режим можна підтримувати лише короткочасно, щоб уникнути забруднення повітря. Оскільки камера допалювання конструктивно нескладна, але в той же час є одним із відповідальних вузлів на газовому тракті, рекомендується ставити дві камери паралельно одна до одної, маючи одну як резерв.

Альтернативним рішенням є установка допалювальних пристроїв безпосередньо в газопиловидільних агрегатах. У деяких типах електролізерів алюмінієвої промисловості вбудовані пальники для допалювання смолистих компонентів викидів. При поганій роботі пальників в електрофільтрах відбуваються пожежі, після чого газоочищення надовго виходить з ладу. Так, наприклад, пристрої для допалювання СО вбудовані в конструкцію вагранок, газовідсмоктувача від сталеплавильних печей.

Дуже часті поєднання, коли газова фаза аерозолію нейтральна, а дисперсна – горюча або вибухонебезпечна. Нижче наводяться ті основні відомості, які мають бути відомі проектувальникам.

Пил здатний спалахувати як у леткому, так і в осадженому стані.

Загоряння пилу можливе від запалу (відкритого вогню, іскри від електричного розряду тощо). Однак відомо багато випадків самозаймання пилу, що перебуває в осадженому стані, причому можливість самозаймання тим вище, чим більша маса пилу. Останнє найбільш характерне для пилів, що містять горючі леткі речовини (вугілля).

Займатися і вибухати в пилоподібному стані (особливо у вигляді аерозолі) здатні речовини, які в стані моноліту горіти в атмосферному повітрі не можуть. Займистість речовин характеризується мінімальною енергією, необхідної для їх займання.

Коефіцієнт безпеки. Даний коефіцієнт залежить від наявності або відсутності джерела запалення в об'ємі потенційно вибухо- та пожежонебезпечної суміші. За наявності постійного джерела запалювання коефіцієнт безпеки в середньому знижується вдвічі, тобто вдвічі зростає небезпека вибуху або спалаху суміші.

У газоочисних спорудах постійне джерело запалювання є в електрофільтрах. Це слід враховувати під час проєктування.

При вловлюванні в сухих апаратах пилу, здатного горіти або вибухати як в аерозольному, так і в осадженому стані, слід передбачати в проєктах такі заходи безпеки:

- якщо на очищення надходить аерозоль із вмістом кисню, що гарантує неможливість загоряння або вибуху пилу (нижче за нижню межу вибуховості плюс нормативний запас) – виключити підсмоктування повітря по тракту газоочищення;

- якщо на очищення надходить аерозоль з вмістом пилу і кисню вище нижньої межі вибуховості (загоряння) – встановлювати якомога ближче до джерела викиду циклони або інші найпростіші апарати для уловлювання пилу до концентрації, що виключає неможливість його вибуху (загоряння) у наступних пилах ;

- передбачати безперервне видалення пилу з бункерів пиловловлювачів;

- забезпечувати умови, які унеможливають відкладення пилу всередині апаратів;

- в електрофільтрах передбачати пристрої для пожежогасіння (варіанти: водяні форсунки у верхній частині фільтра, підведення азоту або водяної пари до бункерної частини);

- у рукавних фільтрах використовувати антистатичні, а наскільки можна – негорючі тканини.

При проєктуванні газоочищення для потенційно вибухо- та пожежонебезпечних сумішей слід застосовувати ТДМ у вибухобезпечному виконанні.

Від звичайних вони відрізняються переважно посиленням ущільненням у місцях проходу валу ротора через корпус. Особливо слід зупинитися на питаннях вибухо- і пожежобезпеки стосовно пароповітряних сумішей (ППС), що є повітря з дуже невеликою концентрацією пального компонента в пароподібному вигляді.

Дані суміші небезпечні тим, що пара порівняно легко може сконденсуватися в летку рідину, що швидко запалюється. ТДМ у разі є тим місцем, де за певних умов можливе скупчення певної кількості конденсату. При цьому небезпечним є не підсмоктування повітря, яке вже є у всьому об'ємі газового тракту, а іскріння, яке може статися під час запуску раніше зупиненої ТДМ. Іскріння може бути викликане випадковим зачепленням ротора за корпус, потраплянням до ТДМ стороннього металевго предмета (гайки, гвинта) або іншими причинами.

При іскрінні відбувається спалах конденсату і накопичених вище за нього пари. Для запобігання цьому слід застосовувати не вибухонебезпечні, а спеціальні неіскристі ТДМ. Недосвідчені проєктувальники часто змішують ці два поняття. На це слід звертати особливу увагу при проєктуванні.

У світовій практиці відомі різні конструкції неіскристих вентиляторів. Серед способів запобігання іскрінню можна відзначити, наприклад виготовлення ротора і корпусу з м'яких кольорових металів, нанесення на ротор і корпус неметалевих паст, що твердіють, обклеювання ротора і корпусу тканиною на епоксидних смолах і т. д.

Для захисту обладнання від руйнування під час вибуху у багатьох галузях застосовуються вибухові мембрани, або вибухові клапани. Вони використовуються і в газоочисних спорудах. Проте останні мають специфіку, яка вносить деякі корективи в застосування мембран.

З ряду причин загальноприйнята методика розрахунку вибухових мембран не може бути застосована до газоочисних апаратів, які заповнені внутрішніми пристроями, які вкрай ускладнюють поширення вибухових хвиль (електрофільтри, наприклад, заповнені осаджувальним електродами, рукавні фільтри – тісно розташованими рукавами і т. д.).

Вибухові мембрани в тій кількості, в якій вони реально розміщуються на великогабаритному газоочисному апараті, здатні скинути надлишковий тиск тільки при невеликих локальних вибухах або місцевих ляск пилегазової суміші.

Розташовувати вибухові мембрани доцільно на верхніх стінках дифузorzів та конфузorzів апаратів.

Наявність вибухових мембран на апаратах газоочищення нерідко вводить в оману обслуговуючий персонал, який вважає, що мембрани дійсно здатні зберегти цілісність апарату при вибуху і тому послаблює увагу до попередження попадання в апарат вибухонебезпечних сумішей. Тому в проєкті необхідно давати докладні роз'яснення щодо призначення мембран і тієї обмеженої ролі, яку вони можуть зіграти під час вибуху.

У роз'ясненнях слід зазначити, що дійсна вибухобезпека забезпечується не за рахунок мембран, а шляхом правильного ведення основного технологічного процесу. Мається на увазі, що склад сумішей, що надходять на очищення, повинен точно відповідати технологічному регламенту, останній повинен виключати виникнення потенційної небезпеки вибуху. Зокрема, у ньому слід передбачити обов'язкове повне спалювання палива, справну роботу пальників та камер допалювання тощо.

Усі ці роз'яснення мають бути повторені в експлуатаційних інструкціях для операторів. При використанні вибухових мембран також необхідно враховувати деякі обставини, що виникають після їхнього розриву.

5.3 Інші заходи безпеки, що передбачаються в проєктах

При проєктуванні газоочисних споруд, крім загальнопромислових правил безпеки, слід враховувати також і галузеві правила. Вони не суперечать загальнопромисловим та відображають деякі специфічні особливості цього виробництва. Водночас, окремі галузеві правила можуть бути перенесені до інших галузей. Так, розробки у сфері безпеки газового господарства металургійних заводів цілком придатні під час проєктування газоочисних споруд у галузі виробництва.

Тут розглянуті заходи безпеки, які або специфічні для газоочищення, або недооцінюються і неправильно тлумачаться під час проєктування.

Корпуси апаратів мокрої очистки, як опорні конструкції і їх фундаменти, слід розраховувати на аварійне заповнення апаратів рідиною. Важливо визначити рівень наповнення. Досягнувши патрубку входу газу, рідина почне переливатись у пилогазопровід і заповнювати його. Подальше залежить від конфігурації пилогазопроводу, також від його міцності. Якщо пилогазопровід обрушиться, то апарат не буде заповнений вище рівня місця обвалення.

У мокрих апаратах необхідно встановлювати сигналізатори рівня заповнення, блокуючи їх із системою автоматичного відключення подачі рідини, що зрошує.

Особлива роль належить заглушкам. **Заклушка** – плоский лист, розміри і форма якого дорівнює розмірам і формі пилогазопроводу або трубопроводу з урахуванням розміру сполучних фланців. **Призначення заглушки** – повне (глухе) перекриття пилогазопроводу або трубопроводу з метою гарантованого виключення проникнення небезпечних речовин в апарат або ділянки пилогазопроводу, всередині якої знаходяться люди (з метою ремонту, огляду тощо). Місця встановлення заглушок вказуються в проєкті, в цих місцях передбачаються розсувні фланцеві з'єднання. Іноді застосовують з'єднання з кільцем, що компенсує, яке вставляється між фланцями і знаходиться там у період відсутності заглушки.

У газоочисних спорудах заглушки здебільшого зазнають навантаження тільки від перепаду звичайного робочого тиску. Однак бувають випадки, коли заглушка повинна протистояти раптовому піковому тиску, що виникає при ляскоті або вибуху в газо-і пиловиділяючому агрегаті. Такі ситуації створюються в системах газоочищення від рудно-термічних печей у фосфорній промисловості та в кольоровій металургії і в деяких інших галузях.

У виробництві жовтого фосфору нормальний експлуатаційний тиск не перевищує 500 Па, але при опіках воно може сягати 10-20 кПа і більше. В подібних випадках заглушку слід розраховувати на максимальний тиск плюс нормативний запас міцності. В листах опитування мають бути вказані пікові значення всіх параметрів, включаючи тиск.

Якщо є ймовірність пікового стрибка тиску, його врахування щодо товщини заглушки абсолютно обов'язкове. Інакше виникає небезпека нещасного випадку з тяжким наслідками.

При проектуванні місця встановлення заглушок повинні бути передбачені і вказані на всіх без винятку комунікаціях, що підходять до даного апарату. Якщо залишкові викиди від кількох апаратів (трактів газоочищення) об'єднуються у спільну димову трубу, розміщення заглушок з боку труби є обов'язкове.

Надійність заглушки забезпечується її конструктивною простотою і тим, що її наявність можна перевірити візуально. Заміна заглушки якимось іншим відсікачем неприпустима.

У деяких виробництвах замість заглушок використовуються гідрозатвори.

5.4 Вимоги техніки безпеки при проектуванні електрофільтрів

Електрофільтри належать до розряду електроустановок спеціального призначення. На них поширюються правила техніки безпеки під час експлуатації електроустановок напругою до 1000 В.

На електрогазоочисних установках застосовують напругу двох видів: змінну – до 1000 В для живлення трансформаторів (підвищення напруги) та допоміжних механізмів (приводів механізмів струшування, насосів, вентиляторів), а також ланцюгів керування агрегатів та інших споживачів, розміщених на підстанції, та випрямлене – вище 1000 В (до 70 кВ), що застосовується для живлення електрофільтрів.

Ланцюг напругою вище 1000 В працює із заземленням позитивного виведення випрямляча; передбачено також загальне захисне та робоче заземлення для ланцюгів напругою до 1000 В.

Електрофільтри та їх кабельні лінії мають значну ємність, тому при перехідних процесах в електричних ланцюгах живлення періодично виникають перенапруги, амплітуда яких досягає дво-триразової амплітуди робочої напруги.

При виробництві профілактичних, поточних та капітальних ремонтів електрофільтрів і підстанцій агрегатів живлення слід дотримуватись особливих заходів техніки безпеки, оскільки часто паралельно працюючі агрегати залишаються під напругою. Підвищені заходи безпеки слід дотримуватись при живленні за схемою «наступного поля», у цьому випадку

кілька агрегатів працюють як єдиний агрегат і виключення одного з них не означає, що на ньому немає напруги.

Отже, основні особливості техніки безпеки безпосередньо при обслуговуванні установок електричного очищення газів виділяють тим, що електрофільтри за своєю природою є досить складними високовольтними агрегатами із великою кількістю точок обслуговування, котрі власне встановлюються у складі технологічних ліній.

Таким чином, можна сказати, що саме цим установки електрофільтрів і відрізняються від переважної кількості інших високовольтних установок. Вони можуть розміщуватися відокремлено у відповідних спеціальних приміщеннях або ж на спеціальних майданчиках, котрі повинні обслуговуватися спеціальним персоналом. Саме внутрішній ремонт та огляд електрофільтрів повинен проводитися тільки безпосередньо під наглядом або ж за участю особи, котра є відповідальною за експлуатацію електрофільтру. Для того, аби запобігти випадкового контакту персоналу із частинами електрофільтру, котрі безпосередньо перебувають під напругою, як правила дверцята ізоляторних коробок оснащують блокуючими заземлювальними пристроями.

Таким чином, поблизу усіх люків повинні бути передбачені заземлюючі гвинти, які застосовуються для поєднання переносних заземлень. Обслуговування та перевірка електрофільтрів повинні бути організовані безпосередньо на підставі інструкцій із охорони праці відповідних організацій, котрі враховують особливості конкретної установки пиловидалення.

Бункера розраховують на міцність, виходячи із заповнення їх пилом до рівня, який визначається при проєктуванні. В електрофільтрах аварійний рівень заповнення не повинен бути вищим за лінію примикання бункерів до вертикальної стінки корпусу, у циклонах – вище за нижній обріз вихлопної труби; для рукавних фільтрів діють такі самі правила, як і для електрофільтрів. Розрахунок проводиться у випадку насипної щільності пилу в ущільненому стані.

Під час експлуатації електрофільтрів забороняється:

- вмикати механізми струшування тоді, коли люди безпосередньо перебувають у електрофільтрі, окрім того випадку, коли це зазначається в наряді за особливою вказівкою керівника усіх робіт;
- одночасно проводити ремонтні роботи в усіх секціях та бункерах;
- подавати напругу на кабелі та електрофільтри, котрі їх живлять, у тому випадку, коли наявна несправність блокування агрегатів живлення, а також за несправності та відсутності запорів люків та отворів секцій ізоляторних коробок або отворів електрофільтрів.

Важливою деталлю є те, що перед допуском людей до роботи у секції електрофільтрів відповідно останні повинні бути провентильовані, а зі самих бункерів повинен бути видалений пил. У такому випадку температура в секції та в бункері не повинна перевищувати позначки 33 °С.

РОЗДІЛ 6. ЗАГАЛЬНІ УМОВИ БЕЗПЕКИ БУДІВЕЛЬ, СПОРУД, ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОБЛАДНАННЯ

Безпека праці досягається забезпеченням безпеки будівель та споруд, виробничих процесів і обладнання. Вирішення питань охорони праці здійснюється на стадіях проектування, виготовлення й експлуатації різних об'єктів виробничого призначення.

У будівельній практиці розрізняють поняття «будинок» і «споруда». **Спорудою** прийнято називати все, що штучно зведено людиною задоволення матеріальних і духовних потреб суспільства.

Будинок називається наземна споруда, що має внутрішній простір, призначений і пристосований для того чи іншого виду людської діяльності (наприклад, житлові будинки, заводські корпуси, вокзали і т.д.). Т

аким чином, поняття «споруда» немовби містить в собі поняття «будинок». У практичній діяльності прийнято всі інші споруди, що не належать до будинків, відносити до так званих інженерних споруд. Іншими словами, споруди призначені для виконання суто технічних завдань (наприклад, міст, телевізійна щогла, тунель, станція метро, димар, резервуар і т.д.).

У будь-якому будинку можна умовно виділити три групи взаємно пов'язаних між собою частин чи елементів, що в той же час немовби доповнюють і визначають один одного: **об'ємно-планувальні елементи**, тобто великі частини, на які можна розчленувати весь об'єм будинку (поверх, окремі приміщення, частина будинку між основними його стінами, що розчленовують, та ін.); **конструктивні елементи**, що визначають структуру будинку (фундаменти, стіни, перекриття, дах та ін.); **будівельні виробни**, тобто порівняно дрібні деталі, з яких складаються конструктивні елементи.

Форма будинку в плані, його розміри, а також розміри окремих приміщень, поверховість та інші характерні ознаки визначаються в ході проектування будинку з урахуванням його призначення. **Будь-який будинок повинен відповідати наступним вимогам:**

функціональної доцільності, тобто будинок повинен цілком відповідати тому процесу, для якого він призначений (зручність проживання, праці, відпочинку і т.д.);

- технічної доцільності, тобто будинок повинен надійно захищати людей від зовнішніх впливів (низьких чи високих температур, опадів, вітру), бути міцним і стійким, тобто витримувати різні навантаження, і довговічним, тобто зберігати нормальні експлуатаційні якості в часі;

- архітектурно-художньої виразності, тобто будинок повинен бути привабливим за своїм зовнішнім (екстер'єром) і внутрішнім (інтер'єром) виглядом, сприятливо впливати на психологічний стан і свідомість людей;

- економічної доцільності, що передбачає найбільш оптимальні для даного виду будинку витрати праці, засобів і часу на його зведення. При

цьому необхідно також поряд з одноразовими витратами на будівництво враховувати й витрати, пов'язані з експлуатацією будинку.

Головними з перелічених вимог є функціональна чи технологічна доцільність. Оскільки будинок є матеріально-організованим середовищем для здійснення людьми найрізноманітніших процесів праці, побуту і відпочинку, то приміщення будинку повинні найбільш повно відповідати тим процесам, на які вони розраховані; отже **основним у будинку чи його окремих приміщеннях є його функціональне призначення.** Усі приміщення в будинку, що відповідають головним і підсобним функціям, зв'язуються між собою приміщеннями, головне призначення яких – забезпечення руху людей. Ці приміщення прийнято називати комунікаційними. Отже, приміщення повинне обов'язково відповідати тій чи іншій функції. При цьому мають бути створені найбільш оптимальні умови для людини, тобто середовище, що відповідає виконуваній нею у приміщенні функції. Якість середовища залежить від таких факторів, як простір для діяльності людини, розміщення устаткування і руху людей; стан повітряного середовища (температура і вологість, повітрообмін у приміщенні); звуковий режим (забезпечення чутності й захист від шумів, що заважають); світловий режим; видимість і зорове сприйняття; забезпечення зручності пересування і безпечної евакуації людей. Отже для того щоб правильно запроектувати приміщення, створити в ньому оптимальне середовище для людини, необхідно врахувати всі вимоги, що визначають якість середовища. Ці вимоги для кожного виду будинків і його приміщень установлюються Державними будівельними нормами (ДБН) – основним документом, що регламентує проектування і будівництво будинків і споруд у країні.

Технічна доцільність будинку визначається вирішенням його конструкцій, що має враховувати всі зовнішні впливи, сприймані будинком у цілому і його окремими елементами. Ці впливи підрозділяють на силові і несилові (вплив середовища).

До **силового** відносять **навантаження** від власної маси елементів будинку (постійні навантаження), маси устаткування, людей, снігу, навантаження від дії вітру (тимчасові) й особливі (сейсмічні навантаження, впливи в результаті аварії устаткування і т.п.).

До **несилового навантаження** відносять температурні впливи (викликають зміни лінійних розмірів конструкцій), вплив атмосферної і ґрунтової вологи (викликає зміну властивостей матеріалів конструкцій), рух повітря (зміна мікроклімату в приміщенні), вплив променистої енергії сонця (викликає зміна фізико-технічних властивостей матеріалів конструкцій), вплив агресивних хімічних домішок, що містяться в повітрі (можуть призвести до руйнування конструкцій), біологічні впливи (викликані мікроорганізмами чи комахами, що призводять до руйнування конструкцій), вплив шуму від джерел усередині чи поза будинком, що порушують нормальний акустичний режим приміщення. З урахуванням вказаних впливів будинок повинен задовольняти вимогам міцності, стійкості і довговічності.

Міцністю будинку називається здатність сприймати впливи без руйнування та істотних залишкових деформацій.

Стійкістю (твердістю) будинку називається здатність зберігати рівновагу при зовнішніх впливах.

Довговічність означає міцність, стійкість і схоронність як будинку в цілому, так і його елементів у часі.

Будинки залежно від призначення прийнято підрозділяти на цивільні, промислові й сільськогосподарські. До **цивільних відносять будинки**, призначені для обслуговування побутових і суспільних потреб людей. Їх розділяють на житлові (житлові будинки, готелі, гуртожитки і т.п.) і суспільні (адміністративні, торгові, комунальні, спортивні, навчальні, культурно-просвітні та ін.).

Промисловими називають будинки, споруджені для розміщення знарядь виробництва і виконання трудових процесів, у результаті яких виходить промислова продукція (будинки цехів, електростанцій, транспорту, склади та ін.).

Сільськогосподарськими називають будинки, що обслуговують потреби сільського господарства (будинки для утримання худоби, тварин і птахів, теплиці, склади сільськогосподарських продуктів і т.п.).

6.1 Класифікація промислових будівель

Промислові підприємства поділяють на галузі виробництва, що є складовою частиною народного господарства. Промислові підприємства складаються з будівель, які призначені для здійснення виробничо-технологічних процесів, прямо або посередньо зв'язаних з випуском певного виду продукції.

Незалежно від галузі **промисловості будівлі поділяють на чотири основні групи**: виробничі, енергетичні, будівлі транспортно-складського господарства і допоміжні будівлі або приміщення.

До виробничих належать будівлі, в яких здійснюється випуск готової продукції або напівфабрикатів. Вони поділяються на багато видів відповідно до галузей виробництва. Серед них механоскладання, термічні, ковальсько-штампувальні, ткацькі, інструментальні, ремонтні та ін.

До енергетичних належать будівлі ТЕЦ (теплоелектроцентралей), котельних, електричні і трансформаторні підстанції та ін.

До будівель транспортно-складського господарства належать гаражі, склади готової продукції, пожежні депо та ін.

До допоміжних будівель належать адміністративно-конторські, побутові, пункти харчування, медичні пункти та ін.

Характер об'ємно-планувального та конструктивного вирішення промислових будівель залежить від їх призначення та характеру технологічних процесів.

Промислові будівлі поділяють на чотири класи, причому до I класу відносять ті, до яких пред'являють підвищені вимоги, а до IV класу – будівлі з мінімальними вимогами. Для кожного класу визначено свої експлуатаційні властивості, а також довговічність і вогнестійкість основних конструкцій будівель.

Є три ступені довговічності промислових будівель:

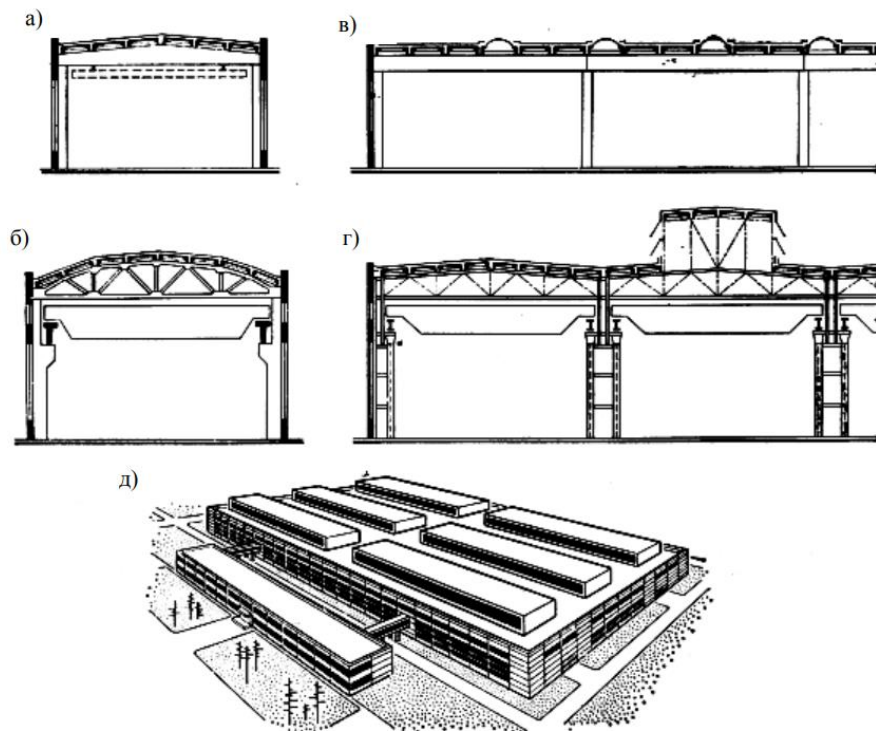
I ступінь – не менше 100 років;

II – не менше 50 років;

III – не менше 20 років.

За ступенем вогнестійкості будівлі і споруди поділяють на п'ять ступенів. Ступінь вогнестійкості, що характеризується групою загоряння і межею вогнестійкості основних будівельних конструкцій, встановлюють: для будівель I класу – не нижче II ступеня, для будівель II класу – не нижче III ступеня. Для будівель III і IV класів ступінь вогнестійкості не нормується [4-7].

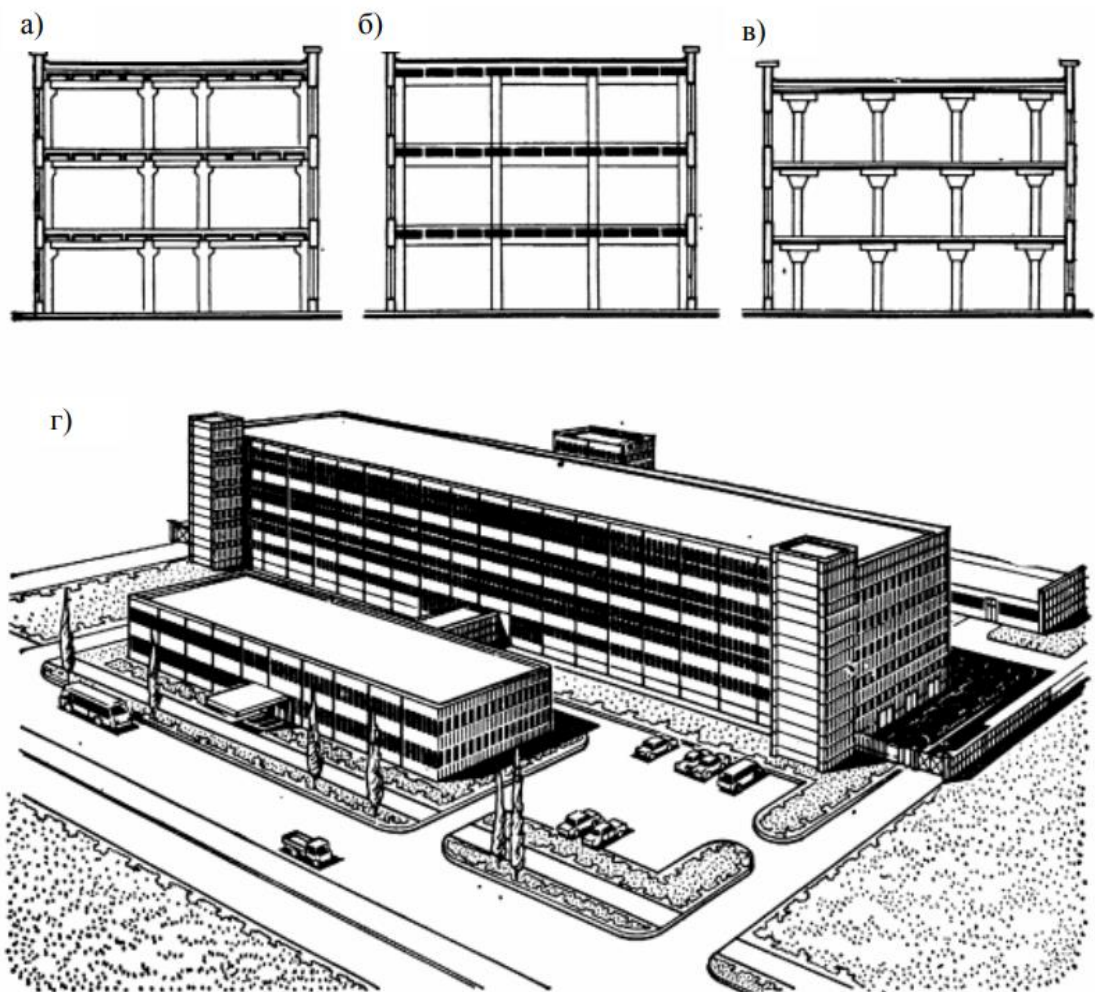
За архітектурно-конструктивними ознаками промислові будівлі поділяють на одноповерхові, багатоповерхові й змішаної поверховості. Виробництва, в яких технологічний процес відбувається по горизонталі і вони характеризуються важким і громіздким устаткуванням, великогабаритними виробами й значними динамічними навантаженнями, доцільно розміщувати в одноповерхових будівлях. Залежно від кількості прольотів одноповерхові будівлі можуть бути одно- і багатопрольотними (рис.б.1).



а – однопрольотна безліхтарна; б – те саме, з мостовим краном; в, г – багатопрольотні з ліхтарями; д – загальний вигляд будівлі

Рисунок б.1 – Основні типи одноповерхових промислових будівель

Прольотом називається об'єм промислової будівлі, обмежений по периметру рядами колон і перекриттів за однопрольотною схемою. Відстань між поздовжніми рядами називають **шириною прольоту**. У **багатоповерхових будівлях** розміщують виробництва з вертикально спрямованими технологічними процесами для підприємств легкої, харчової, радіотехнічної та аналогічних їм видів промисловості, їх, як правило, споруджують багатопрольотними (рис.6.2). На перших поверхах розміщують виробництва, що мають важче устаткування, виділяють агресивні стічні води, у верхніх – виробництва, які виділяють газові шкідливі відходи, пожежонебезпечні та ін. За розташуванням внутрішніх опор промислові будівлі поділяють на коміркові, пролітні, зальні й комбіновані.



а-в – схеми поперечних розрізів; г – загальний вигляд будівлі

Рисунок 6.2 – Основні типи багатоповерхових промислових будівель

У **будівлях коміркового типу** зазвичай використовують квадратну сітку опор з відносно невеликим поздовжнім і поперечним кроком. У цих будівлях технологічні лінії розміщують у двох взаємно перпендикулярних напрямках. У будівлях прольотного типу, які найпоширеніші, ширина прольотів переважає над кроком опор. Будівлі зального типу характерні для виробництв, що потребують значних вільних площ без внутрішніх опор.

Будівлі комбінованого типу являють собою поєднання перелічених вище типів.

За наявністю підйомно-транспортного устаткування будівлі бувають кранові (з мостовим або підвісний транспортом) і безкранові.

За матеріалом основних несучих конструкцій будівлі можна поділити на такі різновиди: із залізобетонним каркасом (збірним, збірно-монолітним і монолітним); із сталевим каркасом; з цегляними стінами і покриттям із залізобетонних, металевих або дерев'яних конструкцій.

Крім перелічених факторів промислові будівлі класифікують і за іншими ознаками: за системою опалення, вентиляції, освітлення, за профілем покриття.

6.2 Вимоги до промислових будівель

До промислових будівель пред'являють технологічні, технічні, архітектурно-художні й економічні вимоги.

Технологічні вимоги обумовлюють цілковиту відповідність будівлі своєму призначенню, тобто будівля повинна забезпечувати нормальне функціонування розміщеного в ній технологічного устаткування, нормальний хід технологічного процесу в цілому. З цією метою при проєктуванні будівлі складають технологічну частину проєкту й вирішують усі питання, пов'язані з вибором способу виробництва, типів устаткування, його продуктивності та ін. До цієї частини проєкту входить так звана технологічна схема, що визначає послідовність операцій у технологічному процесі і, отже, послідовність розставлення устаткування та компонування виробничих приміщень. З урахуванням технологічних вимог вибирають вид і матеріал несучих і захисних конструкцій, тип і вантажопідйомність внутрішньоцехового підйомно-транспортного устаткування, забезпечують відповідні санітарно-гігієнічні умови працюючим у цеху, якість і характер опорядження. Розв'язуючи питання об'ємно-планувального та конструктивного рішення будівлі, треба враховувати перспективи розвитку цього технологічного процесу, що дасть змогу змінювати й удосконалювати виробництво без реконструкції самої будівлі.

До технічних вимог належать забезпечення потрібних міцності, стійкості й довговічності будівель, протипожежних заходів, а також спорудження будівель індустріальними методами. Перелічені якості, що забезпечуються під час проєктування і спорудження будівлі, характеризують її надійність.

Найважливішими ознаками індустріалізації будівництва є комплексна механізація і автоматизація будівельно-монтажних робіт, максимальна збірність застосовуваних конструкцій і масовість їх виробництва на заводах збірних залізобетонних виробів, домобудівних комбінатах, заводах металевих конструкцій і т.п.

Під **надійністю будівлі** або її окремих конструктивних елементів звичайно розуміють безвідмовну роботу їх у заданих умовах і всього розрахункового періоду експлуатації.

До технічних вимог відносять також вимоги до пожежної, вибухопожежної і вибухової безпеки. Слід мати на увазі дедалі зростаюче значення цього фактору у зв'язку з ускладненням технології виробництва, застосуванням дорогого устаткування.

Економічні вимоги висувають завдання оптимальної, науково обґрунтованої витрати коштів на будівництво й експлуатацію будівлі, яку проєктують. З цією метою беруть кілька варіантів об'ємно-планувальних і конструктивних рішень і порівнюють їх за основними техніко-економічними показниками.

6.3 Одно- й багатоповерхові промислові будівлі. Уніфікація

Одноповерхові будівлі можуть мати в плані прості й складні форми. В основному переважає прямокутна форма, а складні форми характерні для виробництв із значними тепло- й газовиділеннями, коли потрібна організація припливу й видалення повітря.

Залежно від характеру технологічного процесу одноповерхові будівлі за об'ємно-розпланувальним рішенням можуть бути прольотного, зального, коміркового й комбінованого типу.

Будівлі прольотного типу проєктують у тих випадках, коли технологічні процеси спрямовані уздовж прольоту й обслуговуються кранами або без них.

Основними конструктивними елементами сучасної одноповерхової пролітної будівлі є: колони, які передають навантаження на фундаменти; конструкції покриття, що складаються з несучої частини (балки, ферми, арки) й захисної (плити й елементи покриття); підкранові балки, що встановлюються на консолі колон; ліхтарі, що забезпечують потрібний рівень освітленості й повітрообмін у цеху; вертикальні захисні конструкції (стіни, перегородки, конструкції). Довговічність конструкцій та елементів будівлі чи споруди оцінюється їх тривалістю безвідмовної роботи (з можливими перервами для проведення профілактичного (поточного) ремонту) у визначених експлуатаційних умовах з моменту зведення до повної втрати експлуатаційних якостей, коли необхідно проводити їх капітальний ремонт.

Регулятором довговічності конструкцій (елементів) є ремонтпридатність об'єкта: пристосованість його конструкцій (елементів) до періодичних оглядів, поточних і капітальних ремонтів. Одним із питань, які регламентують забезпечення надійності на всіх етапах життєвого циклу конструкції (елемента), будівлі (споруди), відповідно проєкту нових норм, є оцінка їх технічного стану, а також своєчасний їх ремонт і відновлення.

На сьогодні **основним критерієм, яким враховується значимість конструкції** і об'єкта в цілому, а також можливі наслідки їх відмови, є **коефіцієнт відповідальності K_p** , який визначається відповідно до проекту норм, залежно від класу об'єкта та типу розрахункової ситуації. У зв'язку з відсутністю коефіцієнта відповідальності K_p , конструкції (елементи) різного призначення, що використовуються в будівлях (спорудах) різного призначення проєктуються за однаковими нормами і правилами, які забезпечують достатню їх надійність. Відомо, що конструкції повинні мати різну надійність залежно від відповідальності об'єктів. Тому пропонується запровадити в норми проєктування коефіцієнт відповідальності K_p , який дозволить диференційовано підійти до рівня надійності конструкцій (елементів), при цьому отримати визначений економічний ефект.

Постійні вимоги до підвищення надійності конструкцій (елементів) не можуть бути єдиними визначними при їх проєктуванні, оскільки призводять до збільшення вартості об'єкта. Збільшуються одноразові витрати коштів при його будівництві споруд, а з іншого боку – до зменшення витрат на ремонти. Встановлено, що періодичність їх проведення, довготривалість і вартість також залежить від надійності.

Таким чином, задача вибору оптимального рівня надійності конструкції (елемента) зводиться до деякого раціонального збалансування одноразових витрат і наслідків відмов. Ця багатокритеріальна оптимізаційна задача дуже складна тільки при урахуванні економічних факторів, а ще більше ускладнюється, враховуючи рівень громадської шкоди, яка викликає загрозу для життя людей. Питанню визначення оптимального рівня надійності конструкцій (елементів) приділялася значна увага на протязі всієї історії розвитку імовірнісних методів розрахунку. Аналіз відомих **методик оцінки надійності й відповідальності конструкцій (елементів)**, будівель (споруд) виявив ряд **недоліків для оцінки їх надійності у визначений термін протягом експлуатації**: будівлі та споруди за їх відповідальністю на сьогодні поділені, відповідно до діючих норм, на три класи, для кожного з яких за допомогою експертних оцінок встановлені відповідні значення коефіцієнта надійності за призначенням, які на сьогодні не мають імовірнісного і фінансового обґрунтування. «Ідеальна» будівля повинна складатися з конструкцій та елементів, які б мали однакові характеристики початкової безвідмовності і довговічності. Після закінчення нормативного терміну експлуатації такої будівлі (споруди) повинні були б одночасно зруйнуватися усі її конструкції та елементи. Однак такої «ідеальної» будівлі не існує. Практично майже однотипні конструкції та елементи мають різні параметри якості й по-різному зношуються в процесі експлуатації, тобто мають різний характер довговічності. **Збільшення термінів експлуатації будівельних конструкцій (елементів)** можна досягти шляхом своєчасного усунення (ремонт) дефектів і пошкоджень, які виникають в них. При цьому об'єм ремонтних робіт і терміни їх проведення визначаються конструктивними особливостями будівлі, умовами технічної експлуатації її конструкцій (елементів) та економічними міркуваннями. **Дійсним заходом**

підвищення довговічності конструкцій в економічно доцільних межах є регулярне проведення профілактичних поточних їх ремонтів, у результаті яких періодично усуваються їх пошкодження і дефекти, тобто ліквідується фізичний їх знос.

Важливою задачею поточних ремонтів є попередження можливих ушкоджень, дефектів – фізичного зносу конструкцій (елементів). **Своєчасне проведення поточних ремонтів конструкцій** (елементів) з повною ліквідацією фізичного зносу відтермінує початок проведення їх капітального ремонту, збільшуючи нормативний термін (Тк) їх експлуатації до його проведення.

У нормативних документах наводяться основні визначення поточного і капітального ремонтів та їх функцій:

- **поточний ремонт** будівлі ведеться з метою відновлення роботоспроможності її конструкцій та систем інженерного обладнання, а також підтримання їх експлуатаційних якостей. Поточні ремонти проводяться в межах між двома капітальними ремонтами;

- **капітальний ремонт** будівлі проводиться з метою відновлення ресурсів її конструкцій (елементів), а при необхідності, з їх заміною, а також з метою поліпшення їх експлуатаційних якостей.

Залежно від специфіки проведення ремонтів, їх періодичності та нормативного терміну експлуатації конструкції (елемента) (Тк), усі конструкції можна поділити на два основних типи:

- конструкції (елементи), які мають довготривалий нормативний термін експлуатації до капітального ремонту Тк більше 20 років;

- швидкозношувані конструкції (елементи), які мають нормативний термін експлуатації до капітального ремонту Тк до 20 років.

Деякі конструкції (елементи) будівлі (споруди) залежно від середовища експлуатації і значень нормативного терміну експлуатації до капітального ремонту можуть одночасно відноситися до обох типів. Крім того, на етапі експлуатації до капітального ремонту кожна конструкція чи елемент залежно від середовища функціонування, може мати різний характер фізичного зносу: регресивний, прогресивний чи пропорційний. На рис.6.3, 6.4 наведено види фізичного зносу залізобетонних колон, які експлуатуються в нормальних умовах до капітального ремонту з періодичністю $T_k = 60$ років, і залізобетонних збірних плит перекриття, які експлуатуються під впливом агресивного середовища і в нормальних умовах з періодичністю проведення капітальних ремонтів, відповідно $T_k = 15$ років і $T_k = 25$ років [4-7].

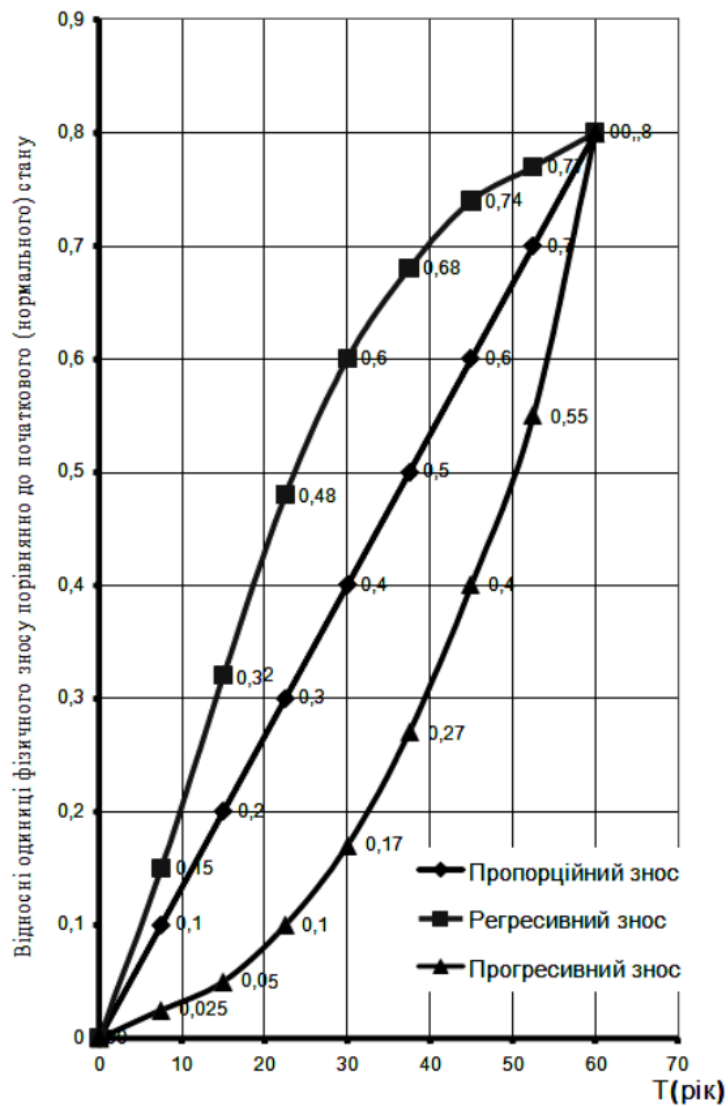


Рисунок 6.3 – Типи фізичного зносу залізобетонних колон будівель, які експлуатуються в нормальних умовах до капітального ремонту з періодичністю $T_k = 60$ років

Регресивний знос конструкції (елемента) характеризується відносно високим темпом зносу на початковій стадії експлуатації з поступовим його затуханням.

При регресивному зносі приріст зносу за кожний наступний рік зменшується в порівнянні з попереднім роком. **Такий графік віддзеркалює можливість досить тривалої експлуатації в значній мірі конструкцій, що мають дуже високий процент фізичного зносу.**

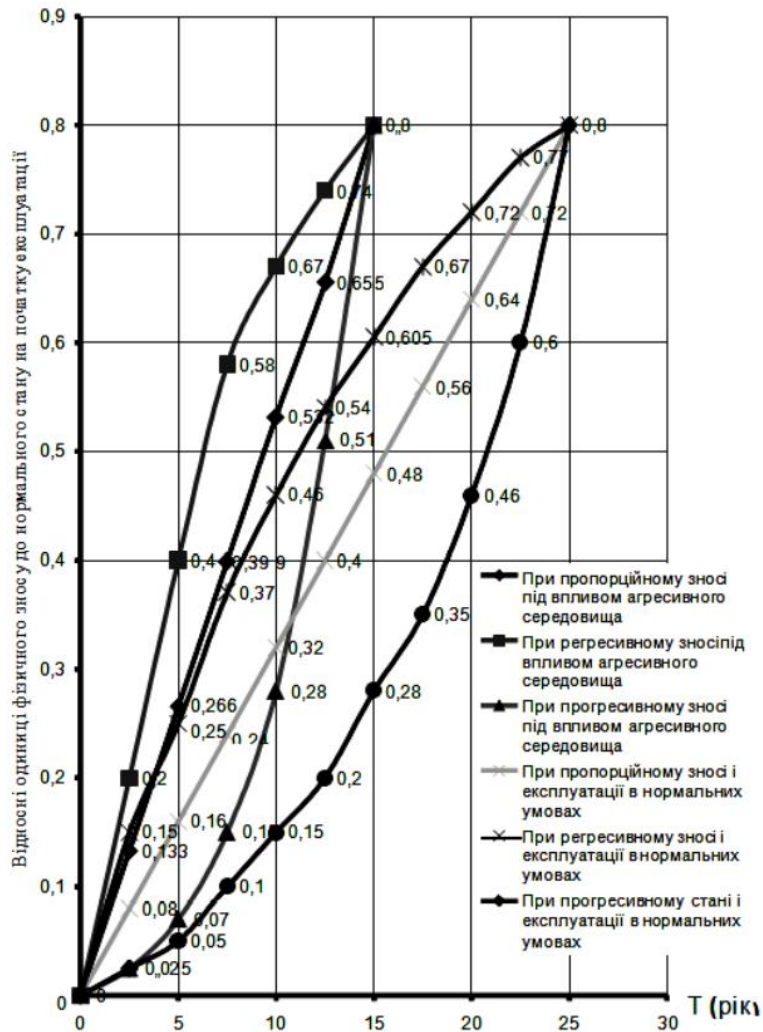


Рисунок 6.4 – Типи фізичного зносу залізобетонних плит переkritтя, які експлуатуються під впливом агресивного середовища і в нормальних умовах з періодичністю проведення капітальних ремонтів відповідно $T_k=15$ років і $T_k = 25$ років

Прогресивний знос характеризується приростом швидкості зношення конструкції під час її експлуатації. При прогресивному зносі приріст зношення за кожний наступний рік збільшується у порівнянні з попереднім роком. У реальних умовах експлуатації конструкції (елементи) мають більш складний графік зносу, в якому комбінуються (поєднуються) різні типи фізичного зносу в різні моменти терміну їх експлуатації. **Отримання чисельних оптимальних (мінімальних) значень витрат $B(I)$ від відмов конструкції (елемента), які використовують на її ремонт, є задача вельми складна. Вона залежить від імовірності та кількості відмов, часу їх виникнення, умов експлуатації конструкції, які впливають на характер її зносу. Для вирішення цієї задачі прийняті наступні передумови:**

- під відмовою конструкції (елемента) будівлі споруди, яка експлуатується до капітального ремонту або між двома капітальними ремонтами, приймаємо такі ознаки фізичного зносу, при яких подальша її експлуатація може призвести до її часткової втрати несучої здатності;

- кожна відмова конструкції (елемента) пов'язана з визначеною шкодою, і не призводить до вичерпування нею повної несучої здатності.

Термін експлуатації конструкції чи елемента до капітального ремонту чи заміни поділяють на три інтервали:

- **I-й часовий інтервал:** від початку експлуатації конструкції (елемента), коли $Q(I)=1$, до появи перших ознак її фізичного зносу, коли ймовірність «нечіткої» відмови становить $Q(I_{min})$;

- **II-й часовий інтервал:** від появи перших ознак фізичного зносу конструкції (елемента), коли ймовірність відмови становить $Q(I_{min})$, до терміну її експлуатації, коли ймовірність відмови становить $Q(I_{gr})$, де I_{gr} – значення індикатора «нечіткої» відмови, при якому необхідно виконувати поточний ремонт.

- **III-й часовий інтервал:** від появи ознак фізичного зносу конструкції (елемента), коли ймовірність відмови становить $Q(I_{gr})$ конструкцій має такі ознаки фізичного зносу, які кваліфікують її стан як граничний (непридатний для нормальної експлуатації (III)). Тобто повністю вичерпана несуча здатність, факторами якої є її руйнування або набуття таких ознак фізичного зносу, які кваліфікують її стан як критичний (аварійний (IV)), коли ймовірність відмови конструкції (елемента) становить $Q(I_{max})$.

6.4 Основні вимоги до безпеки експлуатації будівель та споруд. Ризики нещасних випадків

Безпека експлуатації будівель та споруд визначає аспекти будівельних об'єктів, які пов'язані з ризиком тілесних пошкоджень людей на будівельному об'єкті чи поряд з ним, з будь-якої причини. Основні **вимоги щодо безпеки експлуатації** дотримуються протягом економічно обгрунтованого терміну експлуатації **будівельного об'єкта**. Вимоги **забезпечуються взаємопов'язаними заходами:**

- планування, проектування та будівництва будівельних об'єктів і їх технічного обслуговування у відповідності з порядком, передбаченим нормативними документами категорії А (організаційно-методичні норми, правила і стандарти);

- використання будівельних виробів із властивостями і характеристиками, що відповідають вимогам нормативних документів категорії В (технічні умови).

Оцінка ризиків ґрунтується на нормальній чи очікуваній експлуатації будівельних об'єктів, що передбачає користування будівельними об'єктами користувачами, групи ризику: людьми похилого віку, інвалідами та дітьми. Основна вимога безпеки стосується трьох груп ризиків:

- ковзання, падіння, удари;
- опіки, електроудари, вибух;

- нещасні випадки в наслідок руху транспортного засобу та роботі вантажно-підйомних кранів і будівельних машин і механізмів.

Перша група ризиків стосується перешкод через:

- ковзання і удари, обумовлені, наприклад, падінням, спотиканням чи ковзанням користувачів будівельних об'єктів;

- прямі удари чи контакти, спричинені падінням елементів будівельних об'єктів на користувачів;

- тілесні пошкодження як наслідки контакту чи маніпуляції з елементами рухомих частин будівельних об'єктів (затиснення, трощення, різання тощо).

Друга група ризиків пов'язана з наявністю спеціального устаткування чи обладнання будівельних об'єктів, контактів з ними або використанням і стосується:

- електроударів, опіків і вибухів від електричного обладнання та устаткування;

- опіків і вибухів від термічного обладнання та устаткування;

- опіків та ошпарень від водного обладнання з високою температурою.

До третьої групи ризиків відносяться поранення людей у транспортних засобах або пішоходів на узбіччі доріг (пристрої пасивної безпеки, дорожнє обладнання). **Ризик падіння після ковзання** пов'язаний із координацією руху пішоходів, типом взуття, станом підлоги чи тротуару (дороги) через слизькість. **Ризик падіння після спотикання** чи зачеплення може визвати поранення чи смерть. **Причини:** погана видимість чи перепади рівнів поверхні підлоги, відсутність відповідних огорож та наявність невідповідних сходів, трапів або пандусів. Для запобігання падінню після ковзання будівельні вироби, що застосовуються для відповідних елементів будівельних об'єктів (підлоги, тротуари, дороги), повинні мати обмеження щодо слизькості, яка залежить від характеристики поверхонь виробів, а також наявності на них води чи жиру.

Для запобігання падінню після спотикання необхідно забезпечити гладкі поверхні підлоги в місцях пересування користувачів об'єктів без раптових малих змін у рівні, змін у слизькості та низьких переполах. Для запобігання падінню через спотикання або зачеплення в умовах слабкої видимості вимагається мінімальне стандартне освітлення, щоб люди могли рухатись безпечно в приміщеннях будівельного об'єкта, в тому числі бігти у разі небезпеки. Крім того, мають бути запасні виходи з адекватним освітленням, здатним до функціонування навіть у разі відмови електроживлення.

Для запобігання падінню при раптових суттєвих змінах в рівні підлоги чи тротуару наявні отвори в них мають бути закриті сітками чи ґратами. Висота поручнів, балюстрад, парапетів та інших подібних захисних пристосувань визначається відповідно до глибини можливого падіння. Має бути встановлений також мінімальний рівень опору горизонтальному поштовху. Для запобігання падінню через раптові зниження рівня підлоги

необхідна наявність поручнів, балюстрад та парапетів, які мають характеризуватись:

- висотою над підлогою;
- можливістю подолання дітьми або людей маленького зросту;
- розмірами отворів, які унеможливають застрягання або провалювання в них людей;
- стійкістю до горизонтального поштовху.

Ризик прямих впливів стосується поранення чи смерті користувачів, що перебувають всередині чи ззовні будівельного об'єкта, через випадкові чи невідповідні контакти (впливи, зіткнення) з будівельним об'єктом або його частинами (елементами). Зокрема цей ризик **стосується**:

- контактів між користувачами та елементами або частинами будівельного об'єкта (двері, вікна тощо);
- контактів між користувачами та частинами будівельного об'єкта в результаті нещасних випадків (наприклад, провалювання скрізь слабкий елемент) чи специфічні обставини (наприклад, відмова освітлення);
- контактів користувачів з падаючими елементами, складовими частинами будівельного об'єкта;
- ризиків нещасних випадків у результаті руху транспортного засобу.

Характеристиками будівельних об'єктів чи їх елементів, які впливають на рівень ризику, є:

- геометричні параметри (наприклад, висота приміщення);
- наявність гострих чи ріжучих крайок;
- характер поверхонь (твердість, шорсткість тощо);
- реакція на удар (міцність, здатність перешкоджати проникненню падаючих людей чи елементів, крихкі властивості, розмір уламків тощо);
- сили, що можуть бути прикладені до користувачів будівельних об'єктів (наприклад, від автоматичних дверей).

Рівень ризику прямих впливів залежить від наявності запобіжних пристроїв для обмеження чи попередження доступу до небезпечних елементів і може бути мінімізованим через вимоги до проекту будівельного об'єкта ніж до виробів.

Суттєвими характеристиками будівельних виробів є:

- для автоматичних виробів (наприклад, двері)
- сила, прикладена до тіла, та характеристика запобіжних пристроїв;
- для дверей, балюстрад та вікон із склінням - визначеність геометрії скління та видимість прозорих перепон;
- для сходів, площадок, дверних прорізів - висота приміщення;
- для спіральних сходів - визначеність геометрії;
- для світильників - потужність та світлова продуктивність;
- для знаків запасних виходів - визначеність геометрії знаку, його видимість та чіткість;
- для коливальних дверей - визначеність геометрії прозорих елементів та їх видимість;

- для виробів, які викликають ризики нещасних випадків, - механічний опір та стійкість.

Вимога, яка є загальною для всіх будівельних виробів і має бути відображена у нормативних документах, пов'язана з виключенням ризику порізів від гострих крайок доступних виробів та зменшення ризиків контактів з потенційно небезпечними частинами виробів.

Ризик опіків може бути наслідком:

- контакту з гарячими частинами будівельного об'єкта чи обладнання;
- контакту через розпилення гарячих рідин або занурення в них;
- впливу випромінюючих джерел.

Ступінь одержаного опіку залежить від температури об'єктів чи середовища.

Вимогами безпеки щодо ризиків опіку є температурний критерій (поверхнева температура, температура рідин, температура випромінювання) і ступінь доступності небезпечних частин елементів будівельних об'єктів.

Пов'язані з ризиком опіків робочі характеристики будівельних об'єктів стосуються головним чином обладнання для обігрівання приміщень, зберігання та розподілення гарячої води та інших рідин. Беруться до уваги і деякі частини освітлювального обладнання, механічного чи електричного устаткування, які в нормальному чи аварійному режимах могли б спричинити опіки користувачам.

Засоби для зменшення ризику опіку (огорожі, екрани, СИЗ) повинні обмежити можливість контакту з устаткуванням, знизити температуру будівельних конструкцій та температуру відповідних рідин. У деяких випадках експлуатація будівельних об'єктів та обладнання не є можливим зменшити ризики опіку. В цих випадках попередження ризику залежить від навчання користувачів і необхідного інструктажу.

Ризик електричного удару та електрошоку може бути наслідком:

- удару блискавки у будівельний об'єкт або у його користувачів;
- напруги систем електроживлення на частинах будівельного об'єкта, з якими можливий контакт його користувачів.

На ризик удару блискавки у будівельний об'єкт може впливати розташування і висота будівельного об'єкта стосовно оточення. Ризик того, що напруга системи електроживлення досягає частин будівельного об'єкта, з яким може контактувати користувач, залежить від власне проекту системи, рівня напруги та обставин експлуатації (наприклад наявність вологи). Для систем електропостачання з більш високою напругою ризик виникає також і на деякій відстані від частин системи під напругою.

Для запобігання ризику електричного удару блискавки будівельний об'єкт має бути забезпечений блискавко захисною системою, яка повинна містити пристрої перехвату, провідники розряду та заземлення. Запобігання ризику електричного удару та електрошоку від напруги систем електроживлення із напругою, більшою ніж визначений рівень, досягається відсутністю контакту користувачів з системою або забезпеченням перебування їх на певній відстані від частин системи; від систем

електроживлення сигнального обладнання для дорожнього руху та вуличних ліхтарів досягається заходами щодо відсутності контакту між користувачами доріг та частинами будівельних об'єктів, які є під напругою, або можуть потрапити під напругу (наприклад, через транспортні засоби).

Для мінімізації ризиків електричних ударів від світлофору, сигналів переходу, змінних табло для повідомлень, датчиків руху, контрольного обладнання, обладнання лінії електропередачі та джерел енергії для дорожнього обладнання мають бути узгоджені рівні ізоляції та автоматичні запобіжники; безпечні рівні напруги.

Термін "вибух" означає ризики явищ, які є наслідком швидкої термічної чи хімічної реакції, так і розривів, з викидом із системи під тиском, що містить газ. **Ризик вибухів** має розглядатись з двох точок зору. З одного боку **ризиком для користувачів можуть служити комунальні будівельні об'єкти** (лінії постачання палива, теплогенератори, обігрівачі та зберігаючи тепло засоби, устаткування під тиском). З іншого боку **вибух може бути викликаний користувачами будівельних об'єктів через необережне поводження з вибухонебезпечними матеріалами**. Вимоги для зменшення ризику вибуху для користувачів у першому випадку стосуються експлуатаційної безпеки комунальних підприємств чи об'єктів і пов'язані з їх проектуванням та виконанням будівельних робіт.

У залежності від типу засобів обслуговування та тисків і температур будівельні матеріали, обладнання, засоби розподілення мають відповідати матеріалам (енергоносіям), які будуть зберігатися та транспортуватися. Зйомні частини для з'єднань труб та інші з'єднання повинні гарантувати щільність у всіх робочих режимах. Трубопроводи для вогненебезпечних матеріалів та матеріалів вибухового характеру мають бути обладнані перериваючим пристроєм чи вимикачем на безпечній відстані від місця вводу.

Для запобігання вибуху під дією надмірного тиску чи температури мають бути передбачені засоби обслуговування, які обмежують чи зменшують тиски та температуру, або переривають, виключають чи автоматично зупиняють відповідні засоби обслуговування чи лінії постачання. Якщо використання ліній постачання веде до ризику вибуху, засоби обслуговування необхідно розмістити та обладнати так, щоб захистити навколишнє середовище відповідно до вимог нормативних документів категорії А.

У разі неможливості запобігання розвитку небезпечної та вибухової атмосфери через витік газів, парів, туману чи горючого пилу через місцеві чи експлуатаційні умови слід передбачити заходи безпеки. Одним із заходів безпеки може бути використання матеріалів, які не сприяють накопиченню статичної електрики і задовольняють вимогам вибухової безпеки.

При формулюванні вимог стосовно вибухової безпеки окремих будівельних виробів необхідно брати до уваги нормативні документи щодо:

- посудин, що знаходяться під тиском (труби, котли тощо);

- електричного обладнання для експлуатації у потенційно вибуховому середовищі;
- електричного обладнання для експлуатації у потенційно вибуховій атмосфері із застосуванням деяких типів захисту;
- електричного обладнання для експлуатації у потенційно вибухових середовищах у шахтах з наявністю рудникового газу;
- устаткування, що працює на газовому паливі.

Ризик нещасних випадків через рух транспортного засобу є результатом експлуатації будівельних об'єктів людьми, що керують транспортними засобами. **Ризик залежить** від стану поверхні для руху, характеристик транспортного засобу, навичок водія, ефективності знаків та маркування, придатності захисних огорож та іншого обладнання.

Транспортні засоби можуть:

- з'їхати до кювету через незахищені боки узбіччя дороги чи впасти з мосту та ін.;
- зіштовхнутися з дорожнім обладнанням, бар'єрами чи перешкодами поруч з дорогами;
- зіштовхнутися з засобами транспорту, що рухаються з іншого боку розподільної межі;
- перекинутися або втратити стійкість з ризиком поранення людей.

Робочі характеристики будівельних об'єктів включають обмеження слизькості поверхні для руху, забезпечення зручного розташування, видимості і чіткості знаків для дорожньої безпеки, маркувань та іншого дорожнього обладнання для різних умов, включаючи різноманітну погоду.

Для попередження ударів транспортних засобів безпеку має забезпечити дорожнє обладнання (пасивна безпека). Слизькість поверхні для руху залежить від використаних матеріалів і технології їх застосування (складові, процедури укладання, фарби, пластикові композиції, обв'язувальні смуги, головки дорожніх гвіздків) для розмічання доріг. Постійне дорожнє обладнання (стовпи, освітлювальні колони, щогли, стояки, стовпчики розмічування) має бути випробуване ударним навантаженням. Параметри для випробувань (маса транспортного засобу, швидкість руху, характеристика удару, пов'язана з точкою та кутом контакту, індексом значущості прискорення тощо) мають бути гармонізовані щодо визначення, способів вимірювання або обчислення.

Системи захисту, які зменшують ризик падіння з мосту чи схилу та ризик удару в перешкоду чи в інший транспортний засіб, включають:

- запобіжні огорожі та бар'єри зі сталі, бетону чи пластика;
- аварійні подушки безпеки; парапети.

Системи захисту повинні випробовуватись на дію ударних навантажень з урахуванням:

- маси транспортного засобу;
- швидкості руху (удару) транспортного засобу;
- кута між транспортним засобом та допоміжним пристроєм;
- динамічної деформації запобіжного пристрою;

- індексу безпечного прискорення ,межі поздовжнього сковзання і рикошету.

6.5 Організація обстежень будівель і конструкцій

Обстеження будівель та споруд проводиться з метою отримання об'єктивних даних про фактичний стан будівельних конструкцій з урахуванням зміни у часі. У процесі експлуатації під впливом агресивних факторів зовнішнього середовища, особливостей технологічних процесів відбувається зміна властивостей матеріалів і конструкцій, збільшується ризик порушення їх якості та нанесення шкоди навколишньому середовищу. Несвоєчасно виявлені і усунені дефекти елементів будівель нерідко переростають у серйозні порушення. Їх наслідки крім соціального й екологічного збитку можуть призвести до значних матеріальних витрат, пов'язаних з відновленням експлуатаційних властивостей конструкцій. Тому важливо правильно і своєчасно оцінити стан конструкцій та обладнання будівель, виконати прогноз про можливість розвитку дефектів і розробити заходи щодо їх стабілізації або усунення.

Для забезпечення безпечних умов експлуатації будівель і споруд першорядне значення набуває підтримання на належному рівні технічного стану будівель і споруд, у тому числі за рахунок продовження нормативних термінів експлуатації, відновлення та реконструкції.

Загальною метою обстежень технічного стану будівельних конструкцій є виявлення ступеня фізичного зносу, причин, які обумовлюють їх стан, фактичної працездатності конструкцій і розробка заходів щодо забезпечення їх експлуатаційних якостей.

Оцінка технічного стану – встановлення ступеня пошкодження і категорії технічного стану будівельних конструкцій або будинків і споруд в цілому на основі зіставлення фактичних значень кількісно оцінюваних ознак зі значеннями цих же ознак, встановлених проектом або нормативним документом. З якою метою проводиться:

- технічне обстеження будівель перед реконструкцією, капітальним ремонтом, купівлею, заставою;
- технічне обстеження і подальша фіксація технічного стану будівель, прилеглих до зони майбутньої забудови (реконструкції);
- експертиза несучої здатності – обстеження окремих конструкцій для визначення можливості їх подальшої експлуатації і несучої здатності.

Нормативний рівень технічного стану – категорія технічного стану, при якому кількісне та якісне значення параметрів всіх критеріїв оцінки технічного стану будівельних конструкцій будівель і споруд відповідають вимогам нормативних документів.

Справний стан – категорія технічного стану будівельної конструкції або будівлі і споруди в цілому, що характеризується відсутністю дефектів і

пошкоджень, що впливають на зниження несучої спроможності та експлуатаційної придатності.

Працездатний стан – категорія технічного стану, при якій деякі з чисельно оцінюваних контрольованих параметрів не відповідають вимогам проекту, норм і стандартів, але наявні порушення вимог, наприклад, по деформативності, а в залізобетоні і з тріщиностійкості, в даних конкретних умовах експлуатації не призводять до порушення працездатності, і несуча здатність конструкцій, з урахуванням впливу наявних дефектів і пошкоджень, забезпечується.

Обмежено працездатний стан – категорія технічного стану конструкцій, при якій є дефекти і пошкодження, що призвели до деякого зниження несучої здатності, але відсутня небезпека раптового руйнування і функціонування конструкції можливе при контролі її стану, тривалості та умов експлуатації.

Неприпустимий стан – категорія технічного стану будівельної конструкції або будівлі і споруди в цілому, що характеризується зниженням несучої здатності та експлуатаційних характеристик, при якому існує небезпека для перебування людей та збереження обладнання (необхідне проведення страхувальних заходів та посилення конструкцій).

Аварійний стан – категорія технічного стану будівельної конструкції або будівлі і споруди в цілому, що характеризується пошкодженнями і деформаціями, що свідчать про вичерпання несучої здатності і небезпеки обвалення (необхідне проведення термінових протиаварійних заходів).

Ступінь пошкодження – встановлена у відсотковому відношенні частка втрати проектної несучої здатності будівельної конструкцією.

Реконструкція будівлі – комплекс будівельних робіт та організаційно-технічних заходів, пов'язаних із зміною основних техніко-економічних показників (навантажень, планування приміщень, будівельного обсягу та загальної площі будівлі, інженерної оснащеності) з метою зміни умов експлуатації, максимального заповнення втрати від що відбувся фізичного та морального зносу, досягнення нових цілей експлуатації будівлі.

Модернізація будівлі – приватний випадок реконструкції, який передбачає зміну та оновлення об'ємно-планувального та архітектурного рішень існуючої будівлі старої споруди і його морально застарілого інженерного обладнання відповідно до вимог, що пред'являються діючими нормами до естетики умов проживання та експлуатаційним параметрам житлових будинків і виробничих будівель.

Діагностика – встановлення і вивчення ознак, що характеризують стан будівельних конструкцій будівель і споруд для визначення можливих відхилень та запобігання порушень нормального режиму їх експлуатації.

Обстеження – комплекс заходів з визначення та оцінки фактичних значень контрольованих параметрів, що характеризують експлуатаційний стан, придатність і працездатність об'єктів обстеження і визначають можливість їх подальшої експлуатації або необхідність відновлення і підсилення.

Дефект – окрема невідповідність конструкцій якому-небудь параметру, встановленому проектом або нормативними документами. Пошкодження - несправність, отримана конструкцією при виготовленні, транспортуванні, монтажі або експлуатації.

6.6 Порядок обстеження технічного стану і техніка безпеки

Технічна програма обстеження включає в себе наступні роботи:

- підбір та вивчення технічної документації з проєктування, будівництва та експлуатації ПБ і С, визначення на місці її відповідності технічним завданням на обстеження, об'єкту обстеження в цілому, а також результатами попередніх оглядів;

- узгодження технічної програми і термінів виконання робіт із замовником;

- ознайомлення з об'єктом обстеження, його попереднє візуальне огляд з метою перевірки достатності виконаних замовником підготовчих робіт та уточнення необхідності проведення додаткових робіт з підготовки робочих місць;

- визначення місць відбору проб матеріалів, необхідності проведення інструментальних вимірювань та обсягів робіт;

- натурне обстеження будівельних конструкцій – збір даних по навантаженнях, визначення прогинів і деформацій, вимірювання перерізів, виявлення ступеня зносу будівельних конструкцій шляхом виявлення в них дефектів і пошкоджень, фізичного зносу, визначення міцності бетонів і розчинів неруйнівними методами контролю, проведення розтинів намічених зон і ділянок , відбору проб і проведення лабораторних випробувань матеріалів;

- виявлення ступеня і причин фізичного зносу елементів конструкцій ПБ і С на підставі аналізу даних обстеження, що пред'являються замовником відомостей за умовами експлуатації ПБ і С і перевірочних розрахунків за видами конструкцій, складання відомості дефектів, розробка та добірка схем, ескізів і фотографій пошкоджених ділянок;

- розробка технічного звіту або укладення з висновками про стан та рекомендаціями щодо усунення дефектів і підвищення надійності обстежуваних ПБ і С, а також по можливості використання їх будівельних конструкцій для цілей реконструкції.

Об'єми робіт з обстеження ПБ і С залежать від стану будівельних конструкцій, їх загального обсягу та різновиди реконструкції і визначаються в кожному конкретному випадку технічним завданням на обстеження. Відповідальність за надання матеріалів з обмірюваннях ПБ і С несе замовник.

Визначення деформацій, прогинів, глибини, довжини і ширини розкриття тріщин в конструкціях, а в окремих випадках і контрольні вимірювання осідання. Роботи проводить основний виконавець.

Визначення міцності бетону в бетонних і залізобетонних конструкціях неруйнівними методами контролю, товщини захисного шару в них і стану арматури. Вимірювання виконує основний виконавець.

Якість застосованої арматурної сталі визначається (як і для сталевих конструкцій) виконавцем за її технічним характеристикам, представленим замовником (результати випробувань образів, паспорти, сертифікати та ін.).

Визначення вологості матеріалів і виробів. Роботу виконує замовник силами власного або залученого з енергосистеми персоналу (хімічних цехів, служб тощо) на зразках матеріалів (пробах), відібраних з конструкцій. Відбір проб проводиться замовником з місць і конструкцій, зазначених виконавцем. Аналогічно організуються роботи з визначення хімічних властивостей матеріалів (рН, хімічний склад і ін.) **Вимірювання температури і відносної вологості повітря, визначення наявності агресивних газів.** Характеристики узагальнюються виконавцем за наявними у замовника матеріалами досліджень.

Вимірювання температури і вологості елементів огорожувальних конструкцій, а також поверхонь несучих конструкцій і фундаментів, що піддаються при експлуатації систематичного або періодичному нагрівання (фундаменти турбоагрегатів, перекриття деаераторного і котельного відділень, димові труби тощо). Дані роботи виконуються за допомогою залученої субпідрядної організації – співвиконавця.

Узагальнення результатів вимірювань за наявними у замовника матеріалами і окремі контрольні вимірювання здійснюються основним виконавцем. **Визначення ступеня агресивності технологічних викидів – парів, газів, розчинів, мастил на будівельні конструкції.** Відбір проб з конструкцій і необхідні вимірювання (хімічний склад, рН та ін) здійснює замовник власними силами або із залученням при необхідності співвиконавця за окремим договором.

Інші виміри, зумовлені специфікою виробництва електричної та теплової енергії (визначення впливу вібрації на будівельні конструкції, виявлення блукаючих струмів, вимірювання теплових потоків і ін), проводяться виконавцем або співвиконавцем за окремим договором. При обстеженні експлуатаційної середовища рекомендується максимально використовувати всі наявні в розпорядженні замовника відомості за раніше проведених досліджень і перевірок.

Для ПБ і С є характерними наступні **види руйнувань матеріалів:**

- корозія бетону і сталі в будівельних конструкціях деаераторної і бункерних відділень з-за витоку води і водяної пари з технологічного обладнання, трубопроводів та їх арматури;
- корозія бетону і сталі в покриттях внаслідок загазованості та запиленості повітря з одночасним впливом вологи;
- руйнування покрівельних і стінових огорожень викидами конденсату;

- руйнування ущільнення стиків стінових панелей в головних корпусах і в приміщеннях через значних коливань температури і вологості повітря всередині приміщень;

- руйнування футерівки і несучого стовбура окремих конструкцій димових труб, особливо в результаті спалювання палива з підвищеним вмістом сірки, при температурі газів нижче точки роси, а також аналогічні руйнування стін газоходів;

- руйнування бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій у приміщеннях і спорудах із-за витоків і проток агресивних розчинів кислот, лугів і солей (в ємностях, каналах, складах реагентів і т.п.).

Замовник зобов'язаний надати на вимогу спеціалізованої організації виконавця робіт необхідні відомості по агресивності експлуатаційних середовищ. Відповідальний керівник організації, яка виконує обстеження ПБ і С, в залежності від поставлених завдань повинен оцінити повноту і достовірність пред'явлених йому відомостей з експлуатаційної середовищі та в разі необхідності вимагати проведення додаткових досліджень.

Облік впливу температури і відносної вологості зовнішнього повітря на ПБ і С виконується за даними місцевих метеостанцій. Виявлення закономірностей розподілу температур і вологості повітря за обсягом приміщення проводиться за допомогою засобів вимірювань. Поперечні перерізи будівель, в яких проводяться вимірювання, вибираються з урахуванням можливого впливу працюючого технологічного обладнання, систем вентиляції та аерації будівель.

Результати вимірювань зіставляються з нормативними значеннями температури і відносної вологості повітря в приміщенні. При цьому слід враховувати результати вимірювань, проведених раніше експлуатаційним персоналом.

Спеціалізована організація під час обстеження визначає обсяги і глибину ушкодження будівельних конструкцій ПБ і С з урахуванням виду агресивності середовища, намічає ділянки і контролює відбір проб матеріалів з конструкцій, виконує аналіз представлених замовником відомостей по середовищу і матеріалами, визначає достовірність і достатність цих відомостей, при необхідності виконує разом із замовником додаткові контрольні вимірювання і на підставі зіставлення результатів намічає заходи щодо підвищення надійності ПБ і С і оздоровлення експлуатаційної середовища.

Вимірювання загазованості та запиленості повітря в необхідних випадках слід проводити по можливості одночасно з вимірюваннями його температури і вологості. Відбір проб матеріалів, золи і пилу з димових труб, газоходів, бункерів та інших спецспоруд слід проводити при розтині їх внутрішньої поверхні в характерних точках (з різним температурно-вологісним режимом середовища, її тиском і т.п.). Кількість цих точок має бути зведено до мінімуму, але не менше трьох, і перед початком робіт погоджено із замовником.

Аналіз результатів обстеження та розробка рекомендацій. Всі матеріали обстеження ПБ і С відображаються в технічному звіті або висновку про стан будівельних конструкцій. До висновку додається відомість дефектів будівельних конструкцій.

Текстова частина технічного звіту (висновку) має містити такі відомості:

- перелік об'єктів обстеження, їх короткі технічні характеристики та опис застосованих у них будівельних конструкцій, підданих обстеженню, а також відомості про плановану реконструкції та її вплив на існуючу будівельну частину ПБ і С;

- результати обстеження будівельних конструкцій, включених до технічного завдання на обстеження, із зазначенням виявлених дефектів і пошкоджень, порушень норм і правил їх експлуатації та основних причин появи і розвитку дефектів і пошкоджень;

- оцінку технічного стану ПБ і С і будівельних конструкцій на період обстеження;

- рекомендації щодо усунення виявлених дефектів і пошкоджень, порушень норм і правил експлуатації, оздоровлення експлуатаційної середовища після реконструкції.

У додатках до технічного звіту (висновку) повинні міститися:

- копія технічного завдання на обстеження;

- відомість дефектів будівельних конструкцій, що містить деталі вузлів пошкоджених конструкцій у вигляді ескізів, креслень, схем, фотографій,

- результати лабораторних випробувань відібраних зразків матеріалів, проведених замовником, виконавцем і залученими організаціями, і при необхідності повірочних розрахунків окремих будівельних конструкцій;

- матеріали з контролю якості матеріалів і перевірки агресивності експлуатаційної середовища;

- перелік або при необхідності копії листів, службових записок, протоколів, актів і висновків.

Обстеження технічного стану будівельних конструкцій є самостійним напрямком будівельної діяльності, що охоплює комплекс питань, пов'язаних із забезпеченням експлуатаційної надійності будинків, з проведенням ремонтно-відновлювальних робіт, а також з розробкою проектною документації з реконструкції будівель та споруд. Обсяг проведених обстежень будівель і споруд збільшується з кожним роком, що є наслідком низки факторів: фізичного і морального їх зносу, переозброєння та реконструкції виробничих будівель промислових підприємств, реконструкції малоповерхової старої забудови, зміни форм власності і різкого підвищення цін на нерухомість, земельні ділянки та ін. Особливо важливе проведення обстежень при реконструкції старих будівель і споруд, що часто пов'язано зі зміною діючих навантажень, зміною конструктивних схем і необхідністю врахування сучасних норм проектувань будівель.

6.7 Класифікація способів посилення елементів будівель та споруд

В процесі експлуатації будівель і споруд будівельні конструкції пошкоджуються внаслідок корозії арматури і руйнування бетону, що приводить до зниження несучої здатності і як наслідок виникнення аварійної ситуації.

Основними традиційними способами посилення конструкцій є збільшення їхнього перерізу за рахунок приєднання до них нових елементів, введення затягувань і шпренгелів зі створенням попередньої напруги, устрій дублюючих елементів і розвантаження конструкцій. В умовах діючого виробництва дані способи посилення не завжди можна застосувати через велику вагу конструкцій посилення, трудомісткості монтажу. Для посилення й відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій використовується метод зовнішнього армування композитними матеріалами: вуглепластиковими стрічками й полотнами із застосуванням клеїв, ремонтних і захисних сумішей на основі епоксидних смол. **Перевагами композитних матеріалів є:** високі міцність і модуль деформації, мала вага, технологічність, несприйнятливості до агресивних зовнішніх факторів, здатність повторювати форми підсилюваних конструкцій, витривалість.

Загальна технологічна схема відновлення експлуатаційної придатності й посилення конструкцій:

- очищення конструкції від продуктів корозії й деструкції бетону.
- обробка арматури захисними сумішами, що перешкоджають корозії.
- відновлення перерізу ушкодженого залізобетонного елемента.
- наліпка вуглепластикових стрічок і полотен для відновлення несучої здатності.
- нанесення захисних сумішей по поверхні залізобетонних елементів.

Вразливі місця та дефекти конструкцій будівель. Надземні будівлі, на відміну від інших типів споруд – обсіпних, котловинних, підземних, характеризуються специфічними особливостями, що визначають їх експлуатаційні якості, а також специфікою догляду за ними, організацією оглядів і ремонту; ці особливості визначаються насамперед кліматичними умовами, призначенням будівель, матеріалами їх конструкцій, інженерного обладнання. Кліматичні умови району розміщення будівель накладають відбиток на їх експлуатацію відповідно до сезонів року, яка особливо складна і трудомістка взимку і до якої ведеться підготовка огорожувальних конструкцій, інженерного обладнання та систем в теплий період.

Найбільш характерними і важливими особливостями експлуатації будівель є:

- вибірковий ремонт конструкцій і інженерного обладнання, оскільки будівлі зведені з різних по довговічності і зносу матеріалів і конструкцій;
- доступ до конструкцій в надземних будівлях і зовні, і зсередини, що полегшує огляди, діагностику ушкоджень, визначення місць та обсягів ремонтних робіт;

- збереження проектних умов для підстав, захист їх від підтоплення, зволоження і промерзання, бо будівлі вельми чутливі до деформацій підстав, небезпечним для всієї надземної частини;

- відновлення герметичності стиків великопанельних будинків, схильних до температурних деформацій, і як наслідок – пошкодження стиків і порушення температурного режиму в будівлях;

- захист конструкцій від зволоження як першопричина їх промерзання і руйнування, так як стіни і покриття будівель чутливі до промерзання, особливо після їх зволоження;

- захист даху і покриття, покрівлі, оскільки вони виконують важливі для збереження експлуатаційних якостей будівель функції і знаходяться в особливо жорстких умовах, зазнаючи багатьох механічних, фізико-хімічних і температурних впливів, а також неприпустимим впливів при скиданні снігу і збиванні полою ломами і лопатами;

- збереження і відновлення герметичності огорожувальних конструкцій, сходових клітин, шахт ліфтів, входів, яка виключає надлишкову ексфільтрацію тепла з будівель підвищеної поверховості, схильних до тепловому і вітрового напору, а також збільшення тепловтрат;

- підтримання на належному рівні зовнішнього вигляду будівель (входів, всього фасаду, водовідводів, дахів), так як вони є об'єктами огляду багатьох людей, викликаючи у них певні емоції, які повинні бути позитивними.

Аналіз досвіду експлуатації будівель, побудованих в останні десятиліття, дозволив виявити характерні, найбільш вразливі місця і дефекти, з яких починається руйнування конструкцій (рис. 6.5). Експлуатаційний персонал повинен провести аналогічний аналіз обслуговуються будівель, виявити в кожному їхньому типі найбільш вразливі місця, за якими треба встановити ретельне спостереження, щоб запобігти руйнуванню; це перш за все сполучення конструкцій з різних матеріалів, місця пропуску труб та ін.

Руйнування навантажених конструкцій проходить три стадії:

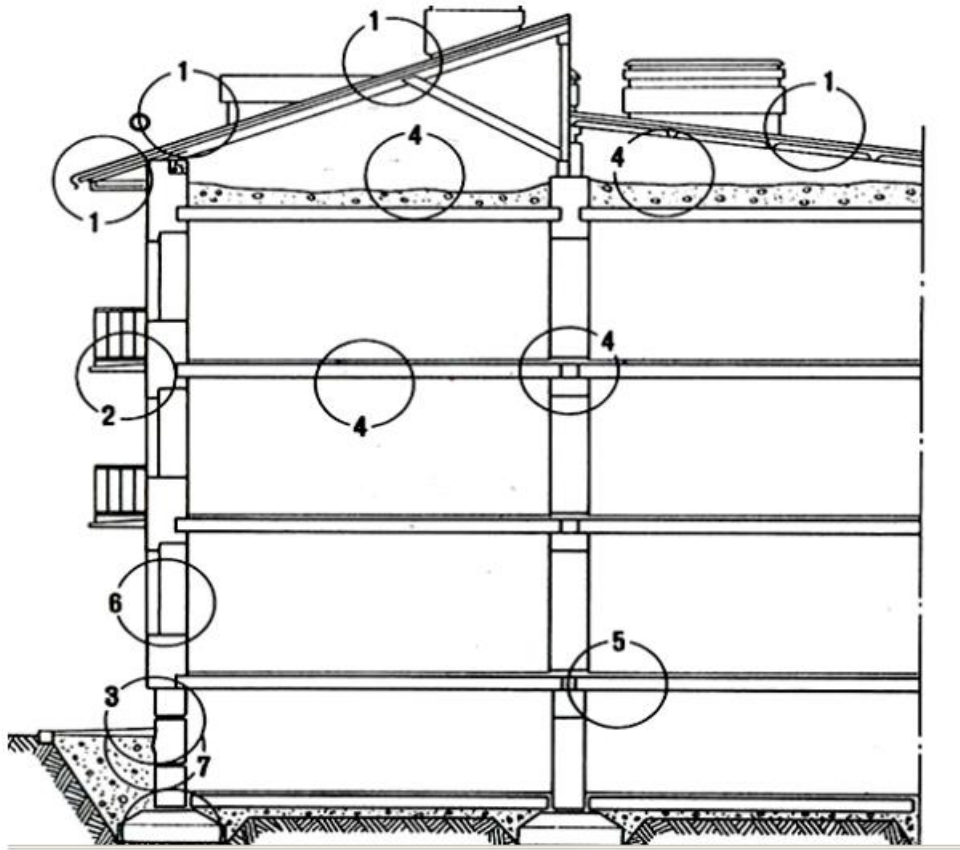
- стадію зародження тріщин в місцях великих концентрацій напруг і різноманітних дефектів;

- стадію повільного їх розвитку;

- стадію лавиноподібного руйнування при досягненні критичних напружень.

Тривалість кожної стадії залежить від ступеня навантаженості конструкцій, рівня концентрації напружень у порівнянні з номінальними, характеру дефектів, додаткових впливів агресивного середовища і т. п.

Джерелами руйнування конструкцій найчастіше є конструктивні і технологічні концентратори напружень, зокрема початкові тріщини, дефекти зварювання, місця різких змін перетинів, стики конструкцій і т. п. **У зварних конструкціях до найбільш слабких місць**, що призводять до відмов, відносяться зварні шви і зони термовпливу; **в збірних залізобетонних конструкціях** – стики як щодо водо- і газопроникності, так і руйнування (корозії) елементів зв'язку.



1 – на покрівлі; 2 – на балконі; 3 – на цоколі; 4 – в перекритті; 5 – на стіні

Рисунок 6.5 – Найхарактерніші вразливі місця з яких починається руйнування конструкцій

Початок руйнування обумовлюється несприятливим поєднанням руйнуючих факторів: висока вологість, низька температура, скупчення снігу, пилу, забруднення повітря пилом, наприклад вугільної, сполуками сірки та ін.

Багатовіковий досвід будівництва свідчить, що пошкодження і вихід будівель і споруд з ладу завжди були наслідком сукупного впливу багатьох чинників, у тому числі основними були недостатнє врахування роботи конструкцій і дефекти їх виготовлення. В даний час удосконалюються теорія і практика будівництва, підвищується надійність окремих елементів і споруд в цілому завдяки використанню нових будівельних матеріалів, конструкцій і типів будівель. Процентні співвідношення виходів з ладу (відмов) будівель і споруд, виходячи з однакового їх кількості, % [4-7]:

- **за призначенням споруд:** виробничі – 47; інженерні – 17; суспільні, побутові – 16; житлові – 14; сільськогосподарські – 6.

- **за видами конструкцій виробничих будівель:** балки, прогони – 29; перекриття – 24; колони – 21; перегородки – 12; ферми – 8; стіни – 6.

- **за матеріалами конструкцій виробничих будівель:** кам'яні – 32; металеві – 12,5; великопанельні, великоблочні – 6; збірні залізобетонні – 30; монолітні залізобетонні – 17,5; інші конструкції – 2.

Аналізуючи наведені процентні співвідношення ушкоджень (відмов), бачимо, що більше їх число в виробничих будівлях пояснюється великими прольотами конструкцій і навантаженнями на них, агресивним впливом середовищ в зонах концентрації напружень; в житлових – виходом з ладу стиків великих панелей, виконаних на нетривких містичних герметиках; в балкових конструкціях – як найбільш складно працюють на розтяг при згині; в кам'яних і бетонних – через низький їх якості, поганий захисту від руйнівного впливу.

Виникнення одних дефектів носить випадковий характер інших – обумовлено організаційними або технологічними причинами. Для запобігання дефектам необхідно виділити з них основні, роль яких у погіршенні технічних характеристик і експлуатаційних якостей будівель і споруд найбільш велика (70-80%). Виникнення таких дефектів зазвичай викликається однорідними причинами. Впливаючи на них, можна істотно підвищити якість будівництва споруд, спростити і здешевити їх експлуатацію.

Високоякісне, бездефектне будівництво, здійснення якого є найважливішим завданням, зумовлює раціональну експлуатацію будівель, мінімальні витрати сил і засобів на неї, і, навпаки, будівлі, побудовані з дефектами, дуже ускладнюють експлуатацію, віднімають сили і засоби на їх усунення, внаслідок чого не проводяться планові заходи, знижуються експлуатаційні якості будівель, їх довговічність. Для запобігання цьому необхідно підвищити вимоги при прийманні будівель в експлуатацію, що і передбачено керівними документами.

Розділ 7 ПРАКТИЧНІ ЗАВДАННЯ

7.1 Основи проєктування циклонів

Циклони пиловловлювачі застосовуються для очистки повітря, газів на підприємствах чорної й кольорової металургії, хімічної, нафтової й деревообробної промисловості, при виробництві будівельних матеріалів, в енергетиці й ін. [1-3].

При невеликих капітальних витратах і експлуатаційних витратах **циклони** забезпечують очистку газів ефективністю 80-95% від часток пилу розміром більш ніж 10 мкм.

Циклони пиловловлювачі є надійним обладнанням очистки, тому що в їхній конструкції немає складного механічного встаткування, а **сепарація** пилових часток здійснюється під впливом відцентрової сили.

Циклони рекомендують використовувати для попередньої очистки газів і встановлювати перед високоефективними **агрегатами пиловловлювання** (наприклад, **фільтрами й електрофільтрами**).

У ряді випадків ефективність, що досягається, циклонами виявляється достатньою для викиду газів або повітря в атмосферу.

Циклони виготовляють у кліматичних виконаннях: В1-4 і УХЛ4 за ГОСТ 15150-69.

Вибір циклону. Циклони підбирають залежно від:

- об'єму повітря, необхідного для аспірації,
- розміру часток продукту,
- необхідного ступеня очистки,
- умов вивантаження вловленого продукту.

Переваги циклонів:

- ефективна очистка повітря в приміщеннях;
- економія енергії на підігрів зовнішнього повітря;
- локалізація відходів у бункері-накопичувачі (пилу, стружки та ін.).

Конструкція циклону. Циклони пиловловлювачі складаються з корпусу, вихлопної труби й бункеру. Газ надходить у верхню частину корпусу через вхідний патрубок, приварений до корпусу тангенціально. Вловлювання пилу відбувається під дією відцентрової сили, що виникає при русі газу між корпусом і вихідною трубою. Вловлений пил зсипається в бункер, а очищений газ викидається через вихлопну трубу.

Циклони ЛЮТ. Циклон ЛЮТ застосовується для грубої й середньої очистки повітря від сухого не волокнистого пилу, що не злипається .

Очистка повітря від пилу здійснюється під дією відцентрових сил. Циклони можуть виготовлятися як правого, так і лівого виконання. У циклонів правого виконання рух повітря при погляді на циклон зверху здійснюється за годинниковою стрілкою, у циклонів лівого виконання – проти годинникової стрілки.

Циклони можуть установлюватися як на всмоктуванні, так і на нагнітанні. При установці на всмоктуванні з'єднання циклону з вентилятором здійснюється через раглик.

Циклон СДК-ЦН-33. Конічні циклони СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М призначені для очистки сажегазових і сажеповітряних сумішей від твердих часток у системах пневмотранспорту, аспірації й пневмоприбирання сажевого (технічного вуглецю) виробництва.

При однаковій продуктивності із циліндричними циклонами відрізняються від останніх більшими габаритними розмірами й тому зазвичай не застосовуються в груповому виконанні.

Конічні циклони характеризуються більш подовженою конічною частиною й спіральним входним патрубком.

Циклони СК-ЦН-34М застосовують для вловлювання пилу, що має високу абразивність часток або їх високе злипання. Однак втрати тиску в цих циклонах приблизно в 2 рази більші ніж у циклонах СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34.

Конічні циклони забезпечують найбільшу ефективність пиловловлення.

Циклони виготовляють як для «правого», так і для «лівого» обертання газового потоку.

«Правим» прийнято називати обертання газового потоку в циклоні по годинниковій стрілці, якщо дивитися з боку вихлопної труби, «лівим» - обертання проти годинникової стрілки.

Циклон СІОТ. Сухий циклон СІОТ призначено для грубої й середньої очистки повітря й газу від пилу, що не злипається і не є волокнистим.

Конструкція циклону СІОТ характеризується відсутністю циліндричної частини корпусу й трикутною формою входного патрубку. Цей циклон по ефективності не уступає циклону ЦН-15.

Циклони СІОТ установлюють як на всмоктувальній, так і на нагнітальній стороні вентилятору.

При очистці повітря від абразивного пилу нижню частину циклону необхідно бронювати корунд-цементом.

Конструкціями передбачено кілька типів виходу повітря із циклону:

- розкручувач із гвинтовою кришкою;
- розкручувач – плоский щит;
- шахта з ковпаком.

Розкручувач із гвинтовою кришкою застосовується в тих випадках, коли очищене повітря необхідно подати в певну зону або коли циклон розташований перед вентилятором.

Циклони ЦН-15. Циклони типу ЦН-15 є найбільш універсальним типом циклонів. Вони призначені для сухої очистки газів, що виділяються при деяких технологічних процесах (сушінні, випалі, агломерації, спалюванні палива і т.д.), а також аспіраційного повітря в різних галузях промисловості (чорної й кольорової металургії, хімічної, нафтової й машинобудівної промисловості, промисловості будівельних матеріалів, енергетиці і т.д.)

Застосування циклонів ЦН-15 у даному конструктивному виконанні неприпустимо в умовах токсичних і вибухонебезпечних середовищ; їх не можна використовувати для вловлювання пилу, що сильно злипає.

Циклони ЦН-15 можуть виготовлятися у вибухобезпечнім виконанні (конструктивно передбачені вибухові клапана, і бункер має мінімальні розміри щоб уникнути нагромадження вибухонебезпечного пилу).

Для збільшення служби циклонів припустимо в місцях найбільшого зношування (у нижній частині конусу, у вхідній частині равлика) приварювати додаткові листи із зовнішньої сторони стінок циклонів. Циклони діаметром менш 800 мм не рекомендується застосовувати для вловлювання абразивного пилу через підвищене зношування.

Залежно від пропускну здатності по повітрю (газу) і умов застосування циклони ЦН-15 виготовляють одиночного або групового виконання – із двох, трьох, чотирьох, шести й восьми циклонів. Групові циклони можуть бути з камерою очищеного повітря у вигляді «равлика» або у вигляді збірника, а одиночні – тільки з равликом.

Умовна позначка типорозміру одиночного групового циклону:

Наприклад: ЦН-15Л-600х2УП.

ЦН – циклон НДІОгазу; **15** – кут нахилу вхідного патрубку щодо горизонталі (град.);

П, Л – «Праве» («Ліве») обертання газу;

число після тире (600) – внутрішній діаметр циліндричної частини циклону (мм);

наступна цифра (2) – кількість циклонів у групі;

У – з камерою очистки газу в вигляді «равлика»;

З – з камерою очищеного повітря в вигляді збірника;

П – пірамідальна форма бункера.

Матеріал для виготовлення циклонів – вуглецева сталь при температурі навколишнього середовища до 40 °С. При температурі нижче – 40°С застосовують низьколеговані сталі.

Припустима запиленість газу, г/м³:

- для пилу, що мало злипається – не більш 1000;

- для пилу, що середнє злипається – 250;

Температура газу, що очищається, °С – не більш 400;

Максимальний тиск (розрідження), кгс/м² (кПа) – 500 (5);

Коефіцієнт гідравлічного опору:

- для одиночних циклонів – 147;

- для групових циклонів:

з «равликом» – 175;

зі збірником – 182;

Оптимальна швидкість, м/с:

- у звичайних умовах $V_{ц}$ ($V_{вх}$) – 3,5 (16,0);

- при роботі з абразивним пилом $V_{ц}$ ($V_{вх}$) – 2,5 (11,4);

Циклони ЦН-24. Призначені для відділення від газоподібного середовища зважених часток сухого пилу, що утворюється в різних помольних і дробильних установках, при транспортуванні сипких матеріалів, а також летучої золи.

Для волокнистого пилу та пилу, який злипається, для очистки газоподібного середовища, у якому є краплинної фази або можлива конденсація парів, дані циклони застосовувати не слід.

Нахил вхідного патрубку 24° . Циклони ЦН-24 можливо застосовувати тільки при зниженій вимозі до очистки, наприклад, коли він використовується як попередня ступінь очистки.

Циклон ЦП-2. Циклони ЦП-2 призначені для вловлювання пилу після систем сушіння або розмелювання палива парогенераторів, що спалюють тверде паливо в пилоподібному стані. Також можуть бути використані для вловлювання пилу як циклони загальнопромислового типу.

Застосовуються на підприємствах чорної й кольорової металургії, хімічної, нафтової промисловості, промисловості будівельних матеріалів, у машинобудуванні й енергетиці.

Циклони застосовуються для роботи в районах з холодним, помірним і тропічним кліматом відповідно до ГОСТ 15150-69.

Виконання камери очищеного газу – труба із заглушкою зверху й бічним центральним урізанням для виходу очищеного газу. На заглушці встановлені запобіжні клапани.

Бункери для циклонів виготовляються мінімальних розмірів для виключення нагромадження вибухонебезпечного пилу.

Концентрація пилу в очищеному газі – $15,00 \text{ г/м}^3$;

Температура газу, що очищається, – не більш $400 \text{ }^\circ\text{C}$;

Тиск (розрядження) – $4,0 \text{ кПа}$;

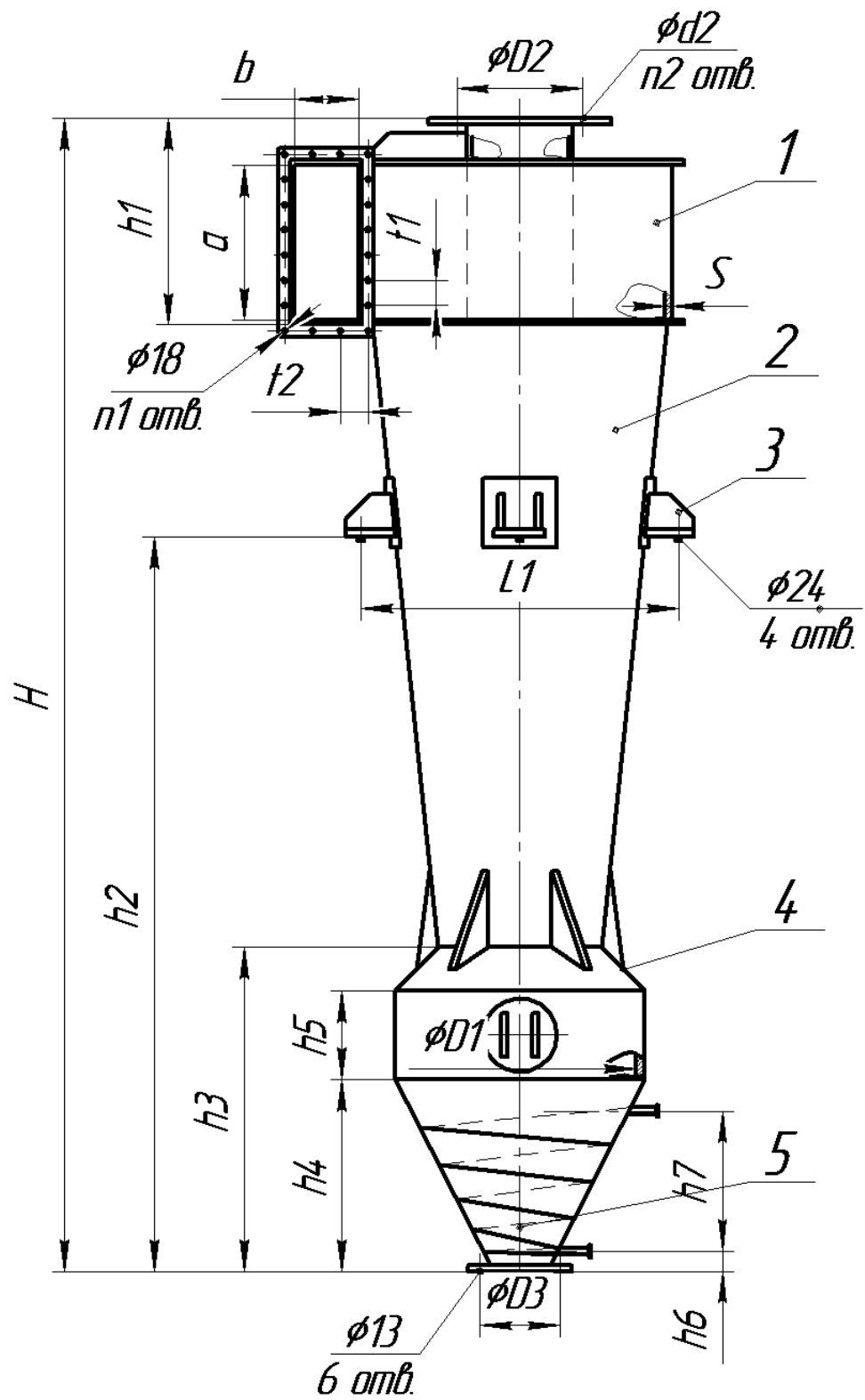
Циклони ЦП-2 виготовляються як правого, так і лівого виконання.

Завдання 1

Накреслити циклон типу СК-ЦН-34. Вихідні дані наведені на рис. 7.1 та в табл. 7.1, табл. 7.2.

Завдання 2

Накреслити циклон типу ЦП-2. Вихідні дані наведені на рис. 7.2 та в табл. 7.3.



1 – равлик; 2 – конус; 3 – опорні лапи; 4 – бункер; 5 – підігрівач
 Рисунок 7.1 – Циклони СК-ЦН-34

Таблиця 7.1 – Основні габаритні й приєднувальні розміри циклонів СК-ЦН-34

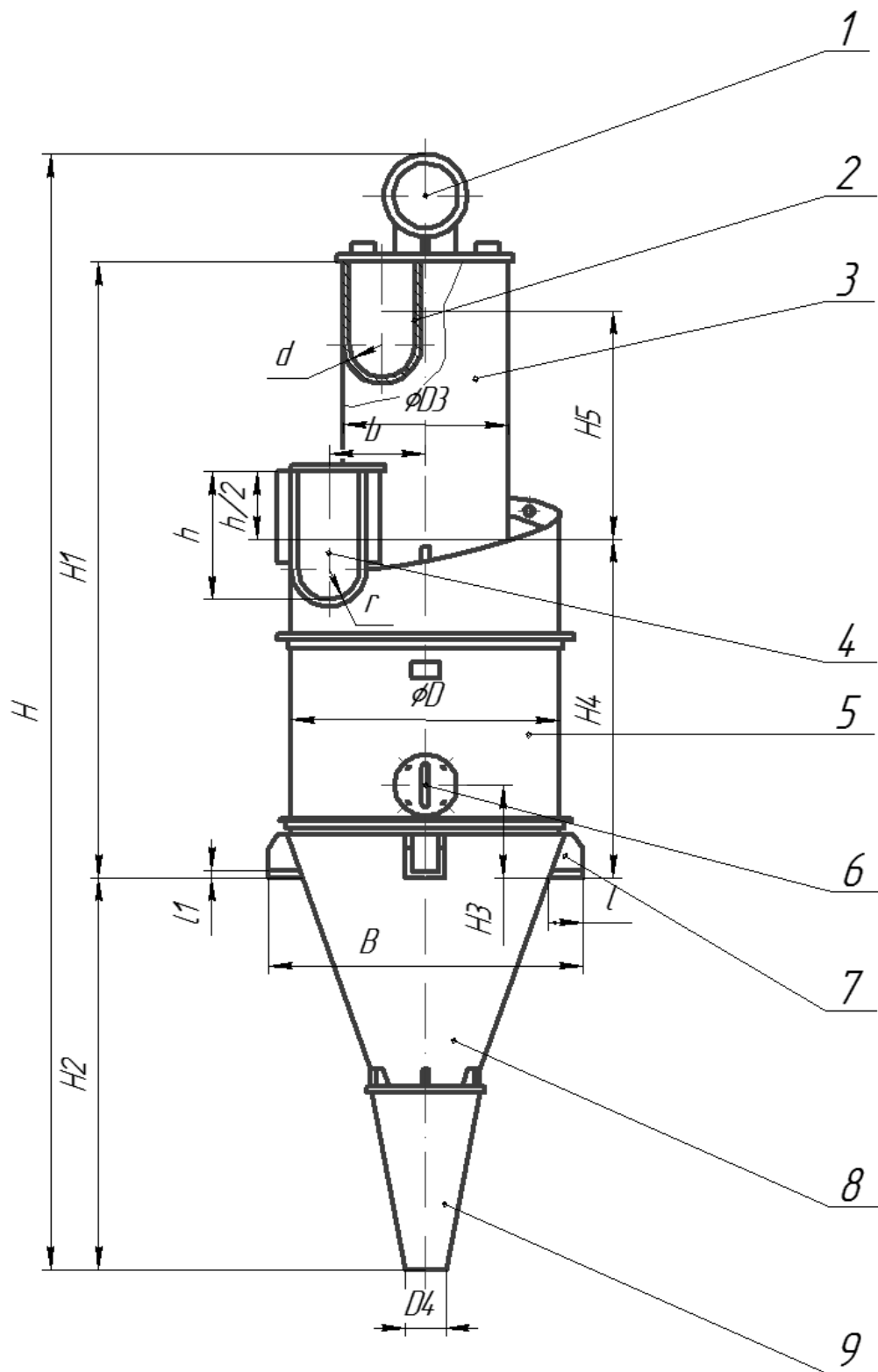
Діаметр циклону, мм	Габаритні розміри, мм														
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	L	L ₁	B	H	H ₁	axb	b ₂	b ₃	d _b	d ₂	d ₃
600	600	280	315	280	740	790	800	2405	1580	304x130	12	370	205	18	12
700		305		305	858	830	920	2625	1810	354x150		430	240		
800		335			978	905	1040	2955	2140	409x170		490	270		
900	800	395	395	395	1106	1055	1170	3590	2365	457x195	16	550	305	22	24
1000		445			1220	1120	1290	3915	2690	507x215		610	340		
1200		495			1463	1255	1530	4570	3345	612x255		730	410		
1400	1200	550	465	445	1712	1530	1785	5705	3880	710x300	20	855	475	26	35
1600		600			1952	1675	2025	6215	4405	815x340		975	545		
1800		705			2193	1825	2265	6730	4930	915x385		1100	610		
2000	1400	810	550	2440	2060	2515	7610	5460	1018x430	1220	680				

D₁ – діаметр циліндричної частини бункеру; D₂ – діаметр вихідного патрубку; D₃ – діаметр вихідного патрубку бункера; D₄ – діаметр циліндричної частини циклону; L – довжина равлика циклону; L₁ – відстань між опорними лапами; H – повна висота циклону; H₁ – висота циклону без бункеру; axb – площа вхідного патрубку; b₂ – товщина фланця; d_b – внутрішній розмір вихідного патрубку; d₂ – діаметр отворів на фланці вихідного патрубку; d₃ – діаметр отворів на опорних лапах.

Таблиця 7.2 – Основні габаритні й приєднувальні розміри циклонів СК-ЦН-34

Діаметр циклона, мм	Габаритні розміри, мм																	
	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	h ₇	h ₈	n ₁	n ₁ i n ₂	n ₃	n ₄	n ₅	S	t ₁	t ₂	l ₁	l ₂
600	510	1630	840	490	250	80	375	805	12	8	4	2	8	3	95	95	280	450
700	560	1650						835	14		4	3			105	70		
800	615	1835						1020	16		5	3			95	80		
900	665	2360	1260	760	350		635	1135	16	12	5	3	12	4	105	85	350	750
1000	715	2545						1320	18		6	3			95	95		
1200	820	2910						1685	20		7	3			100	110		
1400	920	3800	1860	1110	500	120	915	1975	24	20	8	4	16	5	100	95	350	750
1600	1025	4065	1850					2255	28		10	4			90	105		
1800	1125	4340	1835					2540	32		11	5			90	90		
2000	1230	4975	2190	1370	550		1200	2825	36	24	13	5	6	85	100	850		

h₁ – відстань від фланцю вихідного патрубку до кінця вхідного патрубку циклона; h₂ – висота нижньої частини циклона до опорних лап; h₃ – висота бункера; h₄ – висота конічної частини бункера; h₅ – циліндрична частина бункера; h₆ – відстань від фланця вихідного отвору бункера до осі патрубку виходу конденсату; h₇ – відстань між патрубками входу пара та виходу конденсату; n₁ – кількість отворів на фланці вхідного патрубку; n₂ – кількість отворів на фланці вихідного патрубку циклона; n₃, n₄ – кількість отворів на вертикальній та горизонтальній частинах фланця вхідного патрубку циклона; S – товщина стінки циклона; t₁, t₂ – відстань між отворами на вертикальній та горизонтальній частинах фланця вхідного патрубку; l₁, l₂ – відстань від фланця патрубку входу пари та патрубку виходу конденсату до осі циклона.



1 – запобіжний клапан; 2 – патрубок виходу очищеного газу; 3 – вихлопна труба; 4 – патрубок входу запиленого газу; 5 – циліндрична частина корпусу; 6 – люк; 7 – опорні лапи; 8 – конічна частина корпусу; 9 – бункер

Рисунок 7.2 – Циклон ЦП-2

Таблиця 7.3 – Основні габаритні й приєднувальні розміри циклонів ЦП-2

Типорозмір циклона, мм	Габаритні розміри, мм															
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	B	H	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	L	L ₁	b	h	l ₁
ЦП-2-1400	1240	-	910	202	1610	6129	-	1892	870	2172	1041	700	615	525	812	12
ЦП-2-1600	1395	-	1040	230	1810	6980	-	2206	870	2414	1184	800	680	600	928	12
ЦП-2-1800	1550	-	1170	259	2012	7903	-	2520	1276	2723	1322	900	745	675	1044	12
ЦП-2-2000	1705	-	1324	288	2212	8981	5202	2834	1000	2830	1872	1000	800	750	1160	12
ЦП-2-2360	2040	-	1559	340	2572	10486	6040	3401	1000	3260	2190	1180	945	885	1369	12
ЦП-2-2500	2155	-	1649	360	2710	11215	6451	3619	1000	3434	2392	1250	1000	937	1450	16
ЦП-2-2800	2435	925	1844	404	3016	12092	7146	4091	1000	3794	2652	1400	1120	1050	1624	16
ЦП-2-3000	2540	990	1974	432	3216	12955	7606	4404	1500	4184	2672	1500	1200	1125	1740	16
ЦП-2-3750	3220	1235	2468	540	4074	16075	9417	5513	1500	5158	3324	1870	1500	1406	2175	20
ЦП-2-4250	3635	1400	2798	612	4576	18095	10552	6298	1500	5754	3738	2120	1700	1593	2465	20

D₁ – діаметр патрубку виходу газу до середини фланця; D₃ – діаметр патрубку виходу газу; D₄ – діаметр нижньої частини бункера; B – відстань між осями циклону і патрубку входу газу; H – висота циклону з бункером; H₁ – висота циклону без бункера; H₂ – висота бункера циклона до опорних лап; H₃ – відстань між центром люка до кінця лап; H₄ – відстань від центру вхідного патрубку до кінця лап; H₅ – висота від патрубку виходу газу до вхідного патрубку; L, L₁ – діаметр равлика; h – висота патрубку входу газу; l₁ – товщина лапи.

7.2 Розрахунок аеродинаміки газового тракту

Вентиляційна система призначена для аерації адміністративних, виробничих чи громадських будинків і може бути як припливною, так і витяжною. Принципової різниці в їх розрахунку нема [8-9].

Вентиляційна система складається із повітроводів з відповідною арматурою та обладнанням. У свою чергу, мережа повітроводів розподіляється на магістральний повітровід і відгалуження, через які повітря подається або відсмоктується за ходом магістрального повітроводу. Відгалуження можуть знаходитися на рівній відстані одне від одного або на різній – в залежності від конкретних умов. Їх довжину приймають, переважно, однаковою.

Так само вони можуть бути односторонніми або двосторонніми, тобто розташовуватися з однієї сторони магістрального повітроводу, або з обох. В останньому випадку відгалуження можуть розташовуватись як симетрично, так і несиметрично. При односторонніх і несиметричних відгалуженнях вони з'єднуються з магістральним повітроводом за допомогою трійників, при симетричних – за допомогою перехрестя.

Для зниження опору як трійників, так і перехресть сталевих повітроводів відгалуження роблять звичайно під кутом 30° за рухом повітря, хоч кути можуть бути більшими, аж до 90° .

Відгалуження припливної вентиляції закінчується насадками, а **витяжної** – колекторами. Обидва види вентиляції повинні бути обладнанні припливними або витяжними шахтами.

Для регулювання в процесі експлуатації вентиляційних систем на відгалуженнях встановлюють засувки або дросель – клапани. Крім того, припливна вентиляція обладнується калорифером з метою підігріву повітря в зимовий період.

Щоб забезпечити очистку повітря в обох видах вентиляції встановлюють очисні апарати.

Транспортування повітря в вентиляційних системах здійснюється за допомогою вентиляторів. Для зменшення габариту вентилятора припускають відносно велику швидкість повітря як в усмоктувальному, так і нагнітальному його отворах; для зменшення ж гідравлічних втрат у повітроводах, приймають у них значно меншу швидкість. Тому перед усмоктувальним отвором вентилятора встановлюють конфузор, а за нагнітальним його отвором – дифузор. Як конфузор, так само і дифузор є перехідними елементами, що з'єднують менші перерізи вхідного та вихідного отворів вентилятора з більшими перерізами усмоктувального та нагнітального повітроводів відповідно.

У дифузорі зменшення динамічного тиску переходить у підвищення статичного. Це підвищення є корисним, тому що йде на подолання опору повітроводу. З цього приводу дифузор повинен становити невід'ємну частину повітроводу.

У вентиляційних повітроводах найбільша частка втрат тиску припадає на місцеві опори. Тому при проектуванні мереж ці втрати слід враховувати особливо ретельно.

Розрахунок вентиляційної системи передбачає розрахунок мережі повітроводів і добір відповідного тягодуттєвого агрегату. В свою чергу розрахунок мережі повітроводів зводиться до визначення втрат тиску в них при даній витраті повітря.

Визначення діаметрів повітроводів на магістральному напрямку не становить труднощів, тому що швидкість повітря в них може бути як розрахунковою, так і заданою довільно. В обох випадках переріз повітроводу визначається простим діленням секундної витрати на швидкість.

При визначенні діаметрів відгалужень швидкість і тиск повинні бути розрахованими або підібрані так, щоб починаючи від розгалуження, втрати тиску як у магістральному напрямку, так і у відгалуженнях були однаковими.

Зрівнювати втрати тиску можна як зміною швидкості /діаметра/, так і веденням додаткових опорів у вигляді діафрагм, шайб, засувок та дросель – клапанів.

Розрахунок мережі починають з розрахунку опору найбільш віддаленого від вентилятора відгалуження за заданими даними.

Якщо крайнє відгалуження одне, то ділянка магістрального повітроводу до наступного відгалуження буде мати той самий діаметр, рахується продовженням відгалуження та розраховується як одне ціле. Якщо відгалужень два, розташованих симетрично з однаковими параметрами, то друге відгалуження розраховувати немає потреби. В разі відмінних параметрів – розраховуються обидва відгалуження і при незбігу опорів вони зрівнюються.

Після цього розраховують діаметр та опори решти ділянок магістрального повітроводу, виходячи з заданої або розрахованої швидкості повітря у них та його витрат.

Відтак підсумовують опір ділянки магістрального повітроводу між крайнім відгалуженням і наступним і опір крайнього відгалуження. Цьому сумарному опору повинна відповідати втрата тиску в наступному відгалуженні.

Аналогічним способом здійснюють розрахунок решти відгалужень.

Для одержання повного опору вентиляційної мережі до опору повітроводів додають опір очисного апарата й за загальним опором і витратою повітря підбирають відповідний вентилятор.

Алгоритм розрахунку

1. За вихідними даними завдання розраховують витрату повітря при заданій температурі за формулою:

$$Q_t = Q_0 \frac{\rho_0}{\rho_t}, \text{ м}^3/\text{год}$$

Враховуючи невисокі значення тиску та розрідження в повітроводі, густину повітря в них можна розраховувати, приймаючи до уваги лише його температуру:

$$\rho_t = \rho_0 \frac{273}{273+t}, \text{ кг/м}^3$$

де ρ_0 – густина повітря за нормальних умов /н. у./, кг/м³;
 t – температура повітря, °С.

2. Припускаючи однакову витрату повітря в усіх відгалуженнях (якщо не задано інше) визначають її величину.

3. Накреслюють у аксонометричній проекції робочу схему вентиляційної системи, на якій наносять порядковий номер ділянки, її довжину та кількість повітря q , що проходить крізь неї. Для зручності номери ділянок магістрального повітроводу можна позначити римськими цифрами, а відгалуження – арабськими. За ходом розрахунків на ділянки наносять значення їх діаметрів, довжин і витрат повітря.

Паралельно магістральному повітроводу на одній з його ділянок розміщують стрілку, що показує напрямок руху повітря.

4. Сумарні втрати тиску в повітроводах визначаються за загальною формулою:

$$\Delta P = \Delta P_l + \Delta P_m, \text{ Па},$$

де ΔP_l – втрата тиску на тертя, Па;

ΔP_m – сумарні втрати тиску на місцевих опорах, Па.

5. Втрати тиску на тертя в круглих повітроводах визначаються за формулою:

$$\Delta P_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{W^2}{2} \rho_t, \text{ Па}$$

або

$$\Delta P_l = \lambda \frac{l}{d} P_g, \text{ Па}, \quad P_g = \frac{W^2}{2} \rho_t, \text{ Па}$$

де λ – коефіцієнт опору тертю;

l – довжина повітроводу, м;

d – діаметр повітроводу, м;

W – середня швидкість повітря в повітроводі, м/с;

ρ_t – густина повітря в умовах газоходу, кг/м³

P_g – швидкісний тиск, Па

Для гідравлічношершавих труб коефіцієнт λ можна розрахувати за формулою:

$$\lambda = \frac{1}{(1,14 + 2 \lg(d/k))^2},$$

де k – абсолютна шершавість внутрішніх стінок труб /для прооліфленої сталі $k = /20 \dots 40/$ мкм, для непрооліфленої - $k = /50 \dots 80/$ мкм/.

При розрахунку вентиляційної мережі звичайно користуються зміненою формулою втрат тиску вздовж трубопроводу:

$$\Delta P_l = Rl$$

де $R = \frac{\lambda}{d} \cdot P_g$ - втрати тиску на тертя на 1 пог. м повітровою, Па/м.

6.Втрати тиску на місцевих опорах розраховують за формулою:

$$\Delta P_M = \sum \xi P_g, \text{ Па.}$$

де $\sum \xi$ – сума коефіцієнтів окремих опорів.

Коефіцієнти найбільш поширених місцевих опорів наведені в Додатку А.

Коефіцієнти опорів трійників /перехрестів/ належить розраховувати як для ділянок магістрального трубопроводу, так і для відгалужень. Усі розрахунки записують повністю.

7.Орієнтовні швидкості повітря в каналах та повітровою при механічній спонуці наведені в табл. 7.4.

Таблиця 7.4. – Орієнтовні швидкості повітря, м/с.

Назва повітровою	Адміністративні будинки	Промислові будинки
Магістральні збірні канали та повітровою	5...8	5...12
Відгалуження	1...5	2...8
Витяжні та припливні шахти	4	4...6

Найменша швидкість у магістральному повітровою повинна бути в кінцевих ділянках; з наближенням до вентилятора швидкість повинна поступово зростати, приймаючи максимальне – у даному випадку – значення на ділянці, що примикає до вентилятора.

8.За розрахованою витратою повітря, q , та за заданою швидкістю в крайньому відгалуженні визначають його діаметр. За розрахунковим значенням діаметра вибирають найближчий стандартний, d ст. (дод. Б) і відносно нього перераховують швидкість.

Якщо знайдена швидкість більша, або менша заданої чи вибраної, визначають величину відхилення, δ , за виразом:

$$\delta = \left(\frac{a}{b} - 1 \right) 100, \%$$

де a – розраховане значення
 b – задане або вибране значення.

У разі від'ємного знака при відхиленні, він не береться до уваги, оскільки засвідчує лише відхилення в меншу сторону.

При відхиленні більше ніж 6 % виконують додаткові розрахунки.
 А саме:

- при перевищенні розрахованої швидкості над заданою або прийнятою, слід збільшити діаметр повітроводу на одну позицію і знову розрахувати відхилення.

- у випадку, коли розраховане значення швидкості менше заданої або прийнятої, діаметр повітроводу зменшують на одну позицію та перераховують відхилення.

В обох випадках для подальших розрахунків вибирають варіант з меншим відхиленням.

Такі розрахунки обґрунтовують правильність вибору діаметрів повітроводів і швидкостей у них.

За цими оптимальними значеннями діаметра повітроводу та швидкості повітря у ньому визначають швидкісний тиск, P_g та питомі втрати тиску на тертя, R .

Всі розрахунки наводять повністю.

Аналогічно ведуть визначення параметрів всіх ділянок повітроводу.

Одержані результати записують у відповідні графи табл.7.5 і 7.6.

Таблиця 7.5 – Результати розрахунків

№ ділянки	Q м ³ /г	q м ³ /с	l, м	d, м	W, м/с	$P_g = \frac{W^2}{2} \rho t$ Па	R Па/м	$\Delta P_l = Rl$ Па	$\Sigma \xi$	$\Delta P_{\text{м.}}$ Па	ΔP Па
1 (I+1)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Перемножуючи відповідні величини одержують значення $\Delta P_l = Rl$ та заносять у графу 9.

Відтак, для крайньої ділянки /а в подальшому за ходом розрахунку й для решти ділянок/ перелічують усі місцеві опори та за дод. А визначають для них відповідні коефіцієнти. Їх суму записують у графу 10 табл. 7.5 для кожної ділянки відповідно.

Перемножуючи одержані значення з графи 10 на швидкісний тиск P_g (графа 7) одержують величину втрат на місцевих опорах, ΔP_M , яку заносять у графу 11.

Підсумовуючи значення граф 9 та 11 одержують величину повних втрат у крайньому відгалуженні (графа 12).

9. Виходячи із заданих величин мінімальної та максимальної швидкостей у магістральному повітроводі, розраховують її підвищення в кожній окремій ділянці. Потім, починаючи з ділянки магістрального повітроводу, що примикає до крайнього відгалуження, за швидкістю у ньому розраховують діаметр, швидкісний тиск та опір ділянки.

Усі величини записують у відповідні графи табл. 7.6.

10. У відповідності з принципом розрахунку /про що говорилось раніш/ опір чергового відгалуження повинен дорівнювати сумі опорів попереднього відгалуження та ділянки магістрального повітроводу поміж цими відгалуженнями.

Якщо втрата тиску до відгалуження більше опору у відгалуженні на величину до 10%, результат визначають задовільним. Коли ж різниця опорів перевищує 10%, або опір у відгалуженні більше опору до нього, необхідно підібрати інший опір відгалуження, тобто відхилення опорів Δ повинно лежати у межах $1 \leq \Delta \leq 1,1$.

11. Підбір опорів відгалужень.

Переважно тиск у відгалуженні приводять у відповідність з тиском у магістральному повітроводі в точці їх зустрічі, а не – навпаки.

Якщо розрахунковий опір відгалуження не відповідає потрібному, то узгодження досягаємо зміною місцевих опорів. Єдиний місцевий опір, величину якого можна змінювати в даному випадку є дросель-клапан або засувка. Тому із загального значення суми коефіцієнтів $\sum \xi$ даного відгалуження віднімаємо попереднє значення коефіцієнта опору ξ конкретного регулюючого пристрою. Отриману величину в свою чергу віднімаємо від потрібної суми коефіцієнтів місцевих опорів даного відгалуження, що дасть значення потрібного коефіцієнта опору $\xi^{потр}$ регулюючого пристрою.

При цьому приймати величину кута нахилу стулок α , або відношення h/d у засувках слід тільки у межах половини поділу шкали: $\alpha = 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, \dots$; $h/d = 0,5; 0,55; 0,6; 0,65; \dots$ і т. д.

За новим (фактичним) значенням коефіцієнта опору регулюючого пристрою знаходимо значення суми коефіцієнтів усього відгалуження, а відтак - величину місцевого опору $\Delta P_M^{факт}$, і - відгалуження в цілому $\Delta P^{факт}$.

12. Аналогічно розраховують решту відгалужень.

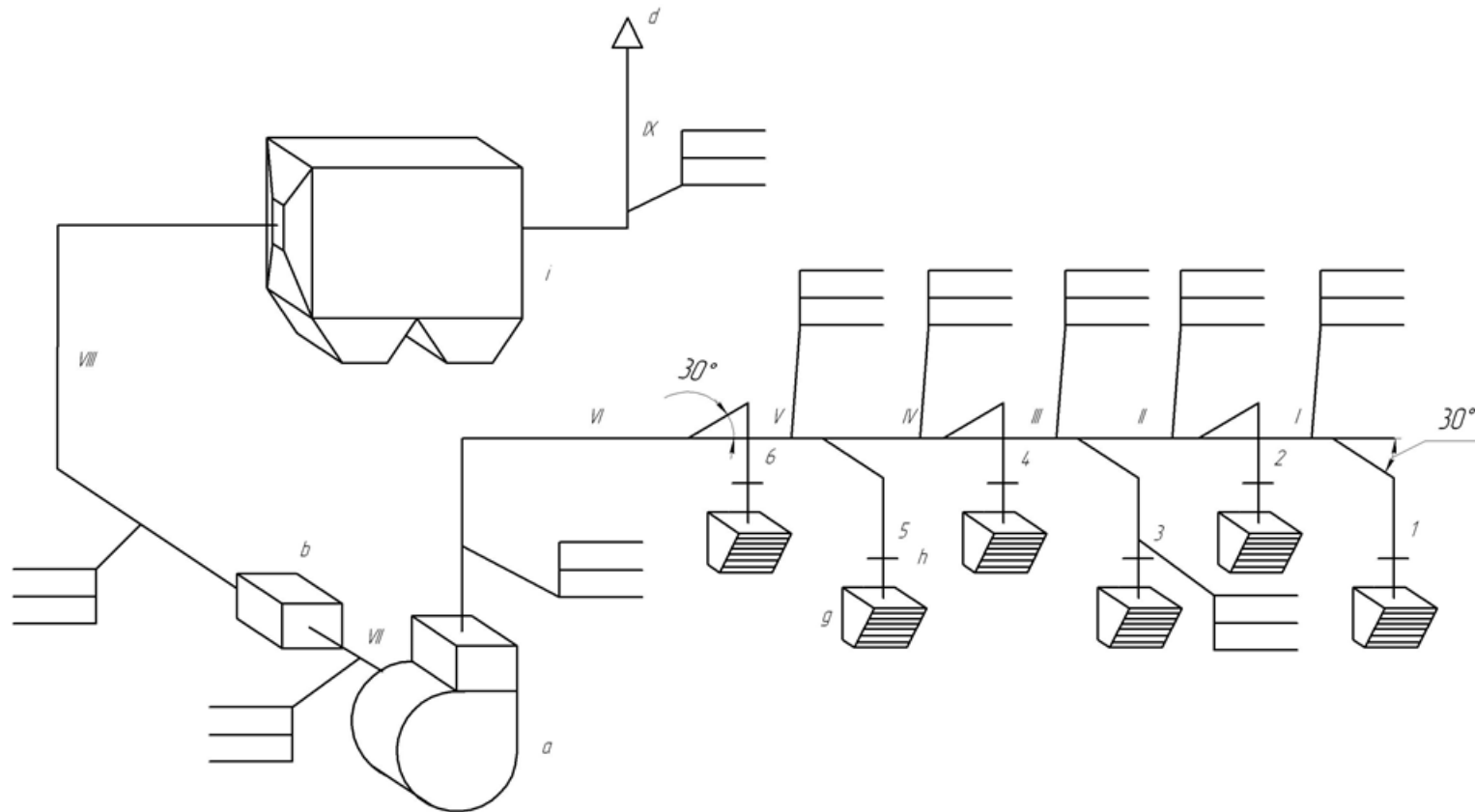
13. Щоб отримати повний опір, треба до опору повітроводів додати опір очисного апарату (дод. В). За результатами розрахунків добирають вентилятор і розраховують його потрібну потужність.

Завдання

Визначити загальний опір вентиляційної системи (рис. 7.3) та підібрати вентилятор, встановити фактичну потужність на валу вентилятора. Коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря приймається за дод. Г.

Вихідні дані наведені в таблиці.

Параметри	Варіант								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вид вентиляції	припливна								
Загальна кількість повітря, м ³ /год	1700	2500	3200	4800	5200	4700	2100	3300	4500
Температура повітря, °С	25	35	45	55	65	75	40	50	60
Довжина магістрального повітроводу, м	100	200	70	80	90	60	50	70	110
Загальна довжина відгалужень, м	10	12	14	16	18	10	12	14	16
Кількість відгалужень	4	5	3	5	4	5	4	3	4
Розташування відгалужень	одност	двост	двост	одност	двост	одност	двост	одност	двост
Швидкість повітря в кінцевому відгалуженні, м/с	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Швидкість повітря в магістральному повітроводі, м/с	7..11	5..12	6..11	8..12	7..11	5..12	6.11	8..12	7..11
Очисний апарат	Рукавний фільтр				Електрофільтр				
Місцеві опори:									
припливна насадка у вигляді секційного коліна при L/d	0,4	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,4	0,4	0,4
дросель-клапан: число стулок/ α	1/10°	2/20°	3/30°	4/40°	5/50°	6/60°	7/70°	8/10°	9/20°
коліно: (R/d)/ α	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0	0,75	1,0	1,5	1,25
припливна шахта, h/d	0,8	0,1	0,2	0,7	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8



I-IX – ділянки магістрального повітроводу; 1-6 – відгалуження; g – припливна насадка конструкції Батуріна; Н – засувка; і – рукавний фільтр

Рисунок 7.3 – Розрахункова схема вентиляційної системи з двостороннім несиметричним розташуванням відгалужень

7.3 Розрахунок пристроїв безперервного транспорту

При визначенні продуктивності пристроїв безперервного транспорту розрізняють такі випадки:

1. **Матеріал переміщається у вигляді безперервного струменя** (наприклад, переміщення сипких матеріалів у стрічкових, пластинчастих, скребкових та гвинтових транспортерах). Якщо площа поперечного перерізу несучого органу, наприклад жолоба пластинчастого або гвинтового транспортера, дорівнює $S \text{ м}^2$, а швидкість його руху $w \text{ м/с}$, то об'єм матеріалу, що переміщається складе твір $(S w) \text{ м}^3/\text{с}$.

Годинна продуктивність транспортера, т/год:

$$Q = 3600 \cdot S \cdot w \cdot \rho_n \cdot \varphi, \quad (7.1)$$

де ρ_n – насипна маса матеріалу (маса одиниці об'єму сипкого матеріалу), т/м³;

φ – коефіцієнт заповнення, що враховує неповне завантаження несучого органу матеріалом;

Для стрічкових транспортерів площа поперечного перерізу матеріалу, що лежить на стрічці, становить при плоскій стрічці, м²:

$$S = \frac{1}{18} (0.9B - 0,05)^2, \quad (7.2)$$

де B – ширина стрічки, м.

При жолобчастій стрічці величина S приблизно вдвічі більша.

Підставляючи значення S у формулу (7.2), отримаємо $\varphi = 1$:

$$Q = c(0.9B - 0,05)^2 \cdot \rho_n \cdot w, \quad (7.3)$$

Коефіцієнт для плоских стрічок дорівнює 200, а для жолобчастої стрічки – 400.

Для пластинчастих транспортерів (з бортами у пластин), скребкових та вібраційних транспортерів:

$$S = B \cdot h$$

де B – ширина пластин або жолоба, м;

h – висота бортів у пластин або жолоба (для вібраційних транспортерів h – висота шару матеріалу у жолобі), м.

Коефіцієнт заповнення φ становить:

Пластинчасті транспортери – 0,5-1;

Скребкові транспортери – 0,5-0,9;

Вібраційні транспортери – 0,5-0,8.

Найменші значення коефіцієнта φ приймаються для дрібнокускових матеріалів, великі – для крупнокускових матеріалів.

Для гвинтових транспортерів:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

де D – діаметр гвинта, м.

Підставляємо у формулу (7.1) це значення S , а також значення w за рівнянням (7.2), отримуємо:

$$Q = 60 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot w \cdot \rho_n \cdot \varphi$$

Причому значення коефіцієнта $\varphi = 0,125 - 0,4$ (менше значення беруться для важких, великих матеріалів, більші – для легких та порошкоподібних). Матеріал переміщення у ківшах (переміщення елеваторами). Продуктивність визначається за формулою, т/год:

$$Q = 3,6 \cdot \frac{V}{a} \cdot w \cdot \rho_n \cdot \varphi$$

де V – ємність ковша, л;

A – відстань між ковшами, м;

W – швидкість руху, м/с.

Коефіцієнт φ для шматкових матеріалів дорівнює 0,4-0,8, для легких і порошкоподібних $\varphi = 0,75 - 0,95$).

2. Визначення потужності безперервного транспорту, що споживається для пристроїв.

Потужність на приводному валу визначається за формулою, кВт:

$$N_0 = (N_1 + N_2 + N_3) \cdot K_3 + N_4, \quad (7.4)$$

Робота A , кДж/год, що витрачається на підйом матеріалу дорівнює продуктивності Q , т/год, помноженої на прискорення сили тяжіння g , м²/с, і на висоту підйому H , м. Тоді потужність витрачається на підйом матеріалу дорівнюватиме, кВт:

$$N_1 = \frac{Q \cdot g \cdot H}{3600} = \frac{Q \cdot H}{367}, \quad (7.5)$$

Потужність, що витрачається на подолання шкідливих опорів при переміщенні матеріалу (тертя матеріалу о жолоб тощо), кВт:

$$N_2 = \frac{K_1 \cdot Q \cdot L}{367}, \quad (7.6)$$

Потужність, що витрачається на подолання опору тягового органу (стрічки або ланцюга) при холостому ході:

$$N_3 = \frac{K_2 \cdot w \cdot L}{367}, \quad (7.7)$$

де Q – продуктивність, т/год;

H – висота підйому, м;

L – довжина транспортера, м;

W – швидкість руху, м/с;

K_1, K_2 – коефіцієнти опору, що визначаються експериментальним шляхом;

K_3 – коефіцієнт запасу на невраховані опори;

N_4 – потужність, що витрачається на роботу пристрою, що скидає, кВт.

Потужність електродвигуна визначається за такою формулою:

$$N = \frac{N_0 \cdot K}{\eta}, \quad (7.8)$$

де K – коефіцієнт, що враховує умови роботи транспортера ($K=1,1-1,4$; менше значення вибирають за легких умов);

η – к.к.д. приводу, приймається рівним 0,6-0,85.

Для **стрічкових транспортерів** $K_1=0,054$, коефіцієнт K_2 має наступні значення за різної ширини стрічки:

Ширина стрічки, мм	400	500	650	800	1000	1200	1400
K_2	5,2	6,4	8	10,4	14	17	20,2

Коефіцієнт K_3 визначається залежно від довжини транспортера:

Довжина транспортера, м	<15	15-30	30-45	>45
K_3	1,2	1,1	1,05	1,0

Потужність N_4 , кВт, знаходять за такими формулами:

- для скидання ножа:

$$N_4 = 0,01 \cdot Q \cdot B$$

де B – ширина стрічки, м

- для барабанного скидувача:

$$N_4 = 0,225 \cdot (N_0 - N_4) + 0,005Q$$

- для самохідного барабанного скидача:

$$N_4 = 0,275 \cdot (N_0 - N_4) + 0,005Q + 0,4$$

Для **пластинчастих транспортерів** $K_1=0,11$; $K_3=1,1$, а коефіцієнт визначається за формулою:

$$K_2 = 48B + A$$

де В – ширина пластин, м;

А=52-80 (в залежності від умов роботи транспортера).

Для скребкових транспортерів $K_2=0$, $K_3=1$, а коефіцієнт K_1 визначається за табл.7.6.

Таблиця 7.6 – Значення K_1 для скребкових транспортерів

Транспортери	Продуктивність, т/год					
	4,5	9	18	27	36	45
Коефіцієнти K_1						
З роликівими ланцюгами	2,25	1,7	1,3	1,1	1,05	0,7
З безроликівими ланцюгами	4,2	3,0	2,25	1,9	1,7	1,6

Для гвинтових транспортерів $K_2=0$, $K_3=1$, $K_1=1.2-4$ (менше значення – для нестираючих матеріалів, більші – для стираючих та липких матеріалів).

Для вібраційних транспортерів $K_1=6-10$, $K_2=0$, $K_3=0$.

Для елеваторів $K_1=0$, $K_3=1,15$, $K_2= k \cdot Q$, причому при розрахунку потужності N_3 за формулою (7.7) замість L підставляють висоту підйому Н, а значення К визначають за табл.7.7.

Таблиця 7.7 – Коефіцієнт опору К

Транспортери	Ківш	Продуктивність, т/год				
		<10	10-25	25-50	50-100	>100
Стрічковий	Звичайний	0,84	0,7	0,63	0,56	0,39
	Лускаті	-	-	0,58	0,53	0,48
Одноланцюговий	Звичайний	1,24	0,91	0,68	0,57	-
	Лускаті	-	0,77	0,59	0,49	-
Дволанцюговий	Звичайний	-	1,36	1,13	0,91	0,68
	Лускаті	-	-	-	0,77	0,63

Приклад

Визначити ширину стрічки похилого стрічкового транспортера для переміщення фосфоритного борошна, продуктивність 160 т/год.

Рішення

Насипна маса фосфоритної муки 1,6 т/м³, швидкість стрічки приймаємо рівною 0,75 м/с. Обираємо жолобчасту стрічку, вирішуємо рівняння (7.2) щодо В, знаходимо необхідну ширину стрічки:

$$B = 0,056 \sqrt{\frac{Q}{w \cdot \rho_H}} + 0,05 = 0,056 \sqrt{\frac{160}{0,75 \cdot 1,6}} + 0,05 \approx 0,7 \text{ м}$$

Обираємо стандартну ширину стрічки 800 мм.

Якби ми вибрали плоску стрічку, тоді необхідно взяти стандартну ширину плоскої стрічки 1000 м.

Завдання 1

Визначити потужність електродвигуна для транспортера, що працює для переміщення фосфоритного борошна, продуктивність 160 т/год. Довжина транспортера 120 м, висота підйому 15 м і скидання проводиться за допомогою лотка, що скидає.

Завдання 2

Визначити продуктивність горизонтального стрічкового транспортера (для переміщення сульфату амонію з плоскою стрічкою шириною 500 мм при швидкості руху стрічки 0,5 м/с.) Визначити також, наскільки необхідно підвищити швидкість руху стрічки для досягнення продуктивності транспортера 30 т/год.

Завдання 3

Розрахувати горизонтальний пластинчастий транспортер з бортами біля пластин для переміщення колчеданного недогарка, продуктивність транспортера 15 т/год, довжина 40 м, насипна маса недогарка 1,8 т/м³.

Завдання 4

Розрахувати горизонтальний гвинтовий транспортер для переміщення антрациту (розмір шматків 25 мм), довжина транспортера 40 м, продуктивність 20 т/год.

Завдання 5

Розрахувати елеватор для переміщення фосфоритного борошна, продуктивність елеватора 50 т/год, висота підйому 15 м.

7.4 Визначення герметичності фланцевих з'єднань

Фланцеві з'єднання призначені для міцного та герметичного з'єднання окремих вузлів, агрегатів, судин та апаратів.

Герметичність фланцевих з'єднань безпосередньо залежить від кількох факторів:

1. Шорсткість поверхні фланців та деталей трубопроводів.
2. Якість і чистота поверхні, що обробляється.
3. Однорідність матеріалу заготівлі.

Розглянемо кожен із цих факторів, що впливають на якість герметичності фланцевого з'єднання окремо.

Однорідність матеріалу заготівлі фланців та фланцевих з'єднань.

При виливанні заготівлі, коли виготовляються сталеві фланці, важливо дотриматися всіх технологічних операцій, необхідних для отримання

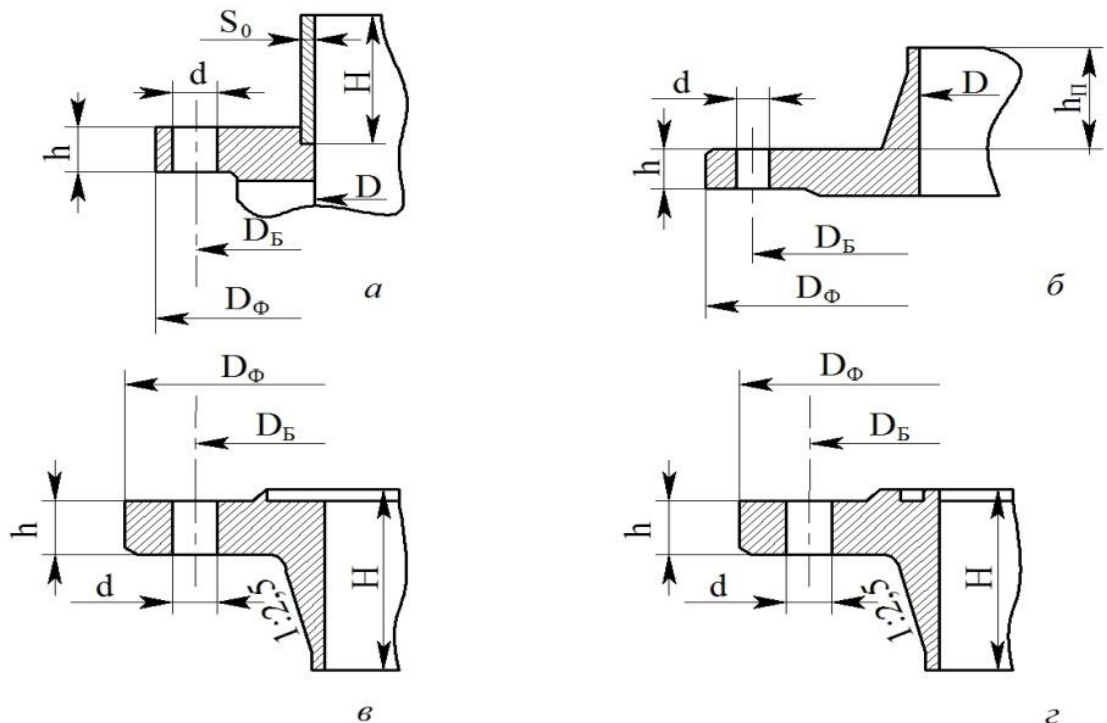
якісного матеріалу заготівлі фланців. Це якісний та відібраний спеціальними приладами (стилоскопами) матеріал виготовлення заготовки фланців та фланцевих з'єднань. При переплаві основного матеріалу виготовлення заготовок важливе і технологічно правильно суворе дотримання технології плавки для кожного необхідного матеріалу виготовлення.

Далі слідує суворе дотримання термічних режимів обробки матеріалу виготовлення фланцевих заготовок та заготовок деталей трубопроводів, які також як і плавка металів, безпосередньо залежить від матеріалу виготовлення заготовки та застосовуваних при виробництві марок сталей. Кожна марка сталі має свої температурні режими термообробки та свої термічні особливості. При дотриманні цих вимог заготовки виходять однорідними та легко оброблюваними, що необхідно для подальшого одержання герметичного фланцевого з'єднання.

Якість і чистота поверхні, що обробляється. Цей фактор для герметичності фланцевих вузлів і з'єднань має найголовніший ступінь важливості. Він безпосередньо залежить від обладнання, що застосовується, і кваліфікації операторів токарних верстатів.

Шорсткість поверхні фланців та деталей трубопроводів. Від сукупності всіх цих факторів і залежить шорсткість поверхні фланців і деталей трубопроводів, регламентованих ДСТУ або виготовлених за конструкторськими кресленнями.

Конструкції стандартних сталевих фланців для труб та арматури показані на рис. 7.4.



a – сталевий приварний до корпусу; *б* – приварний встик із плоскою поверхнею; *в* – приварний встик з виступом та западиною; *г* – приварний встик з шипом і пазом (1:2,5 – кут конусності, що рекомендується)

Рисунок 7.4 – Типи фланців

Методика розрахунку фланцевих з'єднань

Розрахунок фланцевого з'єднання потребує обчислення наступних розрахункових величин.

Найменша товщина конічної втулки фланця (рис. 7.5), м:

$$S_0 \leq 1,35 \cdot S, \text{ но } S_0 - S \leq 0,005\text{м}$$

Відношення більшої товщини втулки фланця до меншої $\beta = S_1/S_0$. Для приварних встик фланців та бортів обирають за рис. 7.6 для плоских фланців $\beta = 1$;

Велика товщина втулки фланця $S_1 = \beta \cdot S_0$, для плоских приварних фланців приймають $S_1 = S_0$;

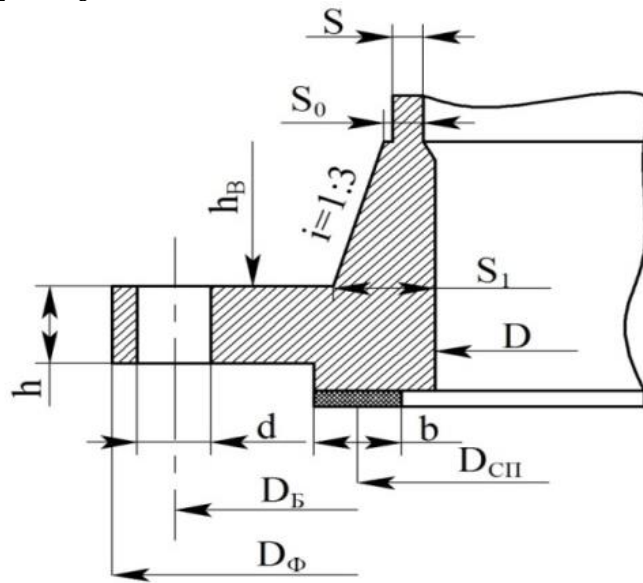


Рисунок 7.5 – Конструктивні розміри $4,0 < P_y \leq 6,4$ МПа фланця

Висота втулки приварного встик фланця $h_B \geq 3 \cdot (S_1 - S_0)$.

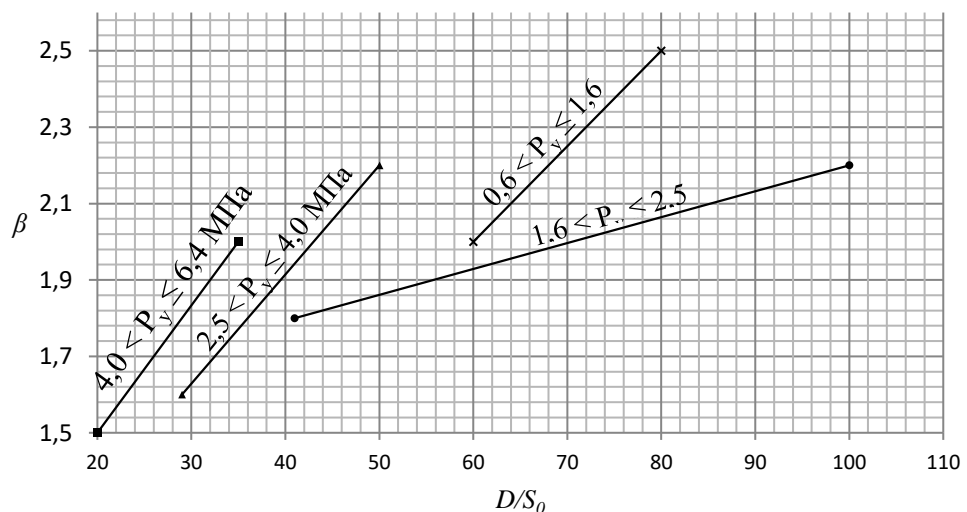


Рисунок 7.6 – Графік визначення коефіцієнта β

Крім того, визначають еквівалентну товщину втулки фланця., м:

$$S_{\text{ЭК}} = S_0 \cdot \left[1 + \frac{h_B \cdot (\beta - 1)}{h_B + 0,25 \cdot (\beta - 1) \cdot \sqrt{D \cdot S_0}} \right],$$

для плоского приварного фланця $S_{\text{ЭК}} = S_0$.

Діаметр болтового кола D_B , м:

а) для приварних встик фланців

$$D_B \geq D + 2 \cdot (S_1 + d_B + 0,006);$$

б) для приварних плоских фланців

$$D_B \geq D + 2 \cdot (2S_0 + d_B + 0,006).$$

Зовнішній діаметр фланця, м:

$$D_{\Phi} = D_B + a,$$

де a – величина, що залежить від типу та розміру гайки, м (табл.7.8);

D_B – діаметр болтового кола, м;

Зовнішній діаметр фланця, D_{Φ} , приймають кратним 10 или 5 мм.

Зовнішній діаметр прокладки, мм:

$$D_{\Pi} = D_B - e_1,$$

де e_1 – призначають залежно від діаметра болтів та виду прокладки (табл. 7.8).

Середній діаметр прокладки, м:

$$D_{\text{СП}} = D_{\Pi} - b_{\Pi},$$

де b_{Π} – ширина прокладки, м.

Ефективну ширину прокладки знаходимо за формулами, м:

а) для плоских прокладок:

$$\begin{aligned} b_E &= 0,5 \cdot b_{\Pi}, & \text{при } b_{\Pi} \leq 15\text{мм}, \\ b_E &= 0,6 \cdot \sqrt{b_{\Pi}}, & \text{при } b_{\Pi} > 15\text{мм}; \end{aligned}$$

б) для прокладок восьмикутного та овального перерізів:

$$b_E = 0,125 \cdot b_{\Pi}.$$

Орієнтовна кількість болтів (шпильок):

$$Z_B = \frac{\pi \cdot D_B}{t_B},$$

де t_B – крок болтів, м.

Остаточне число болтів визначають як найближче більше кратне чотирьом.

Орієнтовну товщину фланця визначають за формулою:

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D \cdot S_{\text{эк}}},$$

де λ – коефіцієнт, значення якого визначається за рис. 7.7.

Розрахунок фланцевого з'єднання, що працює під внутрішнім тиском, проводять у такий спосіб.

1. Визначають навантаження, що діє на фланцеве з'єднання від внутрішнього надлишкового тиску:

$$Q = 0,785 \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P,$$

де P – внутрішній надлишковий тиск, МПа.

Знаходять реакцію прокладки у робочих умовах:

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot m \cdot P,$$

де m – коефіцієнт, що залежить від конструкції та матеріалу прокладки (табл. 7.9).

Болтове навантаження за умов монтажу (до подачі внутрішнього тиску) визначають за формулами, МПа:

а) при $P \leq 0,6$ МПа

$$P_{\text{Б1}} = \max\{\alpha \cdot Q + R_{\text{п}}; \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot q; 0,4 \cdot [\sigma]_{\text{Б}}^{20} \cdot Z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}}\},$$

де α – коефіцієнт жорсткості фланцевого з'єднання;

q – розрахункове значення питомого тиску на прокладку (табл. 7.9),

МПа;

$Z_{\text{Б}}$ – кількість болтів, шт;

$f_{\text{Б}}$ – розрахункова площа поперечного перерізу болта (шпильки) за внутрішнім діаметром різьби, м²;

б) при $P > 0,6$ МПа

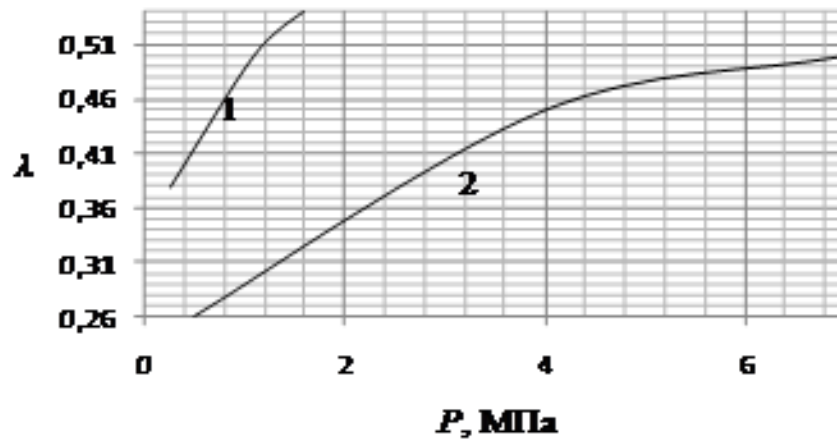
$$P_{\text{Б1}} = \max\{\alpha \cdot Q + R_{\text{п}}; \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{Е}} \cdot q\}.$$

Болтове навантаження за робочих умов визначається за формулою:

$$P_{\text{Б2}} = P_{\text{Б1}} + (1 - \alpha) \cdot Q$$

Таблиця 7.8 – Значення α та e_1 в залежності від типу гайки та діаметра отворів під болт

d , мм	α , мм		e_1 , мм	
	Шестигранна гайка	Шестигранна гайка із зменшеним розміром «під ключ»	Плоска прокладка	Прокладка овального перерізу
23	40	36	30	53
25	42	40	32	55
27	47	42	34	57
30	52	47	37	60
33	58	52	41	64
40	70	63	48	71
46	80	69	55	78
52	92	80	61	84



1 – для плоских приварних фланців; 2 – для приварних встик фланців

Рисунок 7.7 – Графік визначення коефіцієнта λ

Наведені згинальні моменти в діаметральному перерізі фланця:

$$M_{01} = 0,5 \cdot P_{Б1} \cdot (D_B - D_{сп});$$

$$M_{02} = 0,5 \cdot [P_{Б2} \cdot (D_B - D_{сп}) + Q \cdot (D_{сп} - D - S_{эк})] \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]t},$$

За розрахункове значення M_0 приймають більше значення зі значень M_{01} і M_{02} .

Таблиця 7.9 – Розрахункові параметри прокладок (ОСТ 26-373-78)

Конструкція прокладки	Матеріал прокладок	m	q , МПа	$[q]$, МПа
Плоска неметалева	Гума по ГОСТ 7338-77 з твердістю по приладу ТШР, МПа: у діапазоні 0,76 – 1,2 більше 1,2	0,5 1,0	2,0 4,0	18 20
	Картон азбестовий за ГОСТ 2850-75 товщиною 3 мм.	2,5	20	130
	Пароніт за ГОСТ 481-71 завтовшки не менше 1 мм.	2,5	20	130
	Фторопласт-4 за ГОСТ 10007-72 завтовшки 1-3 мм	2,5	10	40
	Алюміній АТ за ГОСТ 21631-76 Латунь Л63 за ГОСТ 2208-75 Сталь 05кп за ГОСТ 1050-74 Сталь за ГОСТ 5632-72: 08Х13 08Х18Н10Т	4,0 4,75 5,5 5,5 6,5	60 90 125 125 180	-
Плоска металева	Алюміній АТ за ГОСТ 21631-76	4,0	60	-
	Латунь Л63 за ГОСТ 2208-75	4,75	90	-
	Сталь 05кп за ГОСТ 1050-74	5,5	125	-
	Сталь за ГОСТ 5632-72: 08Х13	5,5	125	-
	08Х18Н10Т	6,5	180	-
Плоска складова	Азбест за ГОСТ 2850-75			
	Оболонка завтовшки 0,2-0,3 мм: алюмінієва	3,25	38	-
	мідна	3,5	46	-
	латунна	3,5	46	-
	зі сталі 05кп зі сталі 12Х18Н10Т	3,75 3,75	53 63	-
Овального або восьмикутного перерізу металева	Сталь 05кп; 08Х13	5,5	125	-
	Сталь 08Х18Н10Т	6,5	180	-

Умови міцності болтів:

$$\frac{P_{B1}}{Z_B \cdot f_B} \leq [\sigma]_B^{20}; \frac{P_{B2}}{Z_B \cdot f_B} \leq [\sigma]_B^t,$$

де $[\sigma]_B^{20}, [\sigma]_B^t$ – допустимі напруги матеріалу болта відповідно при 20 °С та робочій температурі, МПа.

Умови міцності прокладки (тільки для неметалевих):

$$\frac{P_{B1}}{\pi \cdot D_{cp} \cdot b_{п}} \leq [q]$$

де $[q]$ – знаходиться за табл.7.9.

У разі невдоволення умови слід збільшити ширину прокладки.

Розрахунок на міцність приварних плоских фланців та приварних встик фланців проводять наступним чином.

Максимальна напруга у перерізі S_1 фланця:

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot M_0 \cdot \omega}{D^* \cdot (S_1 - C)^2}$$

де $D^* = D$ при $D \geq 20 \cdot S$; $D^* = D + S_0$ при $D < 20 \cdot S_1$ и $\psi_3 > 1$; $D^* = D + S_1$ при $D < 20 \cdot S_1$ и $\psi_3 = 1$;

Параметр ψ_3 визначають за рис. 7.8 $\left(x = \frac{h_B}{\sqrt{D \cdot S_0}}\right)$;

Безрозмірні параметри ω і T визначають за формулами:

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1},$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,946 \cdot K^2) \cdot (K - 1)}$$

де $j = \frac{h}{S_{\text{эк}}}$; $\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K$; $K = \frac{D_{\Phi}}{D}$ – для плоских приварних та приварних встик фланців;

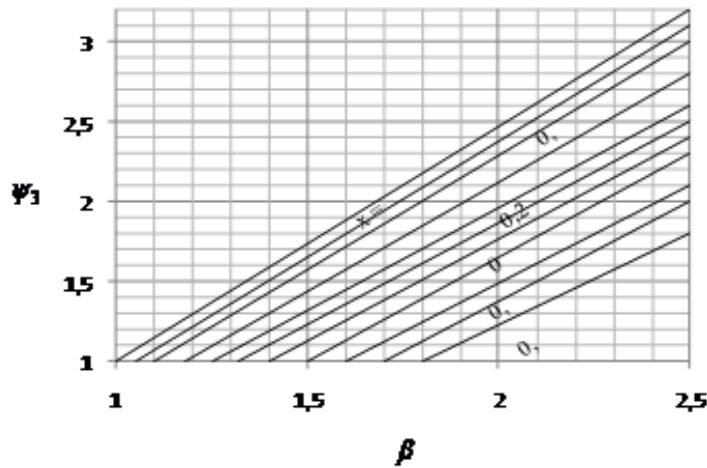


Рисунок 7.8 – Графік визначення коефіцієнта ψ_3

Максимальна напруга у перерізі S_0 , МПа:

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \sigma_1$$

Окружна напруга в кільці фланця від дії M_0 , МПа:

$$\sigma_K = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{D \cdot h^2},$$

де $\psi_2 = \frac{K+i}{K-1}$ – безрозмірний параметр;

Напруга у втулці фланця від внутрішнього тиску, МПа:

- тангенціальна

$$\sigma_x = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)},$$

- меридіональне

$$\sigma_y = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (S_0 - C)}$$

Умова міцності фланця:

а) в перетині S_1

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_K^2 + \sigma_1 \cdot \sigma_K} \leq [\sigma_1];$$

б) в перетині S_0

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_y)^2 + \sigma_x^2 - (\sigma_0 + \sigma_y) \cdot \sigma_x} \leq \varphi \cdot [\sigma_2].$$

Якщо не дотримується будь-яка з умов міцності фланця, слід збільшити товщину фланця h .

Приклад

Необхідно зробити розрахунок плоского приварного фланця внутрішнім діаметром $D = 400$ мм, з внутрішнім тиском середовища $P = 1$ МПа і товщиною стінки фланця $S = 12$ мм.

Визначаємо найменшу товщину конічної втулки фланця, м:

$$S_0 \leq 1,35 \cdot S, \text{ но } S_0 - S \leq 0,005 \text{ м}$$

Приймаємо $S_0 = 1,35 \cdot 0,012 = 0,016$.

При цьому має виконуватись умова $S_0 - S = 0,016 - 0,012 \leq 0,005$ м.

Для плоских фланців приймаємо $\beta = 1$;

Велику товщину втулки фланця приймаємо згідно виразу:

$$S_1 = S_0 = 0,016.$$

Визначимо еквівалентну товщину втулки фланця $S_{ек} = S_0 = 0,016$ м.

Діаметр болтового кола (основні розміри болта для кріплення фланця, приймаємо, що використовується шестигранна гайка зі зменшеним розміром «під ключ» та плоска прокладка, за табл. 7.8, $d_B = 25$ мм, $a = 40$ мм, $e_1 = 32$ мм)

$$\begin{aligned} D_B &\geq D + 2 \cdot (2S_0 + d_B + 0,006); \\ D_B &\geq 0,4 + 2 \cdot (2 \cdot 0,016 + 0,025 + 0,006); \\ D_B &\geq 0,527, \end{aligned}$$

приймаємо $D_B = 0,530$ м.

Зовнішній діаметр фланця, м:

$$D_{\Phi} = D_{\text{Б}} + a,$$

$$D_{\Phi} = 0,530 + 0,040 = 0,570$$

Зовнішній діаметр прокладки, мм:

$$D_{\Pi} = D_{\text{Б}} - e_1,$$

$$D_{\Pi} = 0,530 - 0,032 = 0,498$$

Середній діаметр прокладки (приймаємо ширину прокладки $b_{\Pi} = 0,015\text{м}$), м:

$$D_{\text{СП}} = D_{\Pi} - b_{\Pi},$$

$$D_{\text{СП}} = 0,498 - 0,015 = 0,483$$

Ефективну ширину прокладки знаходимо за формулою, м:

$$b_E = 0,5 \cdot b_{\Pi},$$

$$b_E = 0,5 \cdot 0,015 = 0,0075$$

Орієнтовна кількість болтів (шпильок), приймаємо $t_{\text{Б}} = 100\text{мм}$:

$$Z_{\text{Б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{Б}}}{t_{\text{Б}}},$$

$$Z_{\text{Б}} = \frac{3,14 \cdot 0,530}{0,1} = 16,65$$

Остаточне число болтів $Z_{\text{Б}} = 20$ шт.

Орієнтовну товщину фланця визначають за формулою:

$$h = \lambda \cdot \sqrt{D \cdot S_{\text{ЭК}}},$$

за рис. 7.7 визначаємо $\lambda = 0,5$

$$h = 0,5 \cdot \sqrt{0,4 \cdot 0,016} = 0,04 \text{ м.}$$

Визначаємо навантаження, що діє на фланцеве з'єднання від внутрішнього надлишкового тиску:

$$Q = 0,785 \cdot D_{\text{СП}}^2 \cdot P,$$

$$Q = 0,785 \cdot 0,483^2 \cdot 1 = 0,183\text{МН}$$

Знаходимо реакцію прокладки у робочих умовах ($m = 1$):

$$R_{\Pi} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_E \cdot m \cdot P,$$

$$R_{\Pi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,483 \cdot 0,0075 \cdot 1 \cdot 1 = 0,023$$

Болтове навантаження в умовах монтажу ($\alpha = 0,85, q = 4\text{МПа}$), МПа:

$$P_{\text{Б1}} = \max\{\alpha \cdot Q + R_{\Pi}; \pi \cdot D_{\text{СП}} \cdot b_E \cdot q\},$$

$$P_{\text{Б1}} = \max\{0,85 \cdot 0,183 + 0,023 = 0,114; 3,14 \cdot 0,483 \cdot 0,0075 \cdot 4 = 0,046\},$$

$$P_{\text{Б1}} = 0,114.$$

Болтове навантаження за робочих умов визначається за формулою:

$$P_{Б2} = P_{Б1} + (1 - \alpha) \cdot Q,$$

$$P_{Б2} = 0,114 + (1 - 0,85) \cdot 0,183 = 0,206$$

Наведені згинальні моменти в діаметральному перерізі фланця (допустимі напруги матеріалу болта при 20 °С $[\sigma]^{20} = 147$ МПа і при робочій температурі $t = 60^\circ\text{C}$ $[\sigma]^t = 147$ МПа):

$$M_{01} = 0,5 \cdot P_{Б1} \cdot (D_{Б} - D_{сп});$$

$$M_{01} = 0,5 \cdot 0,114 \cdot (0,530 - 0,483) = 0,003$$

$$M_{02} = 0,5 \cdot [P_{Б2} \cdot (D_{Б} - D_{сп}) + Q \cdot (D_{сп} - D - S_{эк})] \cdot \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t},$$

$$M_{02} = 0,5 \cdot [0,206 \cdot (0,530 - 0,483) + 0,183 \cdot (0,483 - 0,4 - 0,016)] \cdot \frac{147}{147}$$

$$M_{02} = 0,011$$

За розрахункове значення M_0 приймаємо $M_{02} = 0,011$.

Умова міцності болтів (розрахункова площа поперечного перерізу болтів визначається за формулою

$$f_{Б} = \pi \cdot \left(\frac{d_{Б}}{2}\right)^2 \quad f_{Б} = 3,14 \cdot \left(\frac{0,025}{2}\right)^2 = 0,000491 \text{ м}^2):$$

$$\frac{P_{Б1}}{Z_{Б} \cdot f_{Б}} \leq [\sigma]_{Б}^{20}; \quad \frac{P_{Б2}}{Z_{Б} \cdot f_{Б}} \leq [\sigma]_{Б}^t,$$

$$\frac{0,114}{20 \cdot 0,000491} \leq 147; \quad \frac{0,206}{20 \cdot 0,000491} \leq 147$$

$$11,6 \leq 147; \quad 20,9 \leq 147.$$

Умови міцності прокладки (з табл. 7.9 $[q] = 20$ МПа):

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} \leq [q]$$

$$\frac{0,114}{3,14 \cdot 0,483 \cdot 0,015} \leq 20$$

$$5 \leq 20$$

Умову міцності прокладки виконано.

Розрахунок на міцність плоских приварних фланців проводять наступним чином.

Визначимо:

Максимальна напруга в перерізі S_1 фланця:

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot M_0 \cdot \omega}{D^* \cdot (S_1 - C)^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{1,742 \cdot 0,011 \cdot 0,501}{0,4 \cdot (0,016 - 0,002)^2} = 118,5 \text{ МПа}$$

де $D^* = D = 0,4 \text{ м}$; $C = 0,002 \text{ мм}$ – збільшення на корозію;
 Параметр $\psi_3 = 1$ для приварених плоских фланців.
 Безрозмірні параметри ω і T визначаються за формулами:

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + \psi_1 \cdot j^2)]^{-1},$$

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,5 \cdot (1 + 0,197 \cdot 2,5^2)]^{-1} = 0,501$$

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg K) - 1}{(1,05 + 1,946 \cdot K^2) \cdot (K - 1)};$$

$$T = \frac{1,425^2 \cdot (1 + 8,55 \cdot \lg 1,425) - 1}{(1,05 + 1,946 \cdot 1,425^2) \cdot (1,425 - 1)} = 1,742$$

$$j = \frac{h}{S_{\text{эк}}};$$

$$j = \frac{0,04}{0,016} = 2,5$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg K;$$

$$\psi_1 = 1,28 \cdot \lg 1,425 = 0,197$$

$$K = \frac{D_{\Phi}}{D};$$

$$K = \frac{0,570}{0,4} = 1,425.$$

Максимальна напруга у перерізі S_0 , МПа:

$$\sigma_0 = \psi_3 \cdot \sigma_1;$$

$$\sigma_0 = 1 \cdot 118,5 = 118,5 \text{ МПа}$$

Окружна напруга в кільці фланця від дії M_0 , МПа:

$$\sigma_K = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \psi_2}{D \cdot h^2},$$

$$\sigma_K = \frac{0,011 \cdot [1 - 0,501 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,5)] \cdot 4,14}{0,4 \cdot 0,04^2} = 19,5 \text{ МПа}$$

Безрозмірний параметр ψ_2 , при куті конусності $i = 1 \div 3$:

$$\psi_2 = \frac{K+i}{K-1}$$

$$\psi_2 = \frac{1,425 + 0,333}{1,425 - 1} = 4,14$$

Напруга у втулці фланця від внутрішнього тиску, МПа:

- тангенціальне

$$\sigma_x = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - C)},$$

$$\sigma_x = \frac{1 \cdot 0,4}{2 \cdot (0,016 - 0,002)} = 14,1 \text{ МПа}$$

- меридіональне

$$\sigma_y = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (S_0 - C)}$$

$$\sigma_y = \frac{1 \cdot 0,4}{4 \cdot (0,016 - 0,002)} = 7 \text{ МПа}$$

Умова міцності фланця:

а) у перетині S_1

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_K^2 + \sigma_1 \cdot \sigma_K} \leq [\sigma_1];$$

$$\sqrt{118,5^2 + 19,5^2 + 118,5 \cdot 19,5} \leq 147$$

$$129,3 \leq 147$$

б) у перетині S_0 (коефіцієнт $\varphi = 0,9$)

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_y)^2 + \sigma_x^2 - (\sigma_0 + \sigma_y) \cdot \sigma_x} \leq \varphi \cdot [\sigma_2].$$

$$\sqrt{(118,5 + 7)^2 + 14,1^2 - (118,5 + 7) \cdot 14,1} \leq 0,9 \cdot 147$$

$$119,2 \leq 132,3$$

Умова міцності фланця виконується.

Завдання

Виконати розрахунок на міцність фланцевого з'єднання, що працює під дією внутрішнього тиску. Варіанти завдання представлені в табл. 7.10.

Таблиця 7.10 – Вихідні дані для розрахунку фланцевого з'єднання

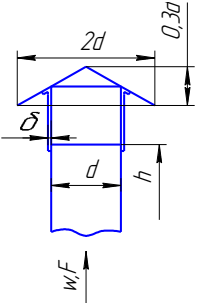
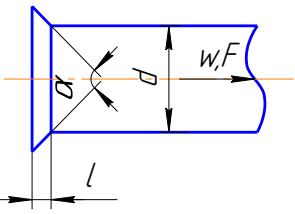
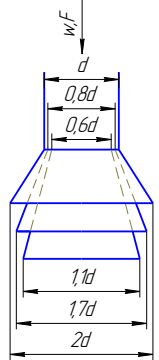
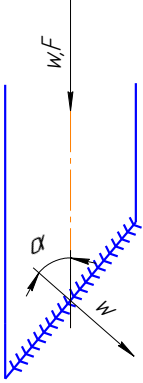
Варіант	Тип фланця	D , мм	P , МПа	S , мм
1	Плоский приварний фланець	100	2,5	18
2	Плоский приварний фланець	150	2,5	18
3	Приварний встик фланець	100	2,5	16
4	Плоский приварний фланець	200	2,5	16
5	Приварний встик фланець	150	1,6	16
6	Плоский приварний фланець	250	1,6	14
7	Приварний встик фланець	200	1,6	14
8	Плоский приварний фланець	300	1	12
9	Приварний встик фланець	400	0,6	12
10	Плоский приварний фланець	350	0,8	10
11	Приварний встик фланець	400	0,6	10
12	Приварний встик фланець	450	0,3	8
13	Плоский приварний фланець	450	0,3	8

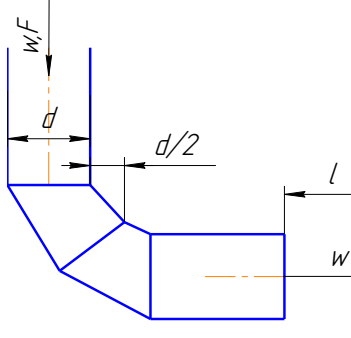
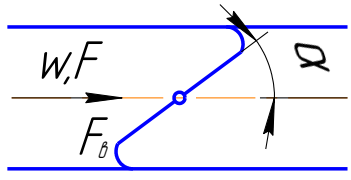
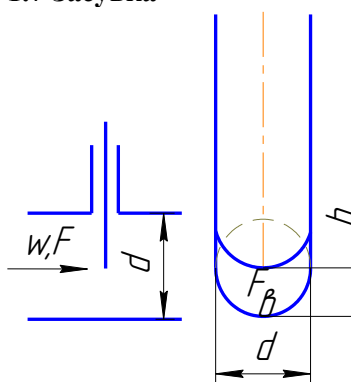
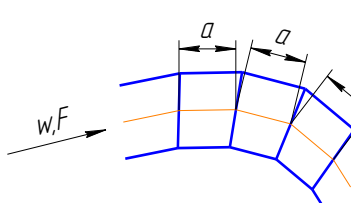
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

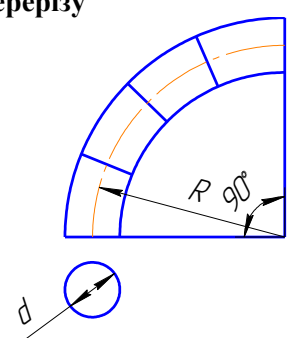
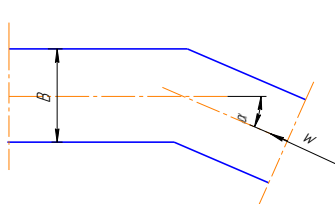
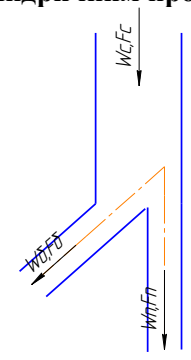
1. Белевицкий А.М. Проектирование газоочистительных сооружений. Ленинград : Химия, 1990. 280 с.
2. Гічов Ю.О. Очищення газів. Частина I : конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 51 с.
3. Новиков В.Т. Оборудование и основы проектирования систем охраны окружающей среды. Ч 2. Состав, монтаж и проектирование очисных установок и вентиляции : учебное пособие. Томск : ТПУ, 2010. 302 с.
4. Тарасов В.К., Куріс Ю.В., Кутузова І.О. Безпека експлуатації будівель та споруд: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА напряму підготовки 6.170202 «Охорона праці». Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 246 с.
5. Галкіна О.П. Інженерна гідравліка : конспект лекцій для студентів 2-3 курсів денної та заочної форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізації (освітні програми) «Цивільна інженерія (Водопостачання та водовідведення)», «Гідротехніка (Водні ресурси)». Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 103 с.
6. Тарасов В.К., Кожемякін Г.Б., Кутузова І.О. Безпечна експлуатація інженерних систем і споруд: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальностей: 183 «Технології захисту навколишнього середовища», 263 «Цивільна безпека». Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 160 с
7. Атаманчук П.С. та ін. Охорона праці в галузі : навчальний посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2017. 324 с.
8. Манідіна Є. А. та ін. До зниження рівня тонального аеродинамічного шуму в широкому діапазоні частот. *Металургія. Наукові праці Інженерного інституту Запорізького національного університету*. 2019. № 1. С. 126-130.
9. Рижков В.Г. та ін. До розрахунку вентиляції виробничих приміщень за умов виділення декількох шкідливих речовин. *Металургія. Наукові праці Інженерного інституту Запорізького національного університету*. 2020. № 1. С. 122-127.

ДОДАТОК А

Види місцевих опорів

Характеристика фасонних повітроводів	Значення ξ , що відноситься до W при h/d									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	
1.1 Шахта 	Припливна									
	2,63	1,83	1,53	1,39	1,31	1,19	1,15	1,08	1,06	
	Витяжна									
	40	2,3	1,5	1,3	1,18	1,1	1,05	1,05	1,05	
1.2 Конічний колектор на вході 	Значення ξ , що відноситься до W при l/d									
	$\alpha=60^\circ$									
	0,025	0,05	0,075	0,10	0,15	0,25	0,60	1,0	1/d	
	Без торцевої стінки									
	0,80	0,67	0,50	0,41	0,25	0,16	0,13	0,1	ξ	
1.3 Припливна насадка з трьома дифузорами 	$\xi=1$ до W									
1.4 Припливна насадка конструкції Батуріна 	α°		ξ до W							
			Спрощені лопатки				Профільовані лопатки			
			-				1,6			
			-				2,7			
			1,5				1,7			
			1,2				1,4			
			1,2				1,6			
			1,4				-			
			1,8				-			
			2,4				-			
		3,5				-				

1.5 Припливна насадка у вигляді секційного коліна 	ξ до W при l/d									
	0,4			0,8			l/d			
	1,52			1,41			ξ			
1.6 Багатостулкові дросельні клапани 	Число стулук у клапані	ξ до W при куті повороту стулки α								
		10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
	1	0,3	1,1	2,5	8	20	60	200	15 00	8000
	2	0,4	1,1	2,5	5,5	12	30	90	16 0	7000
	3	0,2	0,8	2,0	5	10	19	40	16 0	7000
	4	0,25	0,8	2,0	4	8	15	30	11 0	6000
5	0,2	0,7	1,8	3,5	7	13	28	80	5000	
1.7 Засувка 	Значення ξ , що відноситься до W при h/d									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	У циліндричній трубі									
	97,8	35	10,0	4,6	2,06	0,98	0,44	0,17	0,06	0
	У прямокутній трубі									
193	44,5	17,8	8,12	4,0	2,1	0,95	0,39	0,09	0	
1.8 Секційне коліно 90° із чотирьох ланок на 22,5° 	Для круглого перерізу $\xi=0,39$									

1.9 Відгалуження (коліно) повітропроводу круглого перерізу 	При $\alpha=90^\circ$									
	R/d	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0				
ξ	0,5	0,25	0,2	0,175	0,15					
1.10 Коліно круглого, квадратного та прямокутного перерізу з кутом $<90^\circ$ 	α	0	10	20	30	40	50	60	70	80
	Повітроводи будь-якого розміру з металу, а також бетонні та цегляні при $B>1000$ мм									
ξ	0	0,04	0,10	0,17	0,27	0,39	0,54	0,71	0,89	
1.11 Припливний трійник з циліндричним проходом 	Прохід $F_c=F_6$ $+ F_n$ Бокове відгалуження $F_n = F_c$ $F_b+F_n>F_c$	$\frac{W_n^*}{W_c}$	ξ при α							
			15-60°	90°	15°	30°	45°	60°	90°	
		Прохід $\xi_{с.п.}$			Бокове відгалуження $\xi_{с.б.}$					
		0,4	0,36	0,68	0,22	0,36	0,54	0,79	1,57	
		0,5	0,25	0,45	0,19	0,34	0,50	0,75	1,53	
		0,6	0,16	0,28	0,15	0,29	0,47	0,72	1,50	
		0,8	0,04	0,06	0,14	0,28	0,46	0,71	1,49	
		1,0	0	0	0,20	0,34	0,52	0,77	1,55	
		1,2	0,09	0,09	0,33	0,47	0,65	0,90	1,68	
		1,4	0,43	0,43	0,50	0,64	0,82	1,08	1,85	
		1,6	0,89	0,89	0,75	0,89	1,07	1,32	2,1	
		1,8	2,0	2,0	1,06	1,2	1,38	1,63	2,41	
		2,0	3,2	3,2	1,44	1,58	1,76	2,01	2,79	
2,2	-	-	1,90	2,04	2,22	2,47	3,25			
2,4	-	-	2,4	2,56	2,74	3,0	3,8			
2,6	-	-	3,08	3,22	3,4	3,65	4,43			

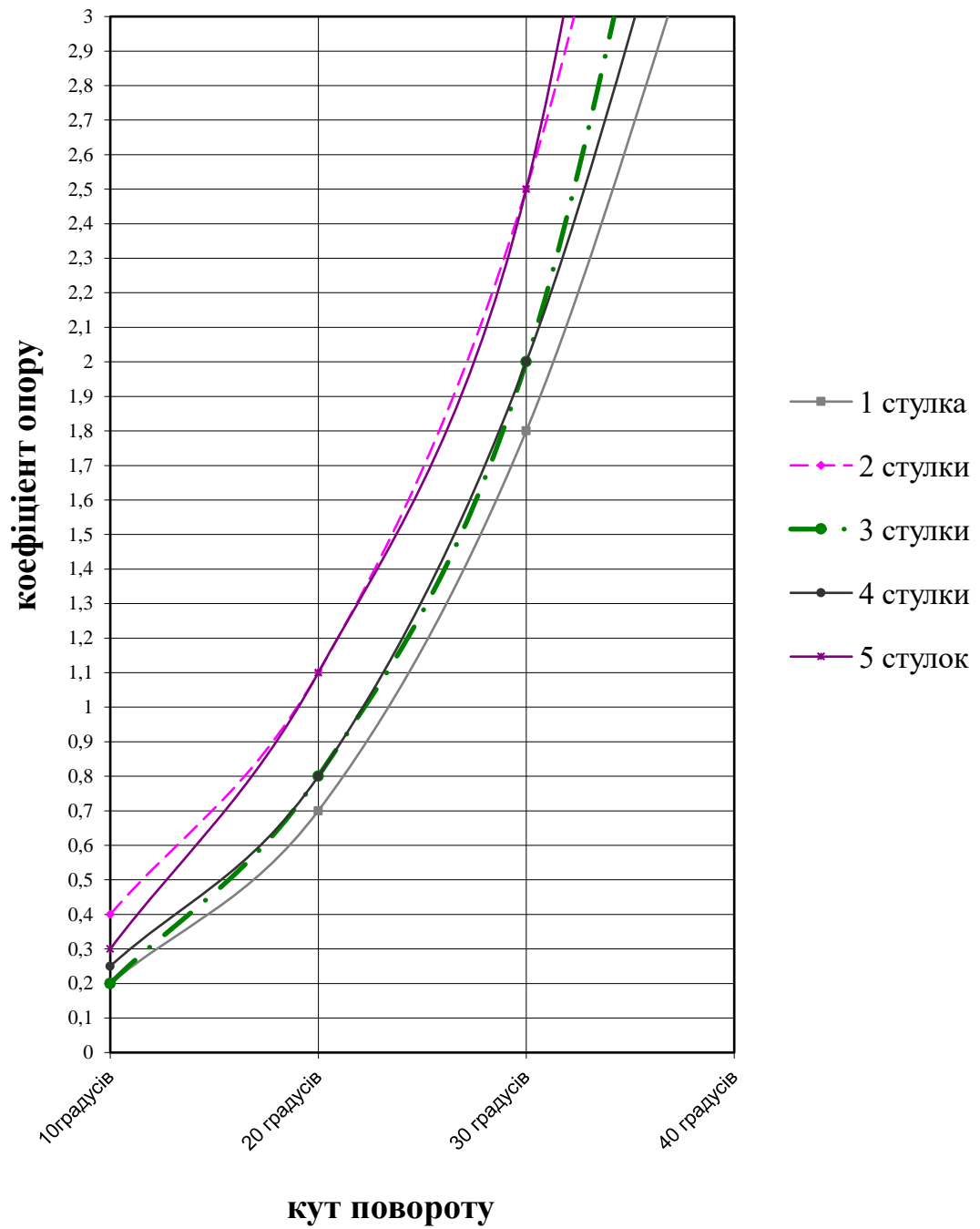


Рисунок А.1 – Залежність коефіцієнта опору дросель-клапана від кута повороту стулок α

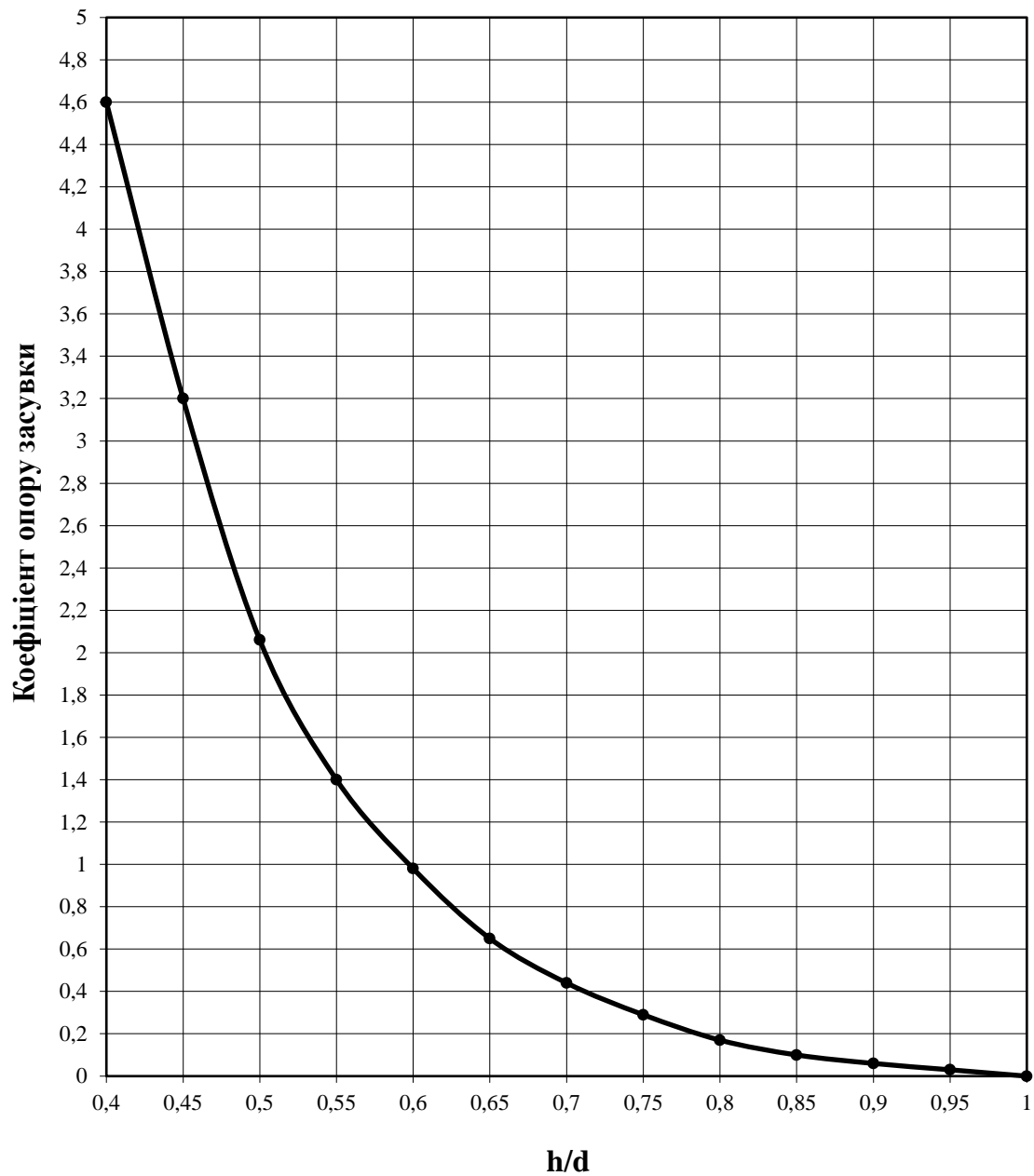


Рисунок А.2 – Залежність коефіцієнта опору засувки від відношення h/d в циліндричній трубі

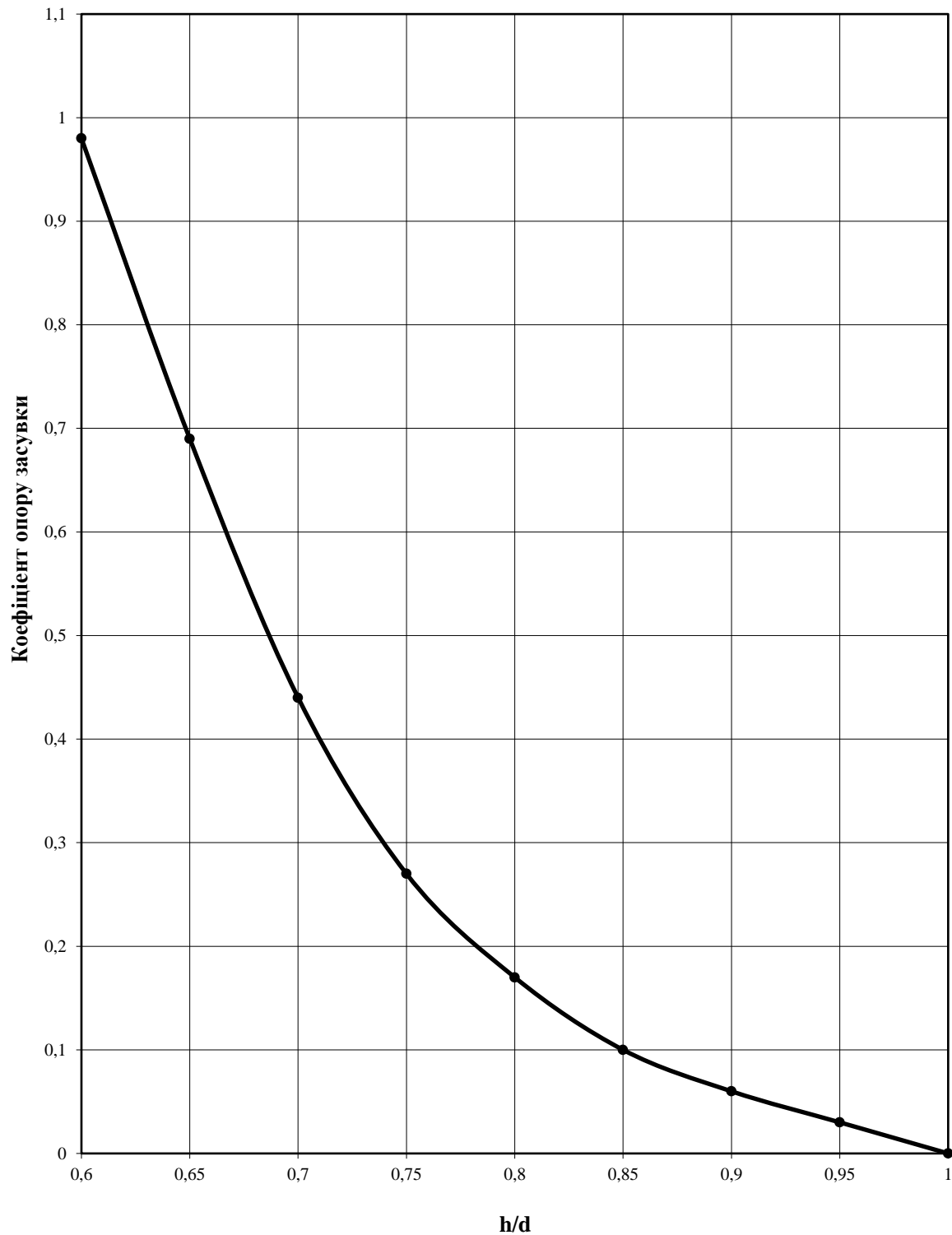


Рисунок А.3 – Залежність коефіцієнта опору засувки від відношення h/d в циліндричній трубі

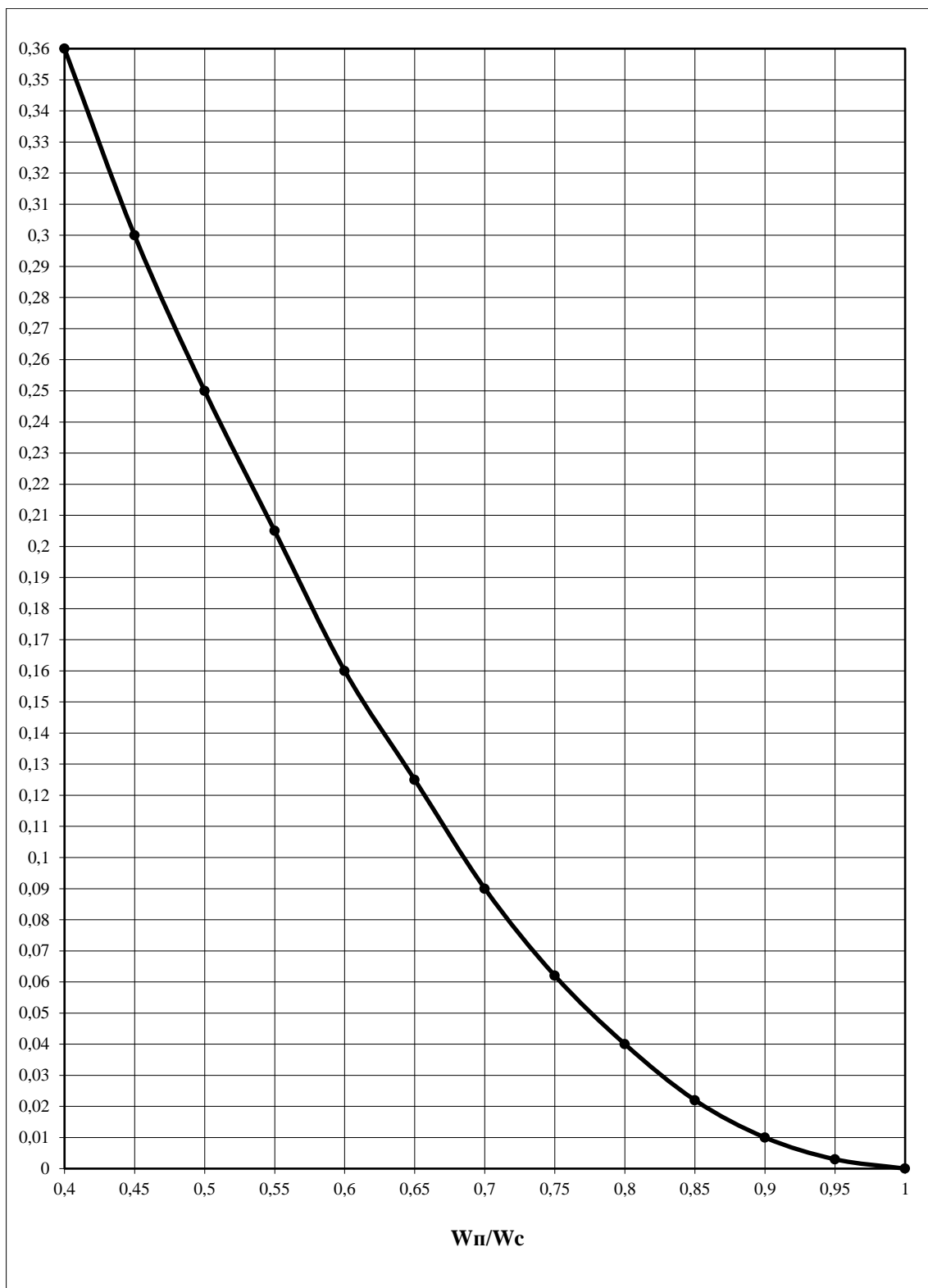


Рисунок А.4 – Графік залежності коефіцієнта опору від співвідношення швидкостей на проході $W_{п}/W_{с}$ для припливного трійника

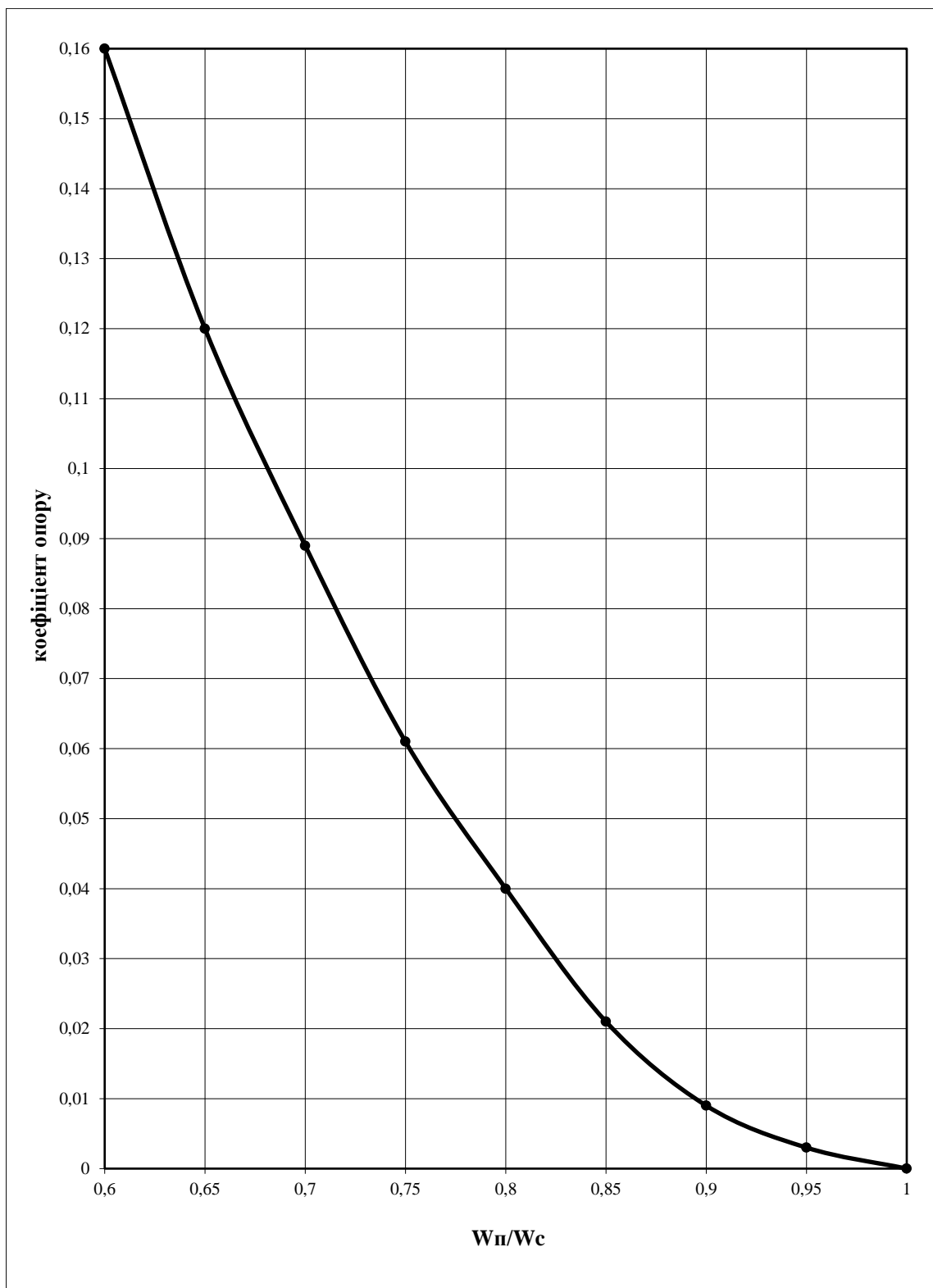


Рисунок А.5 – Графік залежності коефіцієнта опору від співвідношення швидкостей на проході $W_{п}/W_{с}$ для припливного трійника

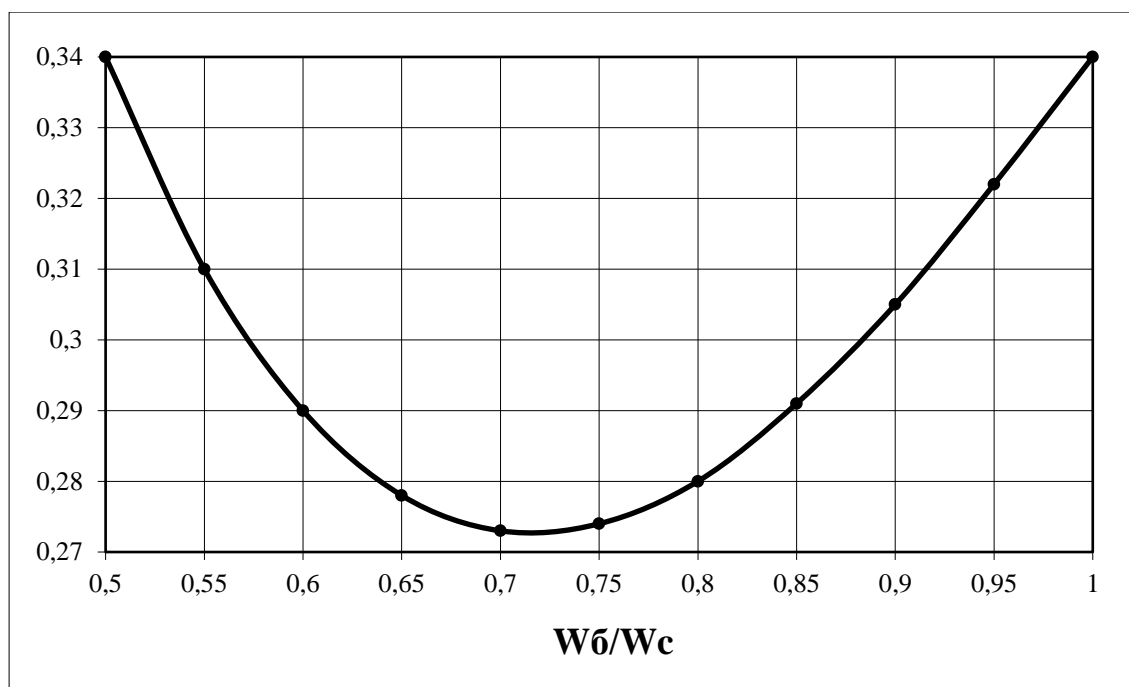


Рисунок А.6 – Графік залежності коефіцієнта опору від співвідношення швидкостей $\frac{W_6}{W_c}$ у відгалуженні припливного трійника

ДОДАТОК Б
Стандартні діаметри повітроводів припливно-витяжної вентиляції

Діаметр повітроводів у мм і їх площа в м ²								
100	115	130	140	150	165	195	215	235
0,0078	0,0104	0,01327	0,0154	0,01767	0,02138	0,0298	0,0363	0,0433
265	285	320	375	440	495	545	595	660
0,0551	0,0638	0,0804	0,1104	0,152	0,1924	0,2332	0,2780	0,3421
775	885	1025	1100	1200	1325	1425	1540	
0,4717	0,6151	0,8251	0,9503	1,1309	1,3788	1,5948	1,8626	

ДОДАТОК В
Опір пилогазоочистних апаратів

№	Назва	Величина опору, Па
1	Жалюзійні пиловловлювачі	100-400
2	Гравійні фільтри	300-1500
3	Циклони	300-1000
4	Мокрі циклони	400-1600
5	Скрубери, барботажні скрубери	200-2000
6	Скрубери Вентурі	12000-20000
7	Електрофільтри	300-500
8	Рукавні фільтри	500-2000

ДОДАТОК Г
Коефіцієнти кінематичної в'язкості газів $\nu \cdot 10^6$, м²/с

№	Назва газу	Температура, °С										
		0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1	Кисень	13,6	23,1	34,6	47,8	62,8	79,6	97,8	117	138	161	184
2	Азот	13,3	22,5	33,6	46,4	60,9	76,9	94,3	113	133	154	177
3	Водень	93,0	157	233	323	423	534	656	785	924	1070	1230
4	Карбон(II) оксид	13,3	22,6	33,9	47,0	61,8	78,0	96,0	115	135	157	180
5	Карбон(IV) оксид	7,09	12,6	19,2	27,3	36,7	47,2	58,3	71,4	85,3	100	116
6	Водяна пара	-	19,4	30,6	44,3	60,5	78,8	99,8	122	147	174	204
7	Сульфур(IV) оксид	4,14	7,51	11,8	17,1	23,3	30,4	38,3	46,8	56,5	66,8	78,3
8	Повітря	13,3	23,0	34,8	48,2	63,0	79,3	96,8	115	135	155	148
9	Метан	14,5	25,1	38,2	53,5	71,0	90,8	113	-	-	-	-
10	Етан	6,41	11,6	18,2	26,2	35,6	46,4	58,5	-	-	-	-

Навчально-методичне видання
(українською мовою)

Манідіна Євгенія Анатоліївна
Кожемякін Геннадій Борисович
Белоконь Каріна Володимирівна

**ПРОЄКТУВАННЯ БЕЗПЕЧНИХ ПРОМИСЛОВИХ
СПОРУД ТА ПРИРОДООХОРОННОГО ОБЛАДНАННЯ**
для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра
спеціальності 263 «Цивільна безпека»
освітньо-професійної програми «Охорона праці»,
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього
середовища» освітньо-професійної програми «Технології захисту
навколишнього середовища»

Рецензенти: *А.В. Вагін, О.М. Фостащенко*
Відповідальний за випуск *Г.Б. Кожемякін*
Коректор *Є.А. Манідіна*