МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

О. С. Ковров, Д. В. Кулікова

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»
зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища

Дніпро
НТУ «ДП»
2024

Технології захисту атмосферного повітря [Електронний ресурс] : методичні рекомендації до виконання практичних робіт для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища / уклад.: О. С. Ковров, Д. В. Кулікова ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро : НТУ «ДП», 2024. – 128 с.

Укладачі:
О. С. Ковров, д-р техн. наук, проф.
Д. В. Кулікова, канд. техн. наук, доц.

Затверджено науково-методичною комісією зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища (протокол № 10 від 30.08.2024 р.) за поданням кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища (протокол № 1 від 30.08.2024 р.).

Подано методичні рекомендації до виконання практичних робіт для студентів освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти, варіанти завдань з рекомендаціями до їх виконання, питання для самоконтролю, список використаної та рекомендованої літератури.

Орієнтовано на активізацію навчальної діяльності здобувачів ступеня бакалавра зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища та закріплення практичних навичок у засвоєнні дисципліни «Технології захисту атмосферного повітря».

Відповідальна за випуск завідувачка кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища О. О. Борисовська, канд. техн. наук, доц.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ……. 4

Практична робота №1. Оцінка рівня забрудненості атмосферного повітря та його впливу на здоров'я населення …… 6

Практична робота №2. Розрахунок технологічних параметрів відцентрового циклона НДІОГазу, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу …… 26

Практична робота №3. Розрахунок технологічних параметрів відцентрового циклона, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за методом Лапле …..…….. 44

Практична робота №4. Розрахунок технологічних параметрів тарілчастого газопромивача (пінного апарата), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу …… 49

Практична робота №5. Розрахунок технологічних параметрів високо напірного швидкісного газопромивача (скрубера Вентурі), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу ……. 59

Практична робота №6. Розрахунок технологічних параметрів рукавних фільтрів зі зворотним продуванням, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу …….. 78

Практична робота №7. Розрахунок технологічних параметрів електрофільтрів, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу під впливом електричних сил …… 94

Практична робота №8. Оцінка еколого-економічної ефективності від впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря ……. 104

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ …… 124

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ … 125

ДОДАТКИ …… 126

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Дисципліна «Технології захисту атмосферного повітря» – фахова освітня компонента за освітньою програмою «Технології захисту навколишнього середовища» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти.

В результаті виконання практичних робіт студенти - майбутні фахівці повинні оволодіти системним підходом до вирішення питань захисту повітряного басейну у відповідності до вимог освітньої програми:

ПР04	Обґрунтовувати природозахисні технології, базуючись на розумінні механізмів впливу людини на навколишнє середовище і процесів, що відбуваються у ньому
ПР07	Здійснювати науково-обґрунтовані технічні, технологічні та організаційні заходи щодо запобігання забруднення довкілля
ПР08	Вміти продемонструвати навички вибору, планування, проектування та обчислення параметрів роботи окремих видів обладнання, техніки і технологій захисту навколишнього середовища, використовуючи знання фізико-хімічних властивостей полютантів, параметрів технологічних процесів і нормативних показників стану довкілля
ПР12	Обирати інженерні методи захисту довкілля, здійснювати пошук новітніх техніко-технологічних й організаційних рішень, спрямованих на впровадження у виробництво перспективних природоохоронних розробок і сучасного обладнання, аналізувати напрямки вдосконалення існуючих природоохоронних і природовідновлюваних технологій забезпечення екологічної безпеки
ПР13	Вміти застосовувати основні закономірності безпечних, ресурсоефективних і екологічно дружніх технологій в управлінні природоохоронною діяльністю, в тому числі через системи екологічного керування відповідно міжнародним стандартам

Метою дисципліни є формування у майбутніх фахівців умінь та компетенцій щодо аналізу різноманітних джерел забруднення атмосферного повітря за техніко-економічними характеристиками, а також кількісно-якісного складу газопилових сумішей, що надходять до атмосфери з урахуванням їх фізико-хімічних властивостей; оцінки доцільності впровадження певного засобу очистки технологічних газів на промисловому підприємстві; вміння розраховувати газоочисні пристрої та обґрунтовувати комплексні схеми очистки газопилових сумішей з оцінкою їх ефективності й усунених екологічних збитків.

В методичних рекомендаціях представлено *практичні роботи*, текст яких викладено за типовою структурною схемою: тема, мета роботи, завдання, сформовані результати навчання, подання теоретичних положень за темою, завдання для самостійного виконання та питання для самоконтролю. Практичні роботи виконуються студентами згідно з поставленими завданнями за допомогою наведених в роботах таблиць, схем.

Результатом виконання практичної роботи є звіт, виконаний в письмовій формі в окремому зошиті або на аркушах формату А4, який підлягає захисту.

Звіт з практичних робіт може виконуватись у письмовому вигляді або в електронній формі та повинен включати:

- титульний аркуш;
- назву, мету та завдання на практичну роботу;

- вихідні дані, необхідні для розрахунку, відповідно до варіанта;
- методику розрахунку;
- результати розрахунку, відповідно до варіанта вихідних даних;
- висновки.

В результаті виконання практичних робіт студенти повинні набути практичні навички з:

- оцінки рівня забрудненості атмосферного повітря та його впливу на стан здоров'я населення;

- технологічного розрахунку параметрів відцентрового циклона НДІОГазу, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу;

- технологічного розрахунку параметрів відцентрового циклона, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за методом Лапле;

- технологічного розрахунку параметрів тарілчастого газопромивача (пінного апарата), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу;

- технологічного розрахунку параметрів високонапірного швидкісного газопромивача (скрубера Вентурі), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за енергетичним методом;

- технологічного розрахунку параметрів рукавних фільтрів зі зворотним продуванням, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу;

- технологічного розрахунку параметрів електрофільтрів, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу під впливом електричних сил;

- оцінки еколого-економічної ефективності від впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕНОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ТА ЙОГО ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

Мета: набуття теоретичних знань у сфері технологій захисту атмосферного повітря та здобуття практичних навичок з оцінки рівня забрудненості атмосферного повітря та його впливу на стан здоров'я населення.

Завдання:

1. Ознайомитися з основними джерелами забруднення атмосфери, пріоритетними забруднюючими речовинами, наслідками їхнього впливу на стан здоров'я населення, критеріями санітарно-гігієнічного оцінювання якості повітря та санітарними вимогами щодо охорони атмосферного повітря при експлуатації об'єктів, діяльність яких пов'язана з викидами забруднюючих речовин.

2. Ознайомитися з методиками розрахунку комплексного індексу забруднення атмосфери та кратності перевищення значення сумарного показника забруднення сумішшю речовин нормативного значення граничнодопустимого навантаження атмосферних забруднень на стан здоров'я населення.

3. Виконати розрахунок комплексного індексу забруднення атмосфери та кратності перевищення значення сумарного показника забруднення сумішшю речовин нормативного значення граничнодопустимого навантаження атмосферних забруднень на стан здоров'я населення, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- обґрунтувати доцільність використання технологій захисту атмосферного повітря для конкретних промислових підприємств і технологій;
- знати міжнародні та національні стандарти в галузі охорони атмосферного повітря.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Забруднення повітря як основний фактор ризику для здоров'я

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, забруднення повітря є одним з основних факторів ризику для здоров'я, пов'язаних з навколишнім середовищем. Встановлено, що 91% світового населення проживає у районах, де рівень забруднення атмосферного повітря перевищує допустимі рівні, а дев'ять з десяти людей дихають повітрям з високими концентраціями забруднюючих речовин. Чим нижче рівні забруднення повітря, тим менше серцево-судинних і респіраторних захворювань як в тривалій, так і в короткостроковій перспективі.

Згідно Закону України «Про охорону атмосферного повітря» атмосферне повітря – життєво важливий компонент навколишнього природного середовища, який являє собою природну суміш газів, що знаходиться за межами жилих, виробничих та інших приміщень.

Як зазначається в Законі України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», однією з найважливіших проблем охорони природи в Україні є забруднення атмосферного повітря. На сьогодні рівень забруднення атмосферного повітря великих міст і промислових регіонів є високим, незважаючи на спад виробництва в Україні.

Зовнішнє забруднення повітря походить з природних та антропогенних джерел (рис. 1.1). Атмосферні забруднювачі за походженням можуть бути первинними (відходи підприємств, автомобільних двигунів тощо) і вторинними, що утворюються у вільній атмосфері в результаті хімічних, фотохімічних, фізико-хімічних реакцій між забруднюючими речовинами та компонентами атмосфери.

Зважаючи на те, що природні джерела значно сприяють забрудненню повітря у посушливих регіонах більш схильних до лісових пожеж та пилових бур, антропогенні чинники становлять набагато більший об'єм забруднення повітря, особливо у густонаселених індустріальних регіонах.

Рисунок 1.1 – Джерела забруднення атмосферного повітря

Основними антропогенними чинниками зовнішнього забруднення атмосферного повітря є:

- згоряння пального для автотранспорту;
- важка промисловість;
- виробництво тепла та електроенергії;

• накопичення та спалення твердих побутових відходів(ТПВ);

• побутові процеси, що споживають забруднююче атмосферу паливо (обігрів осель, приготування їжі, тощо).

У дослідженні чинників забруднення повітря в містах розрізняють джерела стаціонарні та пересувні. *Точкове стаціонарне джерело забруднення* – це джерело, яке базується на певній території та спричиняє викиди забруднюючих речовин з відносно невеликої точки. До них відносять – димові труби заводів, котелень, теплоелектростанцій, технологічних установок, печей і сушарок, аспіраційні системи, дефлектори, витяжки, вентиляційні стволи вугільних і рудних шахт тощо. Основні речовини, які викидають стаціонарні джерела – SO_2, NO_2, PM (пил, зола), та менше CO, феноли, H_2SO_4 (сірчана кислота) та інші забруднювачі повітря у залежності від об'єкта.

В Україні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у розрізі видів економічної діяльності за регіонами розподіляються наступним чином: у Західному регіоні найбільша кількість викидів забруднюючих речовин (73%) в атмосферне повітря від стаціонарних джерел припадає на постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря; у Північному регіоні половину викидів забруднюючих речовин (54%) в атмосферне повітря від стаціонарних джерел припадає на постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря. Переробна промисловість є на другому місці (20%). У Східному регіоні крім постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря (38%), суттєву роль в забрудненні повітря відіграє добувна промисловість (23%) і розроблення кар'єрів (23%). У Південному регіоні найбільша кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел припадає на постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря (41%) та на переробну промисловість (39%). У Центральному регіоні найбільша кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел припадає на переробну промисловість (45%). Друге місце поділяють: постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря (23%), добувна промисловість і розроблення кар'єрів (23%).

Під *забрудненням урбанізованих територій* розуміють зміни, внесені у навколишнє середовище людською діяльністю, що впливають на органічний світ. Розрізняють прямі, непрямі, позитивні та негативні впливи. *Прямий вплив* – спрямований на живі організми; *непрямий* – зміна клімату, фізичного та хімічного стану атмосфери, водойм, будови поверхні землі, рослинного та тваринного світу; *негативний* – пригнічення або вимирання організмів; *позитивний* – створення сприятливих умов для розвитку інших організмів.

Урбанізація, яка призводить до перенаселення та критичної залежності від індивідуального автотранспорту також є ключовим чинником у збільшенні викидів забруднюючих речовин в атмосферу. В повітрі урбанізованих регіонів за умов недостатньої природної вентиляції накопичуються значні об'єми забруднюючих речовин, що спричиняє значний негативний ефект на здоров'я населення. Кожного дня з цією проблемою стикаються мешканці великих промислових міст. В Україні рівень забруднення атмосферного повітря для

більшості великих промислових міст характеризується як високий або дуже високий. Наявність більшості основних забруднювачів, які за своїми концентраціями значно перевищують ГДК. Також, зважаючи на те, що урбанізовані території можуть мати декілька сотень або тисяч різноманітних джерел викидів забруднюючих речовин, взаємодія забруднювачів може посилювати негативний ефект на здоров'я людей, що проживають на даній території.

Викиди забруднюючих речовин об'єктами промисловості, енергетики у повітрі можуть вступати в реакції зі складовими атмосфери, в результаті яких утворюються нові речовини, що можуть довгий час утримуватися в приземному шарі атмосфери та акумулюватися протягом великих періодів часу. Процеси розповсюдження та накопичення забруднюючих агентів залежать від часу їхнього знаходження в атмосфері, метеорологічних умов, напряму та швидкості вітру, опадів та інших факторів.

Пересувні джерела забруднення, переважно автомобілі, на відміну від стаціонарних джерел, здійснюють викиди здебільшого у приземний шар атмосфери, які розповсюджуються на невеликій території.

Порівнюючи якість атмосферного повітря у різних регіонах, якщо припустити, що показник якості повітря над рівнем океану – це одиниця, тоді якість повітря сільської місцевості буде приблизно у 10 разів гірше, у неурбанізованих регіонах (містах) – в 35, урбанізованих регіонах (містах) – в 150, а у великих промислових центрах – у 1000.

Країни Європи обрали одним з головних пріоритетних напрямків саме покращення стану здоров'я та забезпечення належного рівня життя людей, що є неможливим без розвитку екологічних ініціатив. Європейська політика «Здоров'я-2020: основи Європейської політики в підтримку дій держави та суспільства в інтересах здоров'я і благополуччя», твердить, що здоров'я людини – це одна з найважливіших цінностей в плані соціально-економічного розвитку країни.

Негативні наслідки для здоров'я людини від забруднення повітря можуть виникати в результаті короткострокового або довгострокового контакту. Забруднювачі, які, згідно досліджень, мають найбільш серйозний негативний вплив на здоров'я людини – це тверді пилові частинки, озон, двоокис азоту та двоокис сірки. За даними мета-аналізу HRAPIE (Health risks of air pollution in Europe) на базі узагальнення інформації з інших досліджень у Європі та США, було встановлено чіткі зв'язки між короткостроковим, довгостроковим контактом з забруднювачами та статистикою смертності від природних причин, серцево-судинних захворювань (окрім інсультів), захворювань дихальних шляхів, звернень до лікаря з проблемами серця та дихальних шляхів.

Тема негативного впливу забрудненого повітря на життя та здоров'я людини вивчається вже давно. Багатьма вченими з різних країн, на основі спостережень вдалося встановити пряму кореляцію між рівнем забруднення повітря та загальним станом здоров'я населення, що проживає на прилеглій території, а також розвитком 49 хронічних захворювань, у тому числі серцево-судинні захворювання, атеросклероз, рак легень тощо.

В Україні приблизно 34% усього населення піддається негативному впливу забрудненого повітря, це приблизно 17 млн. осіб. Порівнюючи рівні захворюваності певними хворобами населення забруднених та відносно чистих територій, вроджені проблеми розвитку дітей виявляються у 3-4 рази частіше саме у забруднених регіонах, захворювання дихальної системи – у 2 рази частіше, за загальним рівнем захворюваності населення – на 25-40% частіше, незначне підвищення рівня захворюваності алергічними, серцево-судинними, раковими, генетичними хворобами тощо.

Також у високо забруднених регіонах спостерігається підвищений рівень захворюваності такими хворобами:

- туберкульоз (на 45%);
- ендокринні захворювання (на 36%);
- хвороби центральної та периферійної нервової системи (на 29%);
- кровоносних судин та кровообігу (на 37%);
- органів дихання (на 12%);
- органів шлунково-кишкового тракту (на 65%);
- сечостатевої системи (на 25%);
- кістково-м'язової системи (на 60%).

Люди, що знаходяться у постійному контакті з забрудненим повітрям частіше хворіють на гіпертонічну хворобу (на 67%), ішемічну хворобу серця (на 56%), стенокардію (на 75%), хронічний бронхіт (на 47%) тощо.

Формальдегід застосовується в промисловості для виробництва різноманітних полімерів, фарби, синтетичних тканин, також являє собою дезінфікуючий, консервуючий та дубильний засіб. Цей газ небезпечний тим, що подразнює слизові оболонки очей, горла, носа, вражає паренхіматозні органи черевної порожнини та шкіру. В атмосфері формальдегід взаємодіє з певними ферментами в органах і тканинах, є інгібітором синтезу нуклеїнових кислот, негативно впливає на клітинний генез. Порушує структуру генетичного матеріалу, чинить негативну дію на шкірні покрови, репродуктивні органи, дихальні шляхи, очі. Спричиняє ураження центральної нервової системи. Люди, що страждають хронічними захворюваннями дихальних шляхів (емфіземою легень, астмою) і серцево-судинними хворобами, можуть бути більше чутливі до прямих впливів. У них легше розвиваються ускладнення (наприклад, запалення легень) при короткочасних респіраторних інфекціях.

Тверді пилові частинки (PM) – це завислі в повітрі частинки сульфатів, нітратів, аміаку, хлориду натрію, чорного вуглецю, мінерального пилу та води. Частинки діаметром не більш, ніж 10 мікрон (PM_{10}), включаючи менші частинки діаметром не більш, ніж 2,5 мікрон ($PM_{2.5}$) представляють найбільший ризик здоров'ю, адже вони здатні проникати через легені до кровотоку. Джерелами твердих пилових частинок є двигуни внутрішнього згоряння (дизель та бензин), спалювання твердого палива (вугілля, нафта, біомаса) для вироблення електроенергії для побутових та промислових потреб, а також для інших цілей (будівництво, видобуток корисних копалин, виготовлення цементу, кераміки, цегли та плавлення металів).

Промисловий пил залежно від механізму утворення поділяється на такі 4 класи:

- механічний пил – утворюється в результаті подрібнення продукту в ході технологічного процесу;

- перегони – утворюються в результаті об'ємної конденсації пари речовин при охолоджуванні газу, що пропускається через технологічний апарат, установку або агрегат;

- легка зола – що міститься в димовому газі в завислому стані залишок палива, що не згорає, утворюється з його мінеральних домішок при горінні;

- промислова сажа – вхідний до складу промислового викиду твердий високодисперсний вуглець, утворюється при неповному згоранні або термічному розкладанні вуглеводнів.

Чорний вуглець є основним компонентом $PM_{2.5}$ та важливим чинником у зміні клімату. Відомий як «короткотривалий забруднювач», чорний вуглець знаходиться в атмосфері менший період часу, ніж чадний газ. Незважаючи на короткий період знаходження в атмосфері, чорний вуглець є одним з головних чинників глобального потепління, одразу після CO_2. Також доведено, що він впливає на зниження врожайності та прискорює танення льодовикових шапок.

Приземний або тропосферний озон (O_3) є одним з основних компонентів фотохімічного смогу та ключовою загрозою здоров'ю. Його пов'язують з проблемами дихання, астмою, пригніченою функцією легень та захворюваннями дихальних шляхів. Це другорядний забруднювач, тобто він не викидається напряму, а є результатом хімічних реакцій. Він з'являється, коли моноксид вуглецю (CO), метан або інші леткі органічні сполуки окислюються в присутності двоокису азоту (NO_2) та сонячного світла. На додачу до виділення озону, CO, леткі органічні сполуки та NO_2 самі є небезпечними забруднювачами атмосферного повітря. Основними джерелами летких органічних сполук та NO_2 є вихлопи від автотранспорту, промислові підприємства та хімічні розчинники. Джерелами метану є відходи, спалювання корисних копалин та сільське господарство. Окрім негативного впливу на здоров'я людини, тропосферний озон є короткотривалим забруднювачем атмосфери та одним з найважливіших парникових газів.

Двоокис азоту (NO_2), в основному, виділяється завдяки виробленню електроенергії, промисловості та автотранспорту. Він є важливою складовою PM та озону. Існують докази, що зокрема двоокис азоту може погіршувати симптоми бронхіту та астми а також призводити до респіраторних інфекцій та пригніченню функції та розвитку легень. Також докази наводять на те, що NO_2 може бути чинником деяких інших захворювань, які пов'язують з передчасною смертністю, серцево-судинними хворобами та захворюваннями дихальних шляхів.

Значний негативний вплив на здоров'я також спричиняють такі забруднювачі, як *NO та* NO_2, які найчастіше знаходяться в атмосфері разом, тому доцільно описати їх комбінований ефект на здоров'я людини. За своїми властивостями NO у високих концентраціях у атмосфері може знаходитися лише в безпосередній близькості до джерела викидів. Переважна більшість оксидів

азоту, близько 90%, утворюються як NO, це здебільшого викиди від згоряння палива в автотранспорті та на об'єктах теплоенергетики. NO_2 складає решту 10%. Далі, в результаті хімічних перетворень, вивільнений NO перетворюється на NO_2, що є значно шкідливішою речовиною. NO – це газ без кольору та майже без запаху. Спершу його важко помітити, адже він не викликає подразнення слизових оболонок очей чи дихальних шляхів, але при потраплянні в організм, NO вступає у реакцію з гемоглобіном крові. Результатом реакції є нестійка сполука, що швидко формує варіант гемоглобіну – метгемоглобін, через що Fe^{2+} перетворюється на Fe^{3+}. В результаті транспортувальна функція крові різко знижується, адже трьохвалентне залізо Fe^{3+} не має змоги зв'язуватися з молекулою кисню та переносити її від легень до тканин та органів. Смертельна концентрація метгемоглобіну в крові – приблизно 60-70%.

Двоокис азоту NO_2 – сполука бурого кольору, газ з характерним різким запахом, сильно подразнює слизові оболонки носоглотки та легень, є сильною отруйною речовиною. Викликає різку реакцію організму та має сильний негативний ефект. Поріг виявлення двоокису азоту – концентрація 0,23 мг/м^3. При такій концентрації людина відчуває різкий неприємний запах. Протягом приблизно 10 хвилин здатність відчувати його запах поступово зникає. Отже, при продовженому контакті з подразником NO_2 притупляє відчуття запахів.

Негативний вплив NO_2 на здоров'я характеризується тим, що він чинить сильний руйнівний ефект на дихальні шляхи. Люди, які знаходяться у постійному контакті з забруднювачем NO_2, частіше хворіють на гострі інфекційні захворювання верхніх дихальних шляхів, а також бронхіти або пневмонії, що особливо небезпечно у період пандемії. Також, при вдиханні двоокису азоту відбувається реакція з утворенням азотної кислоти, яка руйнує стінки альвеол у легенях. Через це у легені можуть потрапляти складові крові, які утворюють піну, що перешкоджає нормальній функції легень. Такий процес найчастіше є смертельним. Продовжений контакт з оксидами азоту спричиняє розширення клітин у корінцях бронхів, зменшення здатності протистояти бактеріальним інфекціям і розширення альвеол. За деякими даними, вчені вважають, що можна пов'язати підвищений рівень NO_2 в приземному шарі атмосфери з підвищеними показниками смертності від серцево-судинних та ракових захворювань. Особливо вразливими до впливу NO_2 є люди з хронічними хворобами дихання (емфізема, астма) та серцево-судинної системи.

Двоокис сірки (SO_2) здебільшого з'являється в результаті спалювання корисних копалин (вугілля та нафти) та плавлення мінеральних руд, що містять сірку. Контакт з SO_2 впливає на дихальну систему та роботу легень та викликає подразнення слизової оболонки очей. Запалення дихальних шляхів, спричинене SO_2, може погіршити астму та хронічні бронхіти а також підвищує ризик інфекції, що призводить до збільшення госпіталізації. SO_2 також поєднується з водою у повітрі та утворює сірчану кислоту – основний компонент кислотних дощів.

CO – це газ без запаху та кольору, який при високій концентрації може бути шкідливий для людини. Він зменшує концентрацію кисню у кровотоці. Хоча висока концентрація CO є більшим ризиком у приміщеннях, рівні зовнішнього

забруднення, особливо в країнах, що розвиваються, можуть бути доволі високими. Нові дослідження також свідчать, що довгостроковий контакт з СО навіть у низьких концентраціях може спричиняти широкий діапазон негативних наслідків для здоров'я людини. Головними джерелами СО в атмосфері є вихлопи автомобілів та спалювання корисних копалин.

В широкому сенсі для усього людства кроками для покращення стану якості атмосферного повітря можна виділити:

• зменшення викидів забруднюючих речовин промисловими підприємствами через впровадження технологій фільтрації повітря;

• поступова відмова від нафтопродуктів;

• покращення системи поводження з твердими побутовими відходами та іншими видами сміття;

• розвиток зеленої та атомної енергетики;

• продовження розвитку, прийняття та втілення в життя екологічних законодавчих ініціатив;

• розробка та впровадження комплексних екологічних альтернатив для населення (безвідходна оселя, сонячні батареї для побутового споживача, тощо).

Критерії санітарно-гігієнічного оцінювання якості атмосферного повітря

Санітарно-гігієнічне оцінювання якості атмосферного повітря здійснюють, дотримуючись таких необхідних вимог:

- допустимою може бути тільки така концентрація, яка не спричиняє прямої, побічної шкідливої або неприємної дії на людський організм, не знижує працездатності, не впливає на настрій, забезпечує фізіологічний оптимум життя;

- звикання до забруднюючих речовин є неприйнятним і концентрація, яка може його викликати, не допускається;

- недопустимі такі концентрації забруднюючих речовин, які негативно впливають на рослини, клімат, прозорість атмосфери.

Якість атмосферного повітря – сукупність властивостей повітря, яка визначає ступінь впливу фізичних, хімічних і біологічних факторів на людей, рослинний та тваринний світ, а також на матеріали, конструкції і довкілля загалом.

Основним санітарно-гігієнічним нормативом якості атмосферного повітря в Україні є граничнодопустима концентрація (*ГДК*, мг/м^3) забруднюючої речовини в атмосферному повітрі.

ГДК – це максимальна концентрація, при дії якої протягом усього життя людини не виникає прямого або опосередкованого несприятливого впливу на теперішнє і майбутнє покоління, не знижується працездатність людини, не погіршується її самопочуття та санітарно-побутові умови життя.

За прямої дії забруднювача людина відчуває загальне погіршення стану здоров'я, яке виражається різними симптомами. Накопичення в організмі забруднюючих речовин понад визначену дозу може спричиняти патологічні зміни окремих органів або організму в цілому. Опосередковано впливають такі зміни і на довкілля: вони не діють на живі організми, але погіршують звичні

умови життєдіяльності (пошкоджують зелені насадження, збільшують кількість туманних днів тощо).

Чим шкідливіша забруднююча речовина, тим складніше захистити від неї атмосферне повітря, отже її *ГДК* нижча.

Між концентрацією забруднюючої речовини (C, мг/м^3) і *ГДК* існує таке співвідношення:

$$C \le ГДК.$$

Доволі важливим питанням кількісної оцінки стану навколишнього середовища є оцінка комбінованої дії забруднюючих речовин. Наприклад, визначено, що за одночасного вмісту в атмосферному повітрі декількох забруднюючих речовин однонаправленого впливу сума відношень фактичної концентрації кожної з них (C_1, C_2, …, C_n) до їхньої *ГДК* (*ГДК*$_1$, *ГДК*$_2$, …, *ГДК*$_n$) не повинна перевищувати одиниці:

$$C_1/ГДК_1 + C_2/ГДК_2 + ... + C_n/ГДК_n \le 1.$$

Ефектом сумації, наприклад, володіють фенол і двоокис сірки; двоокис сірки і двоокис азоту; двоокис сірки і сірководень; озон, двоокис азоту і формальдегід тощо.

Дуже шкідливою є сумарна дія таких забруднювачів, як сірчаний газ, двоокис азоту, фенол, аерозолі, сірчана (H_2SO_4) та фтористоводнева (HF) кислоти.

Якщо сумарна концентрація забруднюючих речовин перевищує одиницю, то кажуть, що санітарний стан не відповідає нормативним вимогам.

В залежності від часу впливу розрізнюють такі показники:

- *ГДК*$_{мр}$ – граничнодопустима максимально разова концентрація хімічної речовини, мг/м^3. Ця концентрація при вдиханні протягом 20-30 хвилин не повинна викликати рефлекторних реакцій в організмі людини (відчуття запаху, світлової чутливості, біоелектричної активності головного мозку). Максимально разові *ГДК* застосовують під час оцінювання умов праці у забруднених приміщеннях;

- *ГДК*$_{сд}$ – граничнодопустима середньодобова концентрація хімічної речовини, мг/м^3. Це середньоарифметичне значення разових концентрацій у пробах атмосферного повітря впродовж 24 годин безперервно або з рівними інтервалами між відборами. Середньодобову *ГДК* встановлюють для запобігання негативному впливу на людський організм протягом цілодобового використання повітря. Ця концентрація не повинна чинити на людину прямого або непрямого шкідливого впливу при невизначено довгому впливі (місяці, роки). *ГДК*$_{сд}$ – це характеристика небезпечності забруднюючої речовини, встановлена для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного та інших впливів речовин на організм людини. Речовини ,які оцінюють за цим нормативом, здатні тимчасово або постійно накопичуватися в організмі людини.

ГДК$_{мр}$ встановлюють для промислових підприємств, а *ГДК*$_{сд}$ – для зон житлової забудови. Різниця між цими показниками зумовлена тим, що на підприємствах до роботи допускають, зазвичай, здорових людей, які пройшли медичний огляд і стійкіші до дії на організм забруднюючих речовин. Отже

$ГДК_{мр}$ більші, ніж $ГДК_{сд}$;

- $ГДК_{рз}$ – граничнодопустима концентрація хімічної речовини в робочій зоні, мг/м^3. Це концентрація ,яка за щоденного 8-годинного перебування на робочому місці (але не більше 41 години на тиждень) протягом усього робочого стажу не повинна викликати захворювань чи відхилень у стані здоров'я людей в процесі роботи або у віддалені терміни життя для нинішнього та наступного поколінь. $ГДК_{рз}$ встановлюють для тих сполук, вміст яких у повітрі може спричинити негативні наслідки для здоров'я працюючих.

Робочою зоною вважається простір висотою до 2 м над рівнем підлоги або майданчика, на якій знаходяться місця постійного або тимчасового перебування працюючих.

На основі *ГДК* інженерні служби розраховують розміри граничнодопустимих викидів (*ГДВ*) забруднюючих речовин в атмосферу, які потрібні для забезпечення на практиці дотримання вимог гігієнічних нормативів. *ГДВ* встановлюються для кожного стаціонарного джерела викидів на рівні, при якому ці викиди не призведуть до перевищення *ГДК* відповідних речовин в атмосферному повітрі. Проте норми *ГДВ*, порівняно з *ГДК*, вважаються другорядними. Як правило, там, де їх дотримання потребує істотних капітальних витрат, застосовують норматив тимчасово узгоджених викидів (*ТУЗ*).

Якщо атмосфера забруднена речовинами, для яких *ГДК* не визначено, впроваджуються:

- *орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ)* забруднюючих речовин у повітрі робочої зони, атмосферному повітрі населених місць, які найчастіше визначаються розрахунковим шляхом, виходячи з відомих токсикометричних та фізико-хімічних властивостей речовини на основі кореляційно-регресивної залежності, а також шляхом інтерполяції та екстраполяції;

- *тимчасово допустима концентрація ($ТДК_{рз}$)*, терміном на 2 роки;

- *летальні концентрації*, що викликають при диханні загибель 50% та 100% тварин *($ЛК_{50}$* та *$ЛК_{100}$)*.

В даний час встановлені більше 1300 *ГДК* для забруднюючих атмосферне повітря речовин. Також для атмосферного повітря встановлені *ОБРВ* більш, ніж для 400 забруднюючих речовин. Всього до токсикантів відносять більше 3000 забруднюючих речовин. Гігієнічні *ГДК* встановлюються за принципом охорони здоров'я людини і повинні враховувати віддалені наслідки (мутагенні, канцерогенні тощо).

Для нормування атмосферного повітря розроблено чотири класи небезпеки забруднюючих речовин:

- Надзвичайно небезпечні (бенз(а)пірен, свинець, сполуки ртуті і хрому тощо);
- Високо небезпечні (сірчана кислота, сірководень, двоокис азоту тощо);
- Помірно небезпечні (пил, сажа, цемент тощо);
- Мало небезпечні (оксид вуглецю, бензин, фенол тощо).

Ці класи розроблені для умов безперервного вдихання речовин без зміни їхньої концентрації в часі та встановлюються залежно від норм і показників, зазначених у табл. 1.1. В реальних умовах можливі значні збільшення

концентрацій домішок, що можуть призвести в короткий інтервал часу до різкого погіршення стану людини.

Таблиця 1.1 – Класи небезпеки забруднюючих речовин

Показники	Норми для класів небезпеки			
	I	II	III	IV
ГДК забруднюючих речовин в повітрі робочої зони, мг/м^3	<0,1	0,1-1,0	1,0-10,0	>10,0
Середня смертельна доза, мг/кг: - при введенні в шлунок; - при нанесенні на шкіру	 <15 <100	 15-150 100-500	 151-5000 501-2500	 >5000 >2500
Середня смертельна концентрація в повітрі, мг/м^3	<500	500-5000	5001-50000	>50000
Коефіцієнт можливого інгаляційного отруєння (КМІО)	>300	300-30	29-3	<3
Зона гострої дії	<6,0	6,0-18,0	18,1-54,0	>54,0
Зона хронічної дії	>10,0	10,0-5,0	4,9-2,5	<2,5

У місцях, де розміщені курорти, на територіях санаторіїв, будинків відпочинку і у зонах відпочинку міст з населенням більше 200 тисяч чоловік встановлюються більш суворі нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря (концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі не повинні перевищувати 0,8·*ГДК*).

Ступінь забруднення атмосферного повітря встановлюють з урахуванням кратності перевищення речовин ГДК, їхнього класу небезпеки, допустимої повторюваності концентрації заданого рівня, кількості речовини, яка одночасно присутня в атмосферному повітрі, коефіцієнтів їхньої комбінованої дії.

Санітарні вимоги щодо охорони атмосферного повітря поселень при експлуатації об'єктів, що є джерелами забруднення атмосфери

Керівники (власники) об'єктів, експлуатація яких пов'язана з викидами забруднюючих речовин в атмосферу, зобов'язані:

- здійснювати у встановленому порядку постійний облік і контроль за якісним і кількісним складом забруднюючих речовин – викидів в атмосферне повітря та додержанням нормативів *ГДВ*, визначених проектною документацією;

- забезпечувати виконання власними силами (силами відомства) контролю за станом забруднення атмосферного повітря селитебних територій у зоні впливу викидів об'єкта згідно з діючими стандартами та керівними документами; перелік забруднюючих речовин, періодичність та точки відбору проб повітря необхідно узгоджувати з місцевими органами державного санітарного нагляду; виконання лабораторних досліджень силами лабораторій, не атестованих органами Держстандарту України та МОЗ України у встановленому порядку заборонено;

- систематично передавати відомості щодо характеру, обсягів викидів в

атмосферу та виявлених концентрацій забруднюючих речовин у зоні впливу об’єкта до відповідних органів у порядку, встановленому єдиною системою державного моніторингу навколишнього природного середовища;

- щорічно розробляти та узгоджувати з органами державного санітарного нагляду плани організаційно-технічних та інших заходів, спрямованих на подальше зниження викидів у повітря забруднюючих речовин, забезпечення безперебійної ефективної роботи і підтримання у справному стані споруд, устаткування й апаратури для очищення викидів, вловлювання або знешкодження забруднюючих речовин та контролю за їхньою роботою;

- вживати заходів щодо забезпечення якості атмосферного повітря населених пунктів у зоні впливу об’єкта, не перевищувати гігієнічних нормативів (*ГДК*, *ОБРВ*, *ГДЗ* або *0,8·ГДК*, *0,8·ОБРВ*, *0,8·ГДЗ*);

- організовувати перехід роботи на режим, що забезпечує зниження викидів у періоди несприятливих метеорологічних умов, згідно з технічними рішеннями, передбаченими затвердженими проектами нормативів *ГДВ*;

- узгоджувати з органами державного санітарного нагляду документацію (плани капітальних чи поточних ремонтів, заміни і модернізації устаткування, проекти технічного переоснащення окремих виробничих ділянок, робочі креслення тощо), якою передбачено внесення змін у технологічні процеси чи устаткування з метою збільшення виробничої потужності, інтенсифікації процесів та інших відхилень від затвердженого проекту;

- на об’єктах, які не мають санітарно-захисних зон, забезпечувати виконання робіт з проектування та здійснення заходів щодо їхньої організації, а також благоустрою та озеленення;

- інформувати органи державного санітарного нагляду про всі випадки залпових викидів або інших аварійних ситуацій, які можуть спричинити небезпечне для здоров’я людей забруднення атмосферного повітря в поселенській зоні, мати заздалегідь розроблений комплекс заходів із запобігання подібних ситуацій в майбутньому, а також провадити оперативні роботи з ліквідації причин та наслідків забруднення атмосфери;

- припиняти функціонування об’єкта загалом за постановою відповідного органу державного санітарного нагляду з метою припинення або зменшення шкідливого впливу забрудненого атмосферного повітря на здоров’я людей;

- провадити комплекс заходів, передбачених законодавством, щодо відвернення і зменшення забруднення атмосферного повітря автотранспортними та іншими пересувними засобами та установками, які використовують на об’єкті;

- сплачувати згідно з діючим порядком платежі за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря за встановленими нормативами.

Заборонено збільшення продуктивності технологічних агрегатів, яке супроводжуватиметься зростанням обсягів відхідних газів або концентрацій у них речовин без одночасного збільшення потужності газопиловловлюючих систем чи установок.

Неприпустиме спалювання виробничих відходів, побутового сміття та інших відходів на території об’єктів і населених пунктів; у випадках

технологічної необхідності здійснення спалювання відходів у спеціальних установках та з забезпеченням відповідних повітроохоронних заходів (їхнє розміщення та будівництво на промисловому майданчику припускають лише за погодженням із відповідним органом державного санітарного нагляду).

Заборонені викиди забруднюючих речовин, на які не встановлено *ГДК* чи *ОБРВ*, в атмосферне повітря населених місць у виняткових випадках: коли на діючих об'єктах виявлено такі речовини, їхні викиди тимчасово допускають з дозволу органів державного санітарного та природоохоронного нагляду за наявності офіційних документів, які засвідчують розроблення нормативу в конкретні терміни та вживання заходів на об'єкті щодо його додержання.

Санітарні вимоги щодо охорони атмосферного повітря поселень від забруднення викидами транспортних засобів з двигунами внутрішнього згорання

Обсяги та хімічний склад вихлопних газів автомобілів та інших транспортних засобів, в яких використовують двигуни внутрішнього згорання, повинні відповідати вимогам державних стандартів.

Підприємства, які виробляють чи експлуатують автомобілі та інші транспортні засоби з двигунами внутрішнього згорання, зобов'язані:

- забезпечувати виконання вимог державних стандартів і здійснення контролю за їхнім дотриманням згідно з галузевими інструктивно-методичними документами, погодженими з органами державного санітарного нагляду;
- розробляти та виконувати комплекс заходів, спрямованих на подальше зниження токсичності викидів, переведення транспортних засобів на використання електроенергії або менш токсичні види палива, вдосконалення технології транспортування і зберігання палива, забезпечення постійного контролю за його якістю, вдосконалення роботи контрольно-регулювальних та діагностичних пунктів з перевірки вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах тощо.

Передпроектна та проектна документація містобудівного спрямування (схеми районного планування, схеми промвузлів, генеральні плани розвитку міста, проекти планування та забудови населених пунктів тощо), проекти будівництва підприємств та інших об'єктів, до яких зачислено самостійні автотранспортні цехи або автогосподарства, повинні мати окремі підрозділи з обґрунтуванням заходів щодо запобігання забрудненню атмосферного повітря вихлопними газами, серед яких:

- будівництво об'їзних шляхів для винесення потоків транзитного автотранспорту за межі житлової забудови;
- будівництво шляхів-дублерів та швидкісних автомагістралей з мінімальною кількістю перехресть;
- спорудження підземних переходів, мостів, естакад, тунелів, розв'язок на перехрестях доріг з інтенсивним рухом для забезпечення мінімальної кількості зупинок;
- впровадження автоматизованих систем регулювання дорожнього руху за допомогою світлофорів за принципом «зелена хвиля»;

- переведення вулиць з інтенсивним рухом автотранспорту на односторонній рух;

- влаштування у промислово-складських районах, смугах, відведених для залізниць, у низинах, санітарно-захисних зонах, інших нежитлових територіях спеціалізованих автомобільних шляхів переважно для руху вантажних автомобілів;

- виведення з території житлової зони автобаз, автозаправних станцій, авторемонтних майстерень, автопарків, станцій технічного обслуговування та інших автогосподарств;

- розташування в плані населеного пункту швидкісних і спеціалізованих шляхів для руху вантажного автотранспорту з урахуванням напрямів переважаючих вітрів;

- заміна міських автобусних маршрутів на електротранспорт (тролейбус, трамвай);

- розміщення об'єктів комунально-побутового призначення, пов'язаних зі значними вантажними перевезеннями, у безпосередній близькості до магістральних вулиць для скорочення простягання проїздів територією житлової забудови;

- озеленення придорожніх територій (відповідно до нормативних документів, які регламентують будівництво автошляхів у населених пунктах і санітарно-гігієнічні вимоги планування і забудови населених місць);

- створення санітарно-захисних зон від автомагістралей та автошляхів з інтенсивним рухом (згідно з нормативними документами);

- недопущення влаштування зупинок автобусів, інших автотранспортних засобів містких пасажирських перевезень неподалік дитячих, лікувальних, оздоровчих установ;

- раціональна організація уїздів і виїздів з території підприємств та інших об'єктів з метою запобігання їхньому розміщенню поблизу житлових і громадських будівель; обмеження в'їзду у місця відпочинку і туризму;

- забезпечення утримання в належному стані автомобільних шляхів та вуличного покриття.

Ефективність заходів із запобігання забрудненню атмосферного повітря вихлопними газами автомобілів та інших транспортних засобів з двигунами внутрішнього згорання необхідно засвідчувати в проектній документації розрахунками очікуваних приземних концентрацій забруднюючих речовин за затвердженими у встановленому порядку методиками.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

І. Порядок розрахунку комплексного індексу забруднення атмосфери

Для максимально точної оцінки забрудненості повітря був розроблений індекс забруднення атмосфери. Завдяки цьому умовному показнику рівень забруднення повітря визначають за значеннями максимальних і середніх концентрацій домішок. Визначити наскільки забруднена атмосфера можна, скориставшись показниками гранично допустимої концентрації шкідливих домішок на певній території (районі, місті, регіоні, країні тощо).

Екологічна проблема забруднення повітря сильно турбує екологів. Екологічні організації шукають способи вирішення цієї проблеми. Показники індексу забруднення повітря допомагають фахівцям вивчити зв'язок між ступенем забруднення повітря і захворюваністю людей, що живуть на цій території.

Комплексний індекс забруднення атмосфери (ІЗА) застосовується для порівняльної оцінки забрудненості окремих районів, окремо узятих міст зі встановленням їх пріоритетності за рівнем і тенденціями забрудненості. Він є відносним показником, величина якого залежить від концентрації речовини в аналізованій точці, його гранично допустимої концентрації (ГДК) і кількості речовин, що забруднюють атмосферу. Комплексний індекс забруднення атмосфери розраховується на основі даних стаціонарних спостережень з урахуванням всієї номенклатури шкідливих речовин.

Розрахунок індексу забруднення атмосфери заснований на припущенні, що на рівні ГДК всі шкідливі речовини характеризуються однаковим впливом на людину, а при подальшому збільшенні концентрації ступінь їхньої шкідливості зростає з різною швидкістю, яка залежить від класу небезпеки речовини.

1. Розрахунок індексу забруднення атмосфери (ІЗА) окремо взятою речовиною

Для характеристики внеску окремих домішок у загальний рівень забрудненості атмосфери за певний проміжок часу на певній території, а також для порівняння ступеня забруднення атмосфери різними речовинами використовується індекс забруднення атмосфери (ІЗА) окремо взятою речовиною.

ІЗА – кількісна характеристика рівня забрудненості атмосфери окремою домішкою, що враховує різницю в швидкості зростання ступеня небезпечності речовин, приведена до шкідливості сірчистого газу.

Ступінь забрудненості атмосфери однією речовиною виражається в загальному вигляді через парціальний індекс забрудненості (ІЗА), який розраховується за формулою:

$$I_i = \left(\frac{C_i}{ГДК_i} \right)^{a_i}, \qquad (1.1)$$

I_i – індекс забруднення атмосфери (ІЗА) окремо взятою речовиною;

C_i – середня концентрація речовини, мг/м^3;

$ГДК_i$ – середньодобова гранично допустима концентрація речовини (табл. 1.1), мг/м^3;

a_i – безрозмірна константа приведення ступеня шкідливості речовини до шкідливості сірчистого газу.

Середнє значення константи в залежності від класу небезпеки речовини подано в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Значення граничнодопустимих концентрацій та класу небезпеки забруднюючих речовин

Назва забруднюючої речовини	Гранично допустима концентрація, мг/м^3		Клас небезпеки
	максимально разова	середньо добова	
Азоту діоксид	0,2	0,04	3
Ангідрид сірчистий	0,5	0,05	3
Вуглецю оксид	5	3	4
Пил неорганічний	0,15	0,05	3
Сірководень	0,008	-	2
Свинець і його сполуки	0,001	0,0003	1
Спирт гексиловий	0,8	0,2	3
Спирт октиловий	0,6	0,2	3
Фенол	0,01	0,003	3
Формальдегід	0,035	0,003	2

Таблиця 1.2 – Середнє значення константи в залежності від класу небезпеки речовини

Клас небезпеки	Ступінь небезпечності	Величина a_i
I	Надзвичайно небезпечні	1,7-1,5
II	Високо небезпечні	1,3
III	Помірно небезпечні	1,0
IV	Мало небезпечні	0,9-0,85

2. Розрахунок комплексного індексу забрудненості атмосфери за декількома речовинами

а) для формування звітів і оглядів стану забрудненості атмосфери міста використовують комплексний індекс забруднення атмосфери – КІЗА – як кількісну характеристику рівня забрудненості атмосфери, що утворюється n речовинами, присутніми одночасно в атмосфері:

$$I_n = \sum_{i=1}^{n} I_i \,, \qquad (1.2)$$

I_n – комплексний індекс забруднення атмосфери;

i – домішка;

n – кількість речовин, присутніх у повітрі міста.

За значенням I_n виділяють такі рівні забрудненості атмосфери:

• <2,5 – чиста атмосфера;

• 2,5-7,5 – слабо забруднена;

• 7,5-12,5 – забруднена;

• 12,5-22,5 – сильно забруднена атмосфера;

• 22,5-52,5 – високо забруднена;

• >52,5 – екстремально забруднена атмосфера.

б) для порівняння рівнів забрудненості атмосфери в різних містах або регіонах і встановлення пріоритетних переліків міст з найвищим рівнем

забруднення використовують комплексний індекс забруднення атмосфери пріоритетними речовинами – КІЗА – кількісну характеристику рівня забрудненості атмосфери пріоритетними речовинами (як правило, їх п'ять), що формують стан атмосферного повітря в місті:

$$I_L = \sum_{i=1}^{L} I_i \,, \qquad (1.3)$$

I_L – комплексний індекс забруднення атмосфери;

i – домішка;

L – п'ять пріоритетних речовин, присутніх у повітрі міста.

За значенням I_L виділяють такі рівні забрудненості атмосфери:

- <5 – низький;
- 5-6 – підвищений;
- 7-13 – високий;
- >14 – дуже високий.

II. Порядок визначення ймовірних змін у стані здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря

За визначенням ВООЗ: «Здоров'я – це стан повного соціального, біологічного та психологічного благополуччя, коли функції всіх органів і систем урівноважені з навколишнім середовищем, відсутні якісь захворювання, хворобливі стани та фізичні дефекти».

У формуванні рівня здоров'я населення, як якісного показника популяційного здоров'я, велику роль відіграють фактори ризику, тобто додаткові несприятливі впливи на організм, які підвищують ймовірність виникнення захворювання чи настання смерті; інтенсивність їх різна і коливається в значних межах.

Фактором ризику, безумовно, можна вважати довготривале забруднення атмосферного повітря.

Відомо, що довготривале забруднення атмосферного повітря SO_2, CO, CO_2, NO_2 викликає підвищення загального рівня захворюваності населення, обумовлених ураженням окремих органів та систем, а саме: дихальної системи (пневмонії, бронхіти, бронхіальна задуха), серцево-судинної системи (гіпертонічна хвороба, інфаркт міокарда), хронічні хвороби.

Спостерігається при сумарному забрудненні атмосферного повітря в:

5 ГДК – підвищення рівня захворюваності; збільшення числа дітей з хронічними захворюваннями;

10 ГДК – збільшення числа хронічних захворювань серед дітей і дорослих;

20 ГДК – суттєве поширення ішемічної хвороби серця, ГРВІ та грипом.

Дослідження впливу забруднювачів атмосферного повітря на стан здоров'я населення є одним з пріоритетних напрямків розвитку профілактичної медицини та медичної екології. Методи визначення очікуваного стану здоров'я населення в залежності від забруднення атмосферного повітря використовують для аналізу впливу несприятливої екологічної ситуації на рівень популяційного здоров'я населення, підготовки та впровадження ефективних заходів щодо захисту

середовища існування людей.

Оцінка забруднення атмосферного повітря проводиться з урахуванням кратності перевищення показників забруднення (ПЗ) їх нормативного значення (ГДЗ) і включає визначення рівня забруднення (допустимий, недопустимий) та ступінь його небезпечності (безпечний, слабко небезпечний, помірно небезпечний, небезпечний, дуже небезпечний) згідно з табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Орієнтовна шкала оцінки якості здоров'я населення в залежності від стану атмосферного повітря

Рівень забруднення	Ступінь небезпеки	Кратність перевищення ГДЗ	Очікуваний стан здоров'я	
			Зміни в стані здоров'я	Нозологічні форми ймовірних захворювань
Допустимий	Безпечний	менше 1	Негативні впливи на стан здоров'я відсутні	
Недопустимий	Слабко небезпечний	1-2	Зміни у імунологічних, біохімічних, фізіологічних показниках стану здоров'я	Запалення верхніх дихальних шляхів, вазомоторний риніт, синусит, ларинготрахеїт, бронхіт, алергічний дерматит, кон'юнктивіт
Недопустимий	Помірно небезпечний	2-4,4	Статистично значимі зміни показників гострої захворюваності населення	Гострий бронхіт, альвеоліт, поліневрит, ішемічна хвороба серця, гіпертонічна хвороба
Недопустимий	Небезпечний	4,5-8	Статистично значимі зміни показників хронічної захворюваності населення	Хронічні бронхіт, фарингіт, бронхіальна астма, емфізема легень, міокардіодистрофія
Недопустимий	Дуже небезпечний	більше 8	Ріст специфічної та неспецифічної захворюваності, кількості випадків гострих отруєнь	Хронічні захворювання верхніх дихальних шляхів, емфізема легень, безпліддя, рак легень тощо

Кратність перевищення значення сумарного показника забруднення сумішшю речовин нормативного значення граничнодопустимого навантаження атмосферних забруднень на стан здоров'я населення (*К*) розраховується за формулою:

$$К = \frac{\sum ПЗ}{ГДЗ}, \quad (1.4)$$

$\sum ПЗ$ – сумарний показник забруднення атмосферного повітря, %;

ГДЗ – граничнодопустиме забруднення, яке є інтегральним критерієм

оцінки якості атмосферного повітря, %.

За умов присутності в атмосферному повітрі декількох речовин, здатних до ефекту сумації, сумарний показник забруднення ∑ПЗ розраховується за формулою:

$$\sum_{i=1}^{n} ПЗ = \left(\frac{C_1}{ГДК_1 \cdot k} + \frac{C_2}{ГДК_2 \cdot k} + \frac{C_3}{ГДК_3 \cdot k} + ... + \frac{C_n}{ГДК_n \cdot k} \right) \cdot 100\%, \%, \quad (1.5)$$

C_1, C_2, C_3, C_n – значення фактичних концентрацій речовин, які входять до складу суміші, мг/м^3;

$ГДК_1$, $ГДК_2$, $ГДК_3$, $ГДК_n$ – значення граничнодопустимих концентрацій відповідних забруднюючих речовин, які входять до складу суміші, мг/м^3;

k – коефіцієнт, який враховує клас небезпечності речовини:

• k для 1 класу небезпечності дорівнює 0,8;
• k для 2 класу небезпечності дорівнює 0,9;
• k для 3 класу небезпечності дорівнює 1,0;
• k для 4 класу небезпечності дорівнює 1,1.

ГДЗ розраховується за формулою:

$$ГДЗ = К_{к.д.с.} \cdot 100\%, \%, \quad (1.6)$$

$К_{к.д.с.}$ – коефіцієнт комбінованої дії речовин, які присутні сумісно, що розраховується за формулою:

$$К_{к.д.с.} = \sqrt{\sum \left((К_{к.д.1})^2 + (К_{к.д.2})^2 + (К_{к.д.3})^2 + ... + (К_{к.д.n})^2 + m \right)}, \quad (1.7)$$

$К_{к.д.1}$, $К_{к.д.2}$, $К_{к.д.3}$, $К_{к.д.n}$ – коефіцієнти комбінованої дії домішок атмосферного повітря, які присутні сумісно (офіційні переліки ГДК забруднювачів атмосферного повітря населених міст), величини яких наведено в Додатку А;

m – кількість речовин у суміші, значення $К_{к.д.}$ яких відсутні в офіційних списках.

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Завдання 1

- розрахувати величину комплексного індексу забруднення атмосфери (КІЗА);
- встановити рівень забрудненості атмосферного повітря;
- визначити пріоритетні забруднюючі речовини, що й формують цей рівень.

Варіанти вихідних даних для розрахунку наведено в табл. 1.4.

Завдання 2

- визначити ГДК та класи небезпеки речовин за «Гігієнічні регламенти. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць» (Значення гранично допустимих концентрацій із зазначенням виду ГДК (максимально-разові або середньодобові) та класу небезпеки речовин (1-4)). Результат занести в таблицю.

Забруднююча речовина	Фактична концентрація забруднюючої речовини в атмосферному повітрі, мг/м^3	ГДК, мг/м^3	Клас небезпеки

- розрахувати сумарний показних фактичного забруднення ($\sum ПЗ$) атмосферного повітря;

- розрахувати коефіцієнт комбінованої дії речовин, які присутні сумісно ($K_{к.д.с.}$);

- розрахувати граничнодопустиме забруднення (*ГДЗ*) атмосферного повітря;

- розрахувати кратність перевищення ГДЗ (*К*) та зробити висновок про очікуваний стан здоров'я населення.

Варіанти вихідних даних для розрахунку наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Варіанти вихідних даних для розрахунку

Забруднююча речовина	Значення фактичних концентрацій забруднюючих речовин, що входять до складу суміші, мг/м^3, за варіантом						
	1	2	3	4	5	6	7
Азоту двоокис	0,083	0,087	0,093	0,097	0,103	0,107	0,113
Ангідрид сірчистий	0,076	0,083	0,077	0,084	0,078	0,086	0,079
Вуглецю оксид	3,61	3,66	3,56	3,73	3,67	3,57	3,63
Пил неорганічний	0,22	0,18	0,205	0,24	0,225	0,185	0,215
Сірководень	0,041	0,037	0,046	0,042	0,038	0,047	0,043
Свинець і його сполуки	0,0026	0,003	0,0022	0,0032	0,0027	0,0023	0,0034
Спирт гексиловий	0,66	0,7	0,62	0,73	0,67	0,71	0,63
Спирт октиловий	0,46	0,42	0,51	0,47	0,43	0,52	0,48
Фенол	0,0028	0,0024	0,0032	0,0035	0,0025	0,0029	0,0033
Формальдегід	0,028	0,034	0,024	0,032	0,029	0,025	0,033

продовження табл. 1.4

Забруднююча речовина	Варіант						
	8	9	10	11	12	13	14
Азоту двоокис	0,117	0,123	0,127	0,133	0,137	0,143	0,147
Ангідрид сірчистий	0,087	0,08	0,088	0,082	0,089	0,083	0,091
Вуглецю оксид	3,68	3,58	3,64	3,69	3,59	3,62	3,71
Пил неорганічний	0,175	0,23	0,19	0,2	0,165	0,235	0,195
Сірководень	0,039	0,048	0,044	0,04	0,049	0,045	0,05
Свинець і його сполуки	0,0029	0,0024	0,0033	0,0031	0,0025	0,0035	0,0028
Спирт гексиловий	0,74	0,68	0,64	0,75	0,69	0,65	0,72
Спирт октиловий	0,44	0,54	0,49	0,55	0,45	0,53	0,5
Фенол	0,0026	0,0036	0,003	0,0037	0,0031	0,0027	0,0034
Формальдегід	0,03	0,026	0,037	0,035	0,031	0,027	0,036

закінчення табл. 1.4

Забруднююча речовина	Варіант					
	15	16	17	18	19	20
Азоту двоокис	0,08	0,105	0,135	0,11	0,09	0,115
Ангідрид сірчистий	0,07	0,092	0,071	0,096	0,072	0,093
Вуглецю оксид	3,65	3,9	3,75	3,6	3,95	4,15
Пил неорганічний	0,265	0,245	0,29	0,27	0,25	0,295
Сірководень	0,059	0,063	0,055	0,066	0,06	0,056
Свинець і його сполуки	0,0016	0,001	0,0014	0,0019	0,0011	0,0021
Спирт гексиловий	0,54	0,57	0,5	0,55	0,59	0,51
Спирт октиловий	0,27	0,22	0,25	0,61	0,23	0,28
Фенол	0,0042	0.0038	0,0045	0,0043	0,0039	0,0048
Формальдегід	0,016	0,012	0,02	0,017	0,013	0,021

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Назвати основні джерела забруднення атмосферного повітря.
2. На які хвороби підвищується рівень захворюваності при забрудненні атмосферного повітря?
3. Формальдегід. Його характеристика та вплив на стан здоров’я людини.
4. Тверді пилові частинки. Їхня характеристика та вплив на стан здоров’я людини.
5. Двоокис азоту. Його характеристика та вплив на стан здоров’я людини.
6. Двоокис сірки. Його характеристика та вплив на стан здоров’я людини.
7. Дати визначення якості атмосферного повітря.
8. Надати визначення ГДК.
9. Надати визначення $ГДК_{мр}$.
10. Надати визначення $ГДК_{сд}$.
11. Надати визначення $ГДК_{рз}$.
12. Надати визначення ОБРВ. В яких випадках його застосовують?
13. Які існують санітарні вимоги щодо охорони атмосферного повітря поселень при експлуатації об’єктів, що є джерелами забруднення атмосфери?
14. Які існують санітарні вимоги щодо охорони атмосферного повітря поселень від забруднення викидами транспортних засобів з двигунами внутрішнього згорання?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ЦИКЛОНА НДІОГазу, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ СУХОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ ВІД ЧАСТИНОК ПИЛУ

Мета роботи: набуття теоретичних знань у сфері технологій захисту атмосферного повітря та здобуття практичних навичок з технологічного розрахунку параметрів відцентрового циклона НДІОГазу, призначеного для

сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.

Завдання:

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи відцентрових циклонів, призначених для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.

2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів відцентрового циклона НДІОГазу, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.

3. Виконати технологічний розрахунок параметрів відцентрового циклона НДІОГазу, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- визначати доцільність використання схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на промислових територіях.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Загальна характеристика конструкцій циклонів

Серед засобів сухого інерційного очищення газових викидів від пилу найбільш поширені циклони, які застосовуються для виділення з газового потоку частинок порівняно великого розміру.

Виділення пилу в циклонах відбувається під дією відцентрових сил, що виникають внаслідок обертання газового потоку в корпусі апарата. Незважаючи на різноманіття конструкцій циклонів, його класичний варіант складається з (рис. 2.1): циліндричної частини *3* з кришкою і тангенціальним патрубком для введення запиленого газу *1*; конічної частини *4* з патрубком для відведення пилу; центральної трубки з патрубком *2* для відведення очищеного газу; збірника пилу *5*.

Запилений газ надходить у циклон по тангенціально розташованому патрубку *1* зі швидкістю 14-25 м/с, внаслідок чого він набуває обертального руху. Здійснив 2-3 оберти в кільцевому зазорі між циліндричною частиною *3* і вихлопною трубою *2*, газ гвинтоподібно опускається донизу, причому в конічній частині апарату *4*, внаслідок зменшення діаметру, швидкість обертання потоку збільшується. Під дією відцентрової сили частинки пилу відкидаються до стінок циклону, завдяки чому основна маса пилових часточок зосереджується в потоці газу, що рухається в безпосередній близькості від стінок апарату.

Залежно від якостей пилу і його дисперсного складу та вимог до очищення газу циклони застосовуються як апарати першого ступеня очищення або в поєднанні з іншими пиловловлювачами.

Вони ефективно вловлюють з газу частинки пилу діаметром 5 мкм і більше. Допустима початкова концентрація пилу в газопиловому потоці, що очищується в циклонах, залежить від якостей забруднених газів, конструкції й розмірів циклона. В середньому вона не повинна перевищувати $400 \cdot 10^{-6}$ кг/м^3.

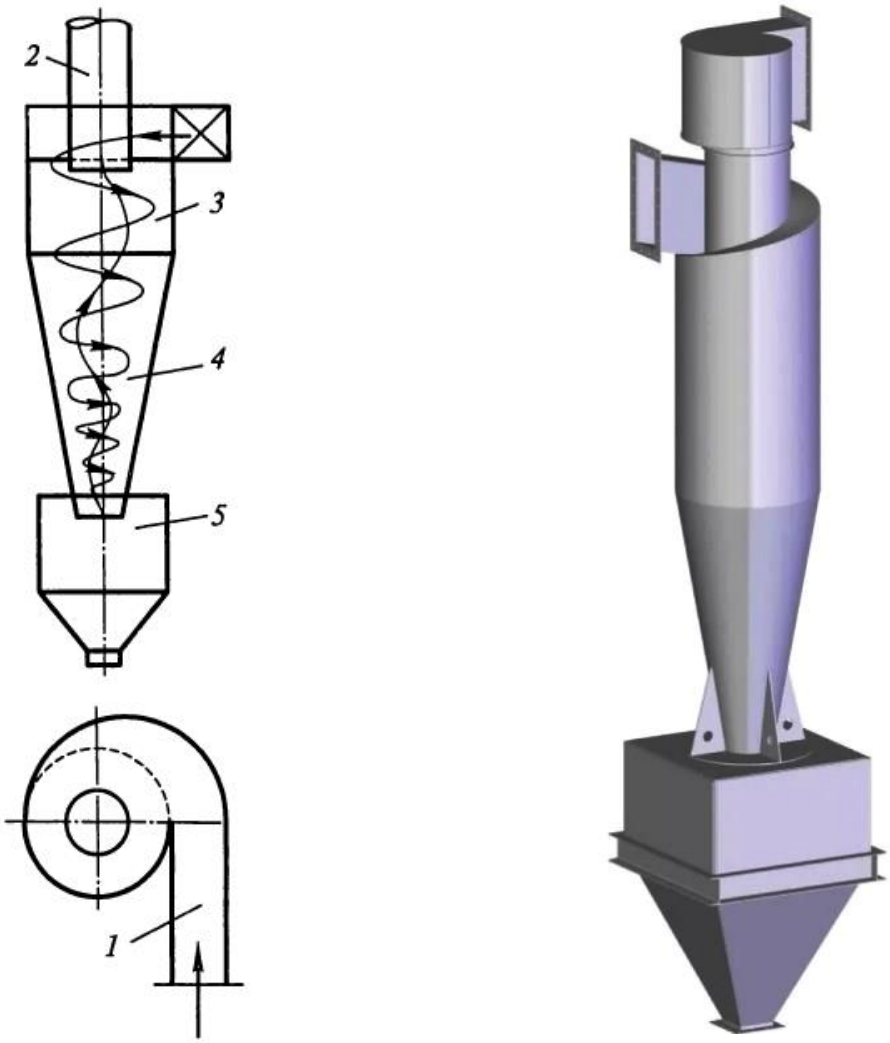


Рисунок 2.1 – Конструктивна схема роботи циклона

1 – вхідний патрубок; 2 – вихідний патрубок; 3 – циліндрична частина; 4 – конічна частина; 5 – збірник пилу

Перевагою циклонів є:

- відсутність рухомих частин в апараті;
- надійне функціонування при температурах газів майже до 500 °С без конструктивних змін;
- пил вловлюється в сухому вигляді;
- стабільна величина гідравлічного опору;
- можливість вловлювання абразивних матеріалів при захисті спеціальним покриттям внутрішньої поверхні;
- простота виготовлення конструкції і можливість ремонту;
- незалежність роботи апарата від тиску газу;
- незалежність фракційної ефективності очищення від зростання запиленості газів;
- висока продуктивність при порівняно низькій вартості.

Недоліком є те, що значний гідравлічний опір 1250-1500 Па високоефективних циклонів призводить до поганого вловлювання частинок розміром менше 5 мкм.

Загальний опір циклонів суттєво знижується при зменшенні закручування газового потоку у вихлопній трубі. Це може бути досягнуто встановленням на вихлопній трубі циклонів різних пристроїв: розкручувачів, дифузорів, «равликів». При цьому опір може бути знижено на 10-13%.

У промисловій практиці прийнято поділяти циклони на високоефективні і високопродуктивні. Апарати першого типу відрізняються більш високою ефективністю очищення, але потребують більших витрат на здійснення процесу. Циклони другого типу мають невеликий гідравлічний опір, відрізняються великою продуктивністю, але гірше вловлюють дрібні часточки.

За формою циклони поділяються на циліндричні (висота циліндричної частини більше висоти конічної) і конічні (висота циліндричної частини менше висоти конічної).

Циклони загального призначення

В різних галузях промисловості залежно від умов виробництва та вимог очищення застосовують циклони різних типів.

До циліндричних відносяться циклони конструкції НДІОгазу ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 (рис. 2.2, *а*). Характерні особливості: наявність подовженої циліндричної частини; кут нахилу кришки і вхідного патрубку дорівнює, відповідно, 11°, 15° і 24°; однакове співвідношення діаметру вихлопної труби до діаметру циклона, що дорівнює 0,59; підведення газу гвинтоподібне.

Площа перетину вхідних патрубків у циклонах ЦН-15, ЦН-24 більша, ніж у циклоні ЦН-11. Відповідно, при однакових діаметрах і однаковому гідравлічному опорі циклони ЦН-15 і ЦН-24 мають більшу пропускну здатність, ніж циклони ЦН-11 (ЦН-24 має більшу пропускну здатність, ніж циклон ЦН-11), але ефективність їх нижча, особливо ЦН-24. Тому циклони ЦН-24 рекомендується застосовувати для очищення газів з частинками пилу діаметром більше 20 мкм. Для тонкого очищення газів від частинок діаметром 5-10 мкм ефективним є використання циклонів типу ЦН-11.

Циклони ЦН-15 і ЦН-15У "вкорочені" (такі циклони використовуються в місцях, де встановлення циклона лімітовано висотою) мають загальнопромислове значення і знаходять широке застосування завдяки оптимальному співвідношенні між гідравлічним опором і ефективністю вловлювання пилу.

Циклони типу ЦН рекомендується використовувати за умов налипання шару пилу в корпусі, а також при підвищеній абразивності пилу.

Для очищення газів від вугільного пилу, золи та злиплого пилу використовуються спірально-конічні циклони СК-ЦН-34 та спірально-довго-конічні циклони типу СДК-ЦН-33 (рис. 2.2, *б*). Ці циклони мають подовжену конічну частину та малий діаметр вхідного патрубка. Цифри "33" та "34" позначають відношення діаметрів вихлопної труби до циліндричної частини корпусу (0,33 та 0,34, відповідно). Спірально-конічні циклони порівняно з циклонами типу ЦН при однаковій продуктивності мають дещо більші розміри та підвищений гідравлічний опір, але характеризуються більшою ефективністю очищення.

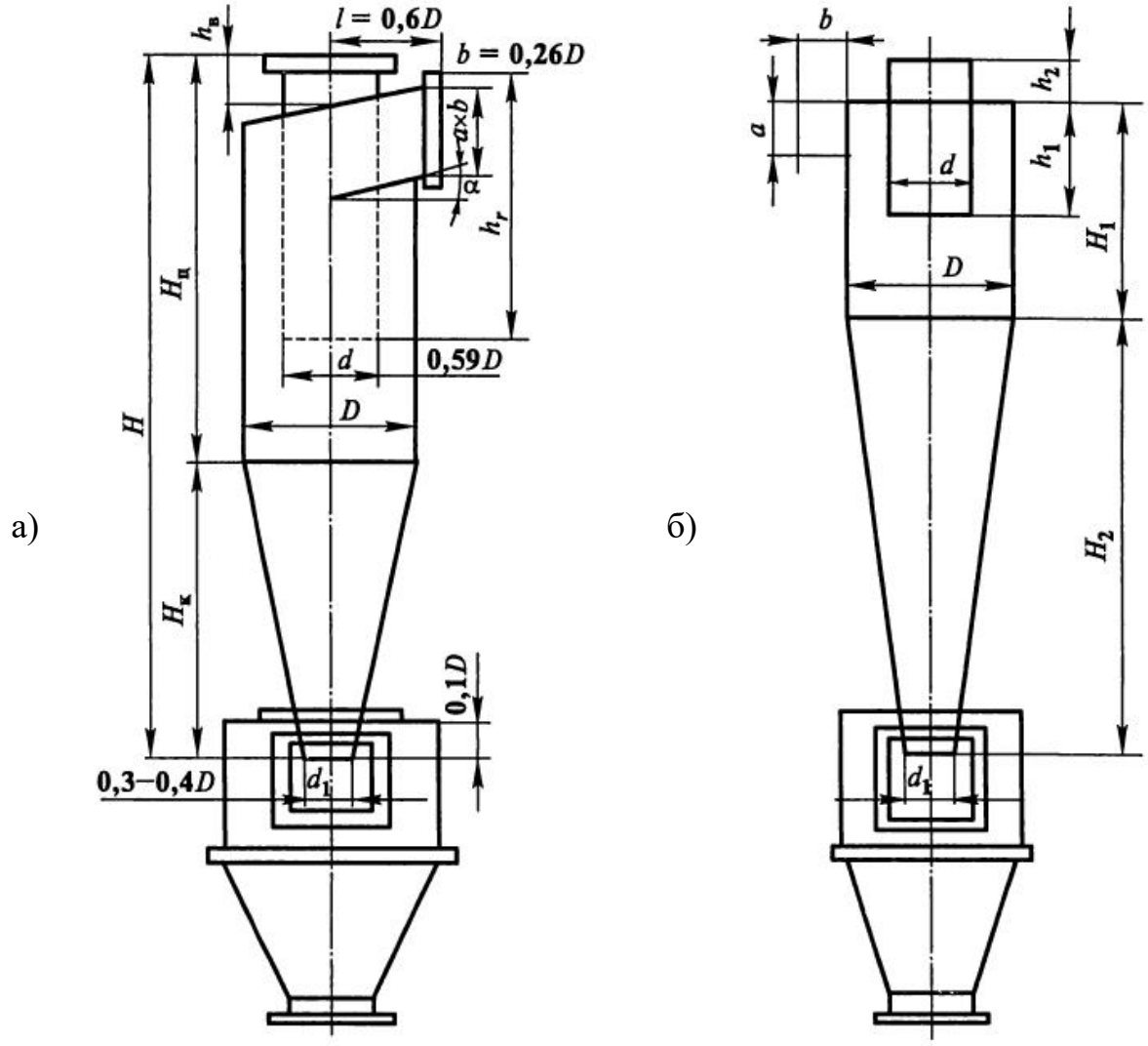


Рисунок 2.2 – Конструктивні схеми циліндричних (а) та конічних (б) циклонів НДІОгазу

Циліндричні циклони відносяться до високопродуктивних апаратів, конічні – до високоефективних. Діаметр циліндричних циклонів зазвичай не перевищує 2000 мм, конічних – 3000 мм.

Конструктивні розміри циліндричних та конічних циклонів беруться в частинах від внутрішнього діаметра *D*. Для циліндричних циклонів ці співвідношення такі:

загальна висота циклона H=(3,31-4,56) D;

висота циліндричної частини $H_ц$=(1,51-2,26) D;

висота конічної частини $H_к$=(1,5-2,0) D;

діаметр вихлопної труби d=(0,22-0,34) D;

діаметр отвору, що відводить пил, d_i=(0,3-0,4) D.

Для всіх одиночних циклонів бункери виконуються циліндричної форми. Діаметри бункера приймаються для циліндричного циклона 1,5 *D*, для конічного – (1,1-1,2) *D*. Висота циліндричної частини бункера приймається рівною 0,8 *D*, днище бункера виконується з кутом стінок 60°.

Фракційна ефективність очищення промислових газів від пилу циклонами конструкції НДІОгазу наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Фракційна ефективність очищення промислових газів від пилу циклонами конструкції НДІОгазу

Тип циклона	Ступінь очищення, %, при діаметрі частинок, мкм					
	2	5	10	20	50	100
СК-ЦН-34	70	92	98	99,8	99,9	99,9
СДК-ЦН-33	65	90	96	99,4	99,9	99,9
ЦН-11	-	75	92	98,8	99,8	99,9
ЦН-15	-	60	87	96,0	99,7	99,9
ЦН-15У	-	58	85	95,0	99,5	99,9
ЦН-24	-	52	80	92,0	99,4	99,9

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Практичні рекомендації щодо вибору відцентрового циклона

Відцентрові циклони є найбільш характерними представниками сухих інерційних пиловловлювачів, які, як правило, мають просту конструкцію, мають велику пропускну здатність і нескладні в експлуатації.

Циклони широко застосовуються для очищення від пилу вентиляційних та технологічних викидів у всіх галузях народного господарства.

На практиці система вловлювання частинок створюється шляхом надання запиленому потоку закрученого чи обертального руху, обмеженого циліндричними стінками. Частинки осідають при відкиданні на стінки.

Циклони прості у виготовленні, надійні в експлуатації при високих тисках і температурах, забезпечують фракційну ефективність очищення на рівні 80-95% від частинок пилу розміром більше 10 мкм. Циклони, в основному, рекомендується використовувати перед високоефективними апаратами пилоочищення (тканинними та електрофільтрами). В ряді випадків циклони забезпечують ефективність очищення, достатню для викиду газів чи повітря атмосферу.

В циклонах можна вловлювати пил крупністю понад 5 мкм. Найбільш ефективно вловлюється пил, що має розміри частинок 15-20 мкм та вище.

Найбільшого поширення серед відцентрових циклонів набули циклони НДІОГазу ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24. Цифрове позначення циклону відповідає куту нахилу кришки апарату та патрубка, що підводить запилений потік.

Циліндричні циклони НДІОГазу призначені для вловлювання сухого пилу аспіраційних систем, золи з димових газів котелень, що працюють на твердому паливі, пилу з сушарок тощо при початковій запиленості від 0,3 до 4000 г/м^3. Надлишковий тиск не повинен перевищувати 2500 Па. Продуктивність циклону залежить від його діаметра. Так, циклони серії ЦН мають продуктивність від 100 до 68000 м^3/годину, гідравлічний опір близько 750 Па та забезпечують ефективність очищення від 81 до 97,5% для пилу з розміром частинок понад

10 мкм. Ефективніше циклони працюють при очищенні від пилу з розміром частинок понад 20 мкм. Ефективність очищення циклонів серії ЦН знижується зі зростанням кута входу в циклон.

В табл. 2.2 наведено геометричні розміри всіх типів циліндричних циклонів НДІОГаз, виражені в частках від внутрішнього діаметра циліндричної частини циклону *D*.

Таблиця 2.2 – Розміри циклонів НДІОГазу

Елементи конструкції (в частках від внутрішнього діаметру циліндричної частини *D*) і коефіцієнт гідравлічного опору ξ	Тип циклона			
	ЦН-15	ЦН-15у	ЦН-24	ЦН-11
Внутрішній діаметр вихлопної труби, *d*	0,59·*D*			
Внутрішній діаметр пиловипускногоотвору, d_1	(0,3-0,4)·*D**			
Ширина вхідного патрубка в циклоні (внутрішній розмір), *b*	0,2·*D*			
Ширина вхідного патрубка на вході (внутрішній розмір), b_1	0,26·*D*			
Довжина вхідного патрубка, *l*	0,6·*D*			
Діаметр середньої лінії циклону, $D_{ср}$	0,8·*D*			
Висота встановлення фланцю, $h_ф$	0,1·*D*			
Кут нахилу кришки та вхідного патрубка циклону, α	15°	15°	24°	11°
Висота вхідного патрубка (внутрішній розмір), $h_п$	0,66·*D*		1,11·*D*	0,48·*D*
Висота вихлопної труби, $h_т$	1,74·*D*	1,51·*D*	2,11·*D*	2,06·*D*
Висота циліндричної частини циклону,$H_ц$	0,26·*D*	0,26·*D*	0,26·*D*	0,26·*D*
Висота конуса циклону, $H_к$	2,0·*D*	1,5·*D*	1,75·*D*	2,0·*D*
Висота зовнішньої частини вихлопноїтруби, $h_в$	0,3·*D*		0,4·*D*	0,3·*D*
Загальна висота циклону, *H*	4,56·*D*	3,31·*D*	4,26·*D*	4,38·*D*
Коефіцієнт гідравлічного опору, віднесений до повного перетину циліндричної частини циклону ξ	105	110	60	180

Примітки: *Більший розмір приймається при малих *D* і великої запиленості.

На підставі матеріалів порівняльних випробувань, циклони НДІОГазу щодо ефективності очищення газів та помірної величини коефіцієнта гідравлічного опору є досить досконалими.

Вибір типу розміру циклону виконується на підставі заданих витрат газу, фізико-хімічних особливостей пилу, необхідного коефіцієнта очищення, габаритів пристрою, експлуатаційної надійності та вартості.

При очищенні великих обсягів газу одиночні циклони типу ЦН-11, ЦН-15,

ЦН-15У, ЦН-24 об’єднуються в групи по 2, 4, 6 та 8 елементів, розташованих в 2 ряди, і по 10, 12 и 14 елементів при круговому компонуванні.

Діаметри циклонів типу ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, об'єднаних у групи з прямокутним компонуванням, не повинні перевищувати 1800 мм, а при круговому компонуванні – 1000 мм.

При запиленості газу об'ємом понад 8000-100000 м^3/годину та за високих вимог до очищення необхідно застосовувати батарейні циклони. Батарейні циклони мають менші габарити, ніж групові, але не потребують для виготовлення великих витрат металу, і вартість.

Циклон ЦН-11, що має найбільшу ефективність і добре пристосований для групової установки, рекомендований для переважного застосування.

При невисоких вимогах до ступеня очищення, а також для очищення газу від пилу із середнім медіанним діаметром >20 мкм краще використання циклонів типу ЦН-15. Вони мають менші габарити та відрізняються більш стійкою роботою при пилу, що здатен до злипання. Доцільно їхнє застосування для пиловловлення в кольоровій та чорній металургії.

Циклони типу ЦН-15У характеризуються низькими техніко-економічними показниками та їх використання може бути виправдане лише у випадках, коли є суворі обмеження габаритів за висотою.

При великих витратах газу та високій концентрації пилу в газовому потоці використовуються циклони типу ЦН-24.

Для зниження витрат тиску в одиночних циклонах типу ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 при вловлюванні пилу, що не злипається, потрібно використовувати регенератори тиску, виконані у вигляді лопаті розкручувачів, що знижують опір апарата на 18-25% без поліпшення якості очищення. В циклонах типу ЦН-24 встановлення розкручувачів сприяє підвищенню ефективності очищення. Для групових циклонів типу ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 рекомендовано застосовувати лише кільцеві дифузори, які дозволяють знижувати опір апаратів на 10-18%.

Для очищення газу від дрібного пилу з медіанним діаметром 5-6 мкм використовують найбільш високоефективні конічні циклони.

До конічних циклонів НДІОГаз належать апарати СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М. Циклони мають подовжену конічну частину та спіральний вхідний патрубок. Можуть мати діаметр конічної частини від 600 до 3600 мм.

Конічні циклони НДІОГазу серії СК призначені для очищення газів відсажі та мають високу ефективність очищення, порівняно з циклонами типу ЦН, що досягається за рахунок їхнього великого гідравлічного опору. Допустима запиленість газу в циклонах до 1000 г/м^3. Температура газу, що очищається, до 250 ^{o}С. Коефіцієнт гідравлічного опору до 1150 Па.

Конічні циклони, маючи таку ж продуктивність, як і звичайні, відрізняються від них великими габаритами і тому їх не застосовують у груповому виконанні.

В табл. 2.3 наведено геометричні розміри всіх типів конічних циклонів НДІОГазу, виражені в частках від внутрішнього діаметра циклону *D*.

Таблиця 2.3 – Співвідношення розмірів (в частках діаметра D) для конічних циклонів НДІОГаз

Найменування	Тип циклона		
	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
Внутрішній діаметр циліндричної частини, D	до 3,6 м		до 4,0 м
Висота циліндричної частини циклону, $H_ц$	0,535·D	0,515·D	0,4·D
Висота конічної частини циклону, $H_к$	3·D	2,11·D	2,6·D
Внутрішній діаметр вихлопної труби, d	0,334·D	0,34·D	0,22·D
Внутрішній діаметр пиловипускного отвору, d_1	0,334·D	0,229·D	0,18·D
Ширина вхідного патрубка в циклоні, b	0,264·D	0,214·D	0,18·D
Висота зовнішньої частини вихлопної труби, $h_в$	(0,2-0,3)·D		0,3·D
Висота встановлення фланцю, $h_ф$	0,1·D		
Висота вхідного патрубка, $h_п$	0,535·D	0,515·D	0,4·D
Довжина вхідного патрубка, l	0,6·D		
Висота заглиблення вихлопної труби, $h_т$	0,535·D	0,515·D	0,4·D
Поточний радіус «равлика», r	$\frac{D}{2}+\frac{b\cdot\varphi}{2\cdot\pi}$	$\frac{D}{2}+\frac{b\cdot\varphi}{\pi}$	

Порядок розрахунку технологічних параметрів відцентрового циклона НДІОгазу, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу

1. Обираємо тип циклона за табл. 2.4. Приймаємо оптимальну швидкість газу $W_{опт}$, м/с, в перетині циклона діаметром D.

2. Розрахунковий діаметр циклона визначається за формулою:

$$D_{розр}=\sqrt{\frac{4\cdot Q}{\pi\cdot N\cdot W_{опт}}}\text{, м,} \qquad (2.1)$$

Q – витрати газоповітряної суміші, що надходить на очищення в циклон, м^3/с; м^3/годину → м^3/с;

N – кількість циклонів, штуки. Первинно при розрахунку приймаємо N=1.

Отримане значення $D_{розр}$ округляється до найближчого стандартного значення внутрішнього діаметра циклона $D_{ст}$.

Для циклонів прийнятий наступний ряд стандартних внутрішніх діаметрів $D_{ст}$, мм: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 та 3000.

Внаслідок зниження ефективності зі збільшенням розмірів застосовувати одиночні циклони типу ЦН діаметром понад 1000 мм не рекомендується. В цьому випадку встановлюють групу циклонів.

Компонування циклонних елементів групи може бути прямокутним (у два паралельних ряди по 2, 4, 6, 8 циклонів) або круговим (по 10, 12, 14 циклонів).

Для обмеження числа типорозмірів групових циклонів, зборку з апаратів з діаметрами 300, 500 і 700 мм рекомендується по можливості не застосовувати (табл. 2.4), а замінювати їх рівноцінними за продуктивністю групами з циклонів

інших діаметрів.

Таблиця 2.4 – Параметри, що визначають ефективність циклонів НДІОГазу

Параметри	Тип циклона						
	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
d_{50}^T, мкм	8,5	6,0	4,5	3,65	2,31	1,95	1,13
$\lg \sigma_\eta^T$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,34
$W_{опт}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Примітки: Значення d_{50}^T, наведені в табл. 3, відповідають наступним параметрам роботи циклона: середня швидкість газу в типовому циклоні W_T=3,5 м/с; діаметр типового циклона D_T=0,6 м; щільність частинок пилу для типового циклона ρ_n^T =1930 кг/м^3; динамічний коефіцієнт в'язкості газу для типового циклона $\mu_г^T$=22,2·10^{-6} $\frac{H \cdot c}{м^2}$ (або Па·с).

Таблиця 2.5 – Рекомендації щодо компонування циклонів ЦН в групи

Діаметр циклона, мм	Кількість циклонів у групі, штуки						
	прямокутне компонування				кругове компонування		
	2	4	6	8	10	12	14
200	П	П	П	П	-	-	-
300	О	О	О	О	-	-	-
400	П	П	П	П	-	-	-
500	О	О	О	О	-	-	-
600	П	П	П	П	П	П	П
700	О	О	О	О	-	-	-
800	П	П	П	П	П	П	П
900	П	П	П	П	-	-	-
1000	П	П	П	П	П	П	П
1200	П	П	-	-	-	-	-
1400	П	П	-	-	-	-	-
1600	П	П	-	-	-	-	-
1800	П	П	-	-	-	-	-

Примітки: П – групи, що рекомендуються для переважного застосування; О – групи обмеженого застосування (за можливості не застосовувати)

3. За обраним діаметром циклона ($D_{ст}$, м) розраховують дійсну швидкість руху газу в циклоні за формулою:

$$W = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot N \cdot \left(D_{ст}\right)^2}, \text{ м/с.} \qquad (2.2)$$

Дійсна швидкість руху газу в циклоні не повинна відхилятися від оптимальної величини більш ніж на 15%, тобто:

$$\Delta W = \left| \frac{W - W_{опт}}{W_{опт}} \right| \cdot 100\% \le 15\%.$$

При відхиленні ΔW більш, ніж на 15% обирають інший тип циклона і знов виконують розрахунок.

4. Визначаємо гідравлічний опір обраного типу циклона ΔP, Па.

Для циклонів НДІОГазу (одиночних або групових) вводять уточнюючі поправки. Гідравлічний опір таких циклонів визначається за формулою:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho_г \cdot (W)^2}{2}, \text{ Па}, \qquad (2.3)$$

$\rho_г$ – щільність газу за робочих умов, кг/м^3, що визначається методом інтерполяції в залежності від значення заданої температури газоповітряної суміші за табл. 2.6;

Таблиця 2.6 – Значення щільності та коефіцієнта динамічної в'язкості повітря в залежності від температури газоповітряної суміші

$t_г$, ^{0}C	$c_г$, кг/м^3	$м_г \cdot 10^{-6}$, Па·с		$t_г$, ^{0}C	$c_г$, кг/м^3	$м_г \cdot 10^{-6}$, Па·с		$t_г$, ^{0}C	$c_г$, кг/м^3	$м_г \cdot 10^{-6}$, Па·с
0	1,293	15,802		90	0,984	19,961		180	0,78	23,71
10	1,252	16,287		100	0,957	20,396		190	0,763	24,106
20	1,213	16,767		110	0,931	20,826		200	0,746	24,497
30	1,175	17,24		120	0,906	21,251		250	0,672	26,401
40	1,14	17,707		130	0,883	21,672		300	0,612	28,222
50	1,105	18,169		140	0,86	22,088		350	0,564	29,971
60	1,073	18,625		150	0,839	22,5		400	0,524	31,656
70	1,042	19,075		160	0,818	22,907		450	0,49	33,282
80	1,012	19,521		170	0,799	23,311		500	0,46	34,857

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору, що відповідає заданому типу одиночного циклона та розраховується за формулою:

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500}^{c(n)} + K_3, \text{ Па}, \qquad (2.4)$$

$\xi_{500}^{c(n)}$ – коефіцієнт гідравлічного опору одиночного циклона діаметром 500 мм, обраний табл. 2.7. Індекс «с» означає, що циклон працює в гідравлічній мережі, а індекс «n» – без мережі, тобто працює прямо на вихлоп в атмосферу;

K_1 – поправочний коефіцієнт на діаметр циклона, значення якого обирається за табл. 2.8;

K_2 – поправочний коефіцієнт на запиленість газу, значення якого обирається за табл. 2.9;

K_3 – коефіцієнт, що враховує додаткові втрати тиску, пов'язані з компонуванням циклонів у групу, значення якого обирається за табл. 2.10. Для одиночних циклонів ЦН коефіцієнт K_3=0.

Отримане значення ΔP порівнюємо з допустимим (ΔP не повинно перевищувати 2500 Па).

Таблиця 2.7 – Значення коефіцієнта гідравлічного опору при D=500 мм та W=3 м/с

Тип циклона	d/O	без додаткового пристрою		з кільцевим дифузором		з вихідним «равликом»	з відхиленням 90° R/d=1,5	
		$\xi_ц^c$	$\xi_ц^n$	$\xi_ц^c$	$\xi_ц^n$		$\frac{l}{d}=0-12$	$\frac{l}{d}>12$
ЦН-11	0,59	245	250	207	215	235	245	250
ЦН-15	0,59	155	163	132	140	150	155	160
ЦН-15У	0,59	165	170	140	148	158	165	170
ЦН-24	0,59	75	80	64	70	73	75	80
СДК-ЦН-33	0,33	520	600	64	70	500	75	560
СК-ЦН-34	0,34	1050	150	64	70	500	75	560
СК-ЦН-34М	0,22	1050	2000	64	70	500	75	560

Таблиця 2.8 – Значення поправочного коефіцієнта K_1 для циклона діаметром $D_{ст}$

Діаметр циклона $D_{ст}$, мм	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М
150	0,94	0,85	1,0
200	0,95	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0
≥500	1,0	1,0	1,0

Таблиця 2.9 – Значення поправочного коефіцієнта K_2 в залежності від вхідної концентрації пилу $C_{вх}$

Тип циклона	Значення поправочного коефіцієнта K_2 при початковій концентрації пилу в газі $C_{вх}$, г/м^3:						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1,0	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1,0	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1,0	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1,0	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1,0	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1,0	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1,0	0,99	0,97	0,95	0,915	0,91	0,90

Якщо втрата тиску ΔP виявилася прийнятною, переходять до розрахунку повного коефіцієнта очищення газу в циклоні. При цьому мають на увазі, що коефіцієнт очищення в одиночному циклоні та групі циклонів однаковий. Насправді коефіцієнт очищення газу в групі циклонів може бути трохи нижче, ніж в одиночному циклоні. Це пояснюється можливістю виникнення перетину газу через загальний бункер, який зменшує коефіцієнт очищення газу в групі

циклонів.

Таблиця 2.10 – Значення поправочних коефіцієнтів K_3 для груп циклонів ЦН

Характеристика групового циклона	K_3
Кругове компонування, нижнє організоване підведення	60
Прямокутне компонування, циклонні елементи розташовані в одній площині. Відведення із загальної камери чистого газу	35
Прямокутне компонування, циклонні елементи розташовані в одній площині. Плитковий відвід із циклонних елементів	28
Прямокутне компонування. Вільне підведення потоку в загальну камеру	60

5. Визначаємо ступінь очищення газу від частинок пилу в обраному типі циклона (або групі циклонів).

Загальний і фракційний коефіцієнти очищення газу (ступінь вловлювання пилу) залежать від розміру частинок пилу d_m, що вловлюються, дійсної швидкості газу в циклоні W, типу та діаметра циклону D_{cm}, щільності частинок пилу ρ_n і газу $\rho_г$.

Обравши з табл. 2.4 параметр d_{50}^T, який характеризує парціальну ефективність обраного типу циклона за умов, зазначених у таблиці, визначаємо розмір частинок d_{50}, що вловлюються обраним циклоном за робочих умов (діаметр циклона, швидкість потоку, щільність пилу, динамічна в'язкість газу) з ефективністю очищення газу 50%, за формулою:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_{cm}}{D_T} \cdot \frac{\rho_n^T}{\rho_n} \cdot \frac{\mu_г}{\mu_г^T} \cdot \frac{W_T}{W}}\text{, мкм,} \qquad (2.5)$$

d_{50}^T – середньо-медіанний діаметр частинок, що вловлюються з ефективністю очищення 50% для типового циклона; приймається в залежності від матеріалу частинок, мкм (приймається за табл. 2.4);

ρ_n – щільність частинок пилу, кг/м^3;

$\mu_г$ – динамічний коефіцієнт в'язкості газу за заданих робочих умов, $\frac{H \cdot c}{м^2}$. Визначається методом інтерполяції залежно від значення заданої температури газоповітряної суміші за табл. 2.6.

Значення величин D_T (м), ρ_n^T (кг/м^3), $\mu_г^T$ ($\frac{H \cdot c}{м^2}$), W_T (м/с) наведено в примітках табл. 2.4.

На основі математичної обробки рівняння для ймовірних функцій отримало вираз для визначення ступеня вловлювання частинок пилу певної фракції (ефективності очищення газу) циклоном за формулою:

$$\eta_i = 50 \cdot \left[1 + \Phi(x_i)\right], \%, \qquad (2.6)$$

$\Phi(x_i)$ – таблична функція розподілу, що залежить від параметра x_i, який визначається за формулою:

$$x_i = \frac{\lg \cdot \left(d_{cp} / d_{50} \right)}{\sqrt{\left(\lg^2 \cdot \sigma_\eta^T + \lg^2 \cdot \sigma_n \right)}} \qquad (2.7)$$

d_{cp} – середньо-медіанний розмір вловлюваних частинок пилу певної фракції, мкм;

$\lg \sigma_\eta^T$ – величина, що характеризує дисперсію частинок пилу, що вловлюються в умовному типі циклона (приймається за табл. 2.4);

$\lg \sigma_n$ – середньоквадратичне відхилення функції даного розподілу (дисперсія) вловлюваних частинок пилу (визначається в залежності від матеріалу частинок), що визначається за формулою:

$$\lg \cdot \sigma_n = \lg \cdot \left(d_{84,1} / d_M \right) = \lg \cdot \left(d_M / d_{15,9} \right) \qquad (2.8)$$

$d_{84,1}$ та $d_{15,9}$ – розмір частинок пилу, для яких маса всіх часточок, які розміром менші, ніж $d_{84,1}$ та $d_{15,9}$, встановлений відповідно 84,1 та 15,9% від загальної маси пилу.

Значення y_n задано у вихідних даних, відповідно до варіанту!!!

Таким чином, параметр x_i розраховується для кожної фракції частинок пилу, виходячи з величини середнього значення діаметра цих часточок d_{cp}.

Наприклад:

– для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра d_{cp}=2,5 мкм:

$x_{2,5}$= …;

– для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра d_{cp}=5 мкм:

x_5= …;

– для частинок пилу з середнім значенням розміру діаметра d_{cp}=10 мкм:

x_{10}= … тощо.

Числове значення нормальної функції розподілу $\Phi(x_i)$ знаходять в залежності від величини x_i за табл. 2.11.

$\Phi(x_i)$ – це повний коефіцієнт очищення газу, виражений в частках:

$$\Phi(x_i) = \begin{cases} 0{,}3762 \cdot x_i + 0{,}5 \\ 1 - \dfrac{1}{5{,}8 \cdot x_i + 0{,}5} \end{cases}$$

За першим виразом $\Phi(x_i)$ визначають якщо $0 \le x_i \le 0{,}6$, за другим – якщо $x_i > 0{,}6$.

Потім за формулою (2.6) визначається розрахункове значення ефективності вловлювання частинок пилу певної фракції обраним типом циклона η_i, %.

Загальна ефективність пиловловлювання обраного типу циклона визначається за формулою:

$$\eta_{загальна} = \sum_{j=1}^{n} \eta_i \cdot m_i \text{ , \%,} \qquad (2.9)$$

m_i – масова частка частинок пилу i-той фракції, що вказується у вихідних даних (% → частки).

Результати обчислення ефективності роботи обраного типу циклона наведено в таблиці (приклад):

Фракція частинок пилу, мкм	Середнє значення розміру частинок пилу, $d_{ср}$, мкм	Фракційний розподіл частинок пилу (% від маси), m_i	Значення параметру x_i	Значення параметру $Ф(x_i)$	Ефективність очищення газу від частинок пилу певної фракції в циклоні $з_i$, %	$з_i \cdot m_i$
>2,5	1	вих. дані				
2,5-4,0	3	вих. дані				
4,0-6,3	5	вих. дані				
6,3-10	8	вих. дані				
10-16	13	вих. дані				
16-25	20	вих. дані				
25-40	32	вих. дані				
<40	50	вих. дані				
					$\eta_{загальна} = \sum$	

Таблиця 2.11 – Значення нормальної функції розподілу

x	*Ф(x)*	*x*	*Ф(x)*	*x*	*Ф(x)*	*x*	*Ф(x)*	*x*	*Ф(x)*
-2,70	0,0035	-1,26	0,1038	-0,40	0,3446	0,46	0,6772	1,32	0,9066
-2,60	0,0047	-1,24	0,1075	-0,38	0,3520	0,48	0,6844	1,34	0,9099
-2,50	0,0062	-1,22	0,1112	-0,36	0,3594	0,50	0,6915	1,36	0,9131
-2,40	0,0082	-1,20	0,1152	-0,34	0,3669	0,52	0,6985	1,38	0,9162
-2,30	0,0107	-1,18	0,1190	-0,32	0,3745	0,54	0,7054	1,40	0,9192
-2,20	0,0139	-1,16	0,1230	-0,30	0,3821	0,56	0,7123	1,42	0,9222
-2,10	0,0179	-1,14	0,1271	-0,28	0,3897	0,58	0,7190	1,44	0,9251
-2,00	0,0228	-1,12	0,1314	-0,26	0,3974	0,60	0,7257	1,46	0,9279
-1,98	0,0239	-1,10	0,1357	-0,24	0,4052	0,62	0,7324	1,48	0,9306
-1,96	0,0250	-1,08	0,1401	-0,22	0,4129	0,64	0,7389	1,50	0,9332
-1,94	0,0262	-1,06	0,1446	-0,20	0,4207	0,66	0,7454	1,52	0,9357
-1,92	0,0274	-1,04	0,1492	-0,18	0,4286	0,68	0,7517	1,54	0,9382
-1,90	0,0288	-1,02	0,1539	-0,16	0,4364	0,70	0,7580	1,56	0,9406
-1,88	0,0301	-1,00	0,1587	-0,14	0,4443	0,72	0,7642	1,58	0,9429
-1,86	0,0314	-0,98	0,1635	-0,12	0,4522	0,74	0,7703	1,60	0,9452
-1,84	0,0329	-0,96	0,1685	-0,10	0,4602	0,76	0,7764	1,62	0,9474
-1,82	0,0344	-0,94	0,1736	-0,08	0,4681	0,78	0,7823	1,64	0,9495
-1,80	0,0359	-0,92	0,1788	-0,06	0,4761	0,80	0,7881	1,66	0,9515
-1,78	0,0375	-0,90	0,1841	-0,04	0,4840	0,82	0,7937	1,68	0,9535
-1,76	0,0392	-0,88	0,1894	-0,02	0,4920	0,84	0,7995	1,70	0,9554
-1,74	0,0409	-0,86	0,1949	0,00	0,5000	0,86	0,8051	1,72	0,9573
-1,72	0,0427	-0,84	0,2005	0,02	0,5080	0,88	0,8106	1,74	0,9591
-1,70	0,0446	-0,82	0,2061	0,04	0,5160	0,90	0,8159	1,76	0,9608
-1,68	0,0465	-0,80	0,2119	0,06	0,5239	0,92	0,8212	1,78	0,9625
-1,66	0,0485	-0,78	0,2177	0,08	0,5310	0,94	0,8264	1,80	0,9641
-1,64	0,0505	-0,76	0,2236	0,10	0,5398	0,96	0,8315	1,82	0,9656

продовження табл. 2.11

x	*Φ(x)*	*x*	*Φ(x)*	*x*	*Φ(x)*	*x*	*Φ(x)*	*x*	*Φ(x)*
-1,62	0,0526	-0,74	0,2297	0,12	0,5478	0,98	0,8365	1,84	0,9671
-1,60	0,0548	-0,72	0,2358	0,14	0,5557	1,00	0,8413	1,86	0,9686
-1,58	0,0571	-0,70	0,2420	0,16	0,5636	1,02	0,8461	1,88	0,9699
-1,56	0,0594	-0,68	0,2483	0,18	0,5714	1,04	0,8508	1,90	0,9713
-1,54	0,0616	-0,66	0,2546	0,20	0,5793	1,06	0,8554	1,92	0,9726
-1,52	0,0643	-0,64	0,2611	0,22	0,5871	1,08	0,8599	1,94	0,9738
-1,50	0,0668	-0,62	0,2676	0,24	0,5948	1,10	0,8643	1,96	0,9750
-1,48	0,0694	-0,60	0,2743	0,26	0,6026	1,12	0,8686	1,98	0,9761
-1,46	0,0721	-0,58	0,2810	0,28	0,6103	1,14	0,8729	2,00	0,9772
-1,44	0,0749	-0,56	0,2877	0,30	0,6179	1,16	0,8770	2,10	0,9821
-1,42	0,0778	-0,54	0,2946	0,32	0,6255	1,18	0,8810	2,20	0,9861
-1,40	0,0808	-0,52	0,3015	0,34	0,6331	1,20	0,8849	2,30	0,9893
-1,38	0,0838	-0,50	0,3085	0,36	0,6406	1,22	0,8888	2,40	0,9918
-1,36	0,0869	-0,48	0,3156	0,38	0,6480	1,24	0,8925	2,50	0,9938
-1,34	0,0901	-0,46	0,3228	0,40	0,6554	1,26	0,8962	2,60	0,9953
-1,32	0,0934	-0,44	0,3300	0,42	0,6628	1,28	0,8997	2,70	0,9965
-1,28	0,1003	-0,42	0,3372	0,44	0,6700	1,30	0,9032		

Отримане значення ефективності очищення газу від частинок пилу в обраному типі циклона $\eta_{загальна}$ зіставляється з необхідним значенням ступеня вловлювання пилу $\eta_{необ}$, %.

Якщо розрахункове значення $\eta_{загальна}$ виявиться менше необхідного $\eta_{необ}$, треба обрати інший тип циклона з більшим значенням швидкості та коефіцієнта гідравлічного опору. Для орієнтовних розрахунків необхідного значення рекомендовано наступну залежність:

$$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \left(\frac{1-\eta_1}{1-\eta_2}\right)^2 \cdot \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{D_2}{D_1}, \qquad (2.10)$$

«індекс» «1» відноситься до розрахованих, а «індекс» «2» – відповідає вимогам до параметрів циклона.

За результатами отриманих значень ефективності очищення газу від частинок пилу певної фракції в обраному типі циклона будується графік. Приклад графіка залежності ефективності очищення газу у відцентровому циклоні обраного типу від фракційного складу пилу наведено на рис. 2.3.

За результатами побудованого графіка можна вивести логарифмічну залежність ефективності очищення газу в циклоні обраного типу від фракційного складу пилу (якщо графік будується в програмі Excel!!!).

Наприклад, $\eta_i = 12{,}61 \cdot \ln(d_{ср})$,

R^2=0,9788.

Концентрація пилу на виході з циклона після очищення визначається за формулою:

$$C_{вих} = C_{вх} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{загальна}}{100}\right), \text{ г/м}^3, \qquad (2.11)$$

$C_{вх}$ – початкова концентрація пилу в газоповітряної суміші на вході в циклон, г/м^3.

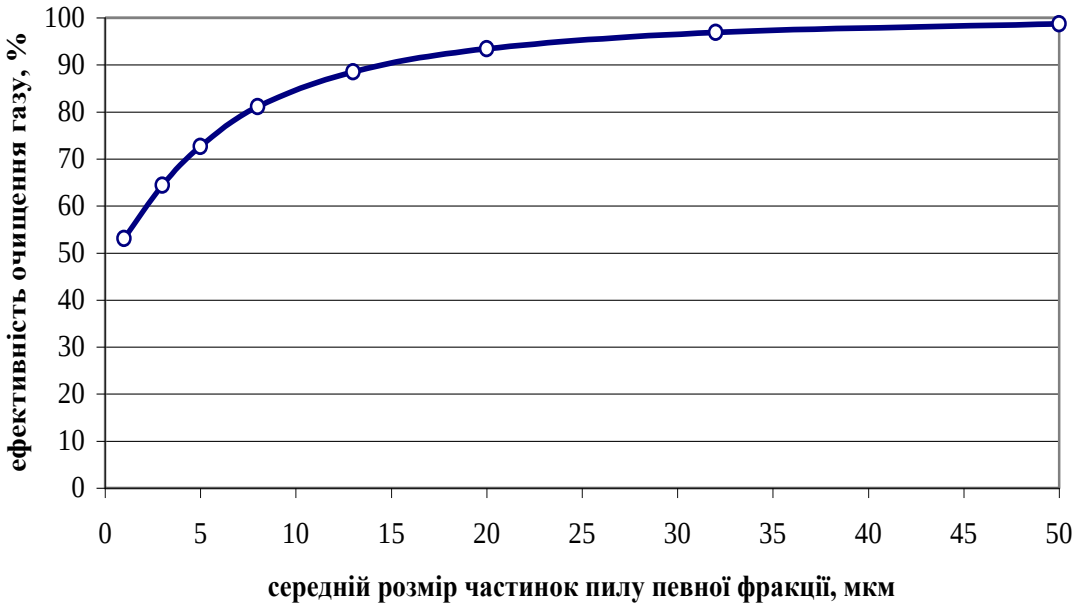


Рисунок 2.3 – Приклад побудови графіка залежності ефективності очищення газу у відцентровому циклоні обраного типу від фракційного складу пилу

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів відцентрового циклона НДІОГазу, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 2.12-2.13.

Таблиця 2.12 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів відцентрового циклона НДІОГазу, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу

Варіант	Показники				
	Q, м^3/с	$\rho_п$, кг/м^3	$t_г$, °С	$C_{вх}$, г/м^3	$\sigma_п$
1	20	2420	148	24	2,19
2	26	4000	96	8,35	3,91
3	10	3110	255	2,1	3,42
4	16	3400	420	4	2,66
5	2	1480	52	2,2	2,6
6	5	1300	20	5,3	1,85
7	1	1860	110	25	4,5
8	12	2890	130	24,4	2,6
9	11,4	2400	28	0,38	3,9

продовження табл. 2.12

Варіант	Показники				
	Q, м^3/с	$\rho_п$, кг/м^3	$t_г$, °С	$C_{вх}$, г/м^3	$\sigma_п$
10	15,3	2830	134	5	4,4
11	19,2	1640	58	4,8	1,7
12	8,6	1570	62	4,8	2,0
13	14,7	1350	20	0,2	1,75
14	9,6	2665	22	7,3	1,7
15	16,8	1800	100	10,5	6,35
16	22,5	2957	240	44	3,1
17	12,6	2840	70	0,84	3,0
18	7,4	2150	20	0,03	3,5
19	10,3	2740	135	28	3,2
20	8	1560	50	0,7	3,0

Таблиця 2.13 – Характеристика дисперсного складу пилу, що надходить на очищення у відцентровий циклон, за варіантами

Варіант	Масова частка частинок пилу (m_i, % за масою) і-тої фракції d, мкм:							
	>2,5	2,5-4	4-6,3	6,3-10	10-16	16-25	25-40	<40
1	1,5	1,2	2,8	7	14,5	23	27	23
2	4,1	2,9	6	8,5	11	14	13,5	40
3	10	7	10	13	20	21	14	5
4	4	5	8	13	20	25	18	7
5	1	2	4,5	7,5	12	14	19	40
6	6	6	11	18	22	20	12	5
7	11	7	9	12	14	15	14	18
8	1,5	1,5	2,5	3,5	6	9	4	72
9	4,5	4,5	9	10	17	15	11	29
10	8	7	19	7	16	15	12	16
11	21	13	12	16	14	9	6	9
12	4	4	7	11	14	20	15	25
13	4,1	3,7	6,2	11	17	18	20	20
14	1,5	1,5	4	7	14	22	30	20
15	2,5	4,5	7	11	15	17	14	29
16	2	4	9	10	15	25	30	5
17	4,5	2,5	5	6	6	11	30	35
18	1,8	2,7	7,5	15	16	17	25	15
19	8	7	12	15	15	15	12	16
20	7,3	3,7	5	8	9	11	17	39

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Надати характеристику відцентрового циклона.
2. Навести переваги застосування циклонів.
3. Навести недоліки застосування циклонів.

4. Навести класифікації відцентрових циклонів.
5. Надати характеристику циклонів типу ЦН.
6. Надати характеристику циклонів типу СК-ЦН-34 і СДК-ЦН-33.
7. Як правильно обрати відцентровий циклон НДІОГазу?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ЦИКЛОНА, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ СУХОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ ВІД ЧАСТИНОК ПИЛУ, ЗА МЕТОДОМ ЛАПЛЕ

Мета роботи: набуття теоретичних знань у сфері технологій захисту атмосферного повітря та здобуття практичних навичок з технологічного розрахунку параметрів відцентрового циклона, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за методом Лапле.

Завдання:

1. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів відцентрового циклона, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за методом Лапле.

2. Виконати технологічний розрахунок параметрів відцентрового циклона, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за методом Лапле, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- визначати доцільність використання схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на промислових територіях;
- обґрунтовувати доцільність використання пристроїв сухої інерційної очистки від пилу, мокрої очистки та фільтрації, електрофільтрації.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Розрахунок параметрів циклона за методом Лапле дозволяє обчислити фракційну та загальну ефективність пиловловлювання. Вона адаптована для розрахунку високоефективних, звичайних та високопродуктивних циклонів.

Умовні розміри циклонів за методом Лапле наведено в табл. 3.1. Вибір розміру та типу циклона залежить від витрат газоповітряної суміші, проектної ефективності газоочищення, фракційного розподілу частинок та інших параметрів.

Таблиця 3.1 – Фізичні розміри циклонів за методом Лапле

Показник	Тип циклона		
	високоефективний	звичайний	високопродуктивний
Діаметр циклону в циліндричній частині D, м	1,0	1,0	1,0
Висота впускної труби H, м	$0{,}44 \cdot D$	$0{,}5 \cdot D$	$0{,}75 \cdot D$
Ширина впускної труби W, м	$0{,}2 \cdot D$	$0{,}25 \cdot D$	$0{,}35 \cdot D$
Діаметр газовипускного патрубку D_e, м	$0{,}4 \cdot D$	$0{,}5 \cdot D$	$0{,}75 \cdot D$
Довжина випускного газоходу в циклоні S, м	$0{,}5 \cdot D$	$0{,}6 \cdot D$	$0{,}85 \cdot D$
Довжина циліндричної частини циклону L_b, м	$1{,}5 \cdot D$	$2{,}0 \cdot D$	$1{,}7 \cdot D$
Довжина конічної частини циклону L_c, м	$2{,}5 \cdot D$	$2{,}0 \cdot D$	$2{,}0 \cdot D$
Діаметр бункерної частини циклону D_d, м	$0{,}4 \cdot D$	$0{,}25 \cdot D$	$0{,}375 \cdot D$

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Порядок розрахунку технологічних параметрів відцентрового циклона, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за методом Лапле

Визначаємо фізичні розміри складових частин відцентрового циклона за методом Лапле, використовуючи табл. 3.1. Оформлюємо визначені фізичні розміри складових частин відцентрового циклона у вигляді таблиці:

Розміри для відцентрового циклону при D=____ м (вихідні дані)	відносні значення (табл. 3.1)	абсолютні значення, м
Діаметр циклону в циліндричній частині, D	1,0	вих. дані
Висота впускної труби, H	$0{,}44 \cdot D$	
Ширина впускної труби, W	$0{,}2 \cdot D$	
Діаметр газовипускного патрубка, D_e	$0{,}4 \cdot D$	
Довжина випускного газоходу в середині циклону, S	$0{,}5 \cdot D$	
Довжина циліндричної частини циклону, L_b	$1{,}5 \cdot D$	
Довжина кінцевої частини циклону, L_c	$2{,}5 \cdot D$	
Діаметр бункерної частини циклону, D_d	$0{,}4 \cdot D$	

2. Кількість ефективних обертів, які зазнає частинка пилу, визначається за

формулою:

$$N_{об} = \frac{1}{H} \cdot \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right]. \quad (3.1)$$

3. Початкова швидкість газового потоку на вході в циклон визначається за формулою:

$$V_0 = \frac{Q}{W \cdot H}, \text{ м/с}, \quad (3.2)$$

Q – витрати газоповітряної суміші, що надходить на очищення, м^3/с; м^3/годину → м^3/с.

4. Час, протягом якого газоповітряна суміш перебуває у вихровому потоці, визначається за формулою:

$$\Delta t = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot N_{об}}{V_0}, \text{ секунди}, \quad (3.3)$$

R – радіус циліндричної частини циклона, м.

5. Максимальна швидкість частинки пилу в радіальному напрямку визначається за формулою:

$$V_{\max} = \frac{W}{\Delta t}, \text{ м/с}. \quad (3.4)$$

6. Діаметр частинок пилу, які вловлюються циклоном, визначається за формулою:

$$d_p = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu_г \cdot W}{\pi \cdot N_{об} \cdot V_0 \cdot (\rho_п - \rho_г)}}, \text{ мкм}, \quad (3.5)$$

$\mu_г$ – динамічний коефіцієнт в'язкості газу за заданих робочих умов, $\frac{Н \cdot с}{м^2}$. Визначається методом інтерполяції залежно від значення заданої температури газоповітряної суміші ($t_г$, °С) за табл. 2.6;

$\rho_п$ – щільність частинок пилу, кг/м^3;

$\rho_г$ – щільність газу за робочих умов, кг/м^3, що визначається методом інтерполяції в залежності від значення заданої температури газоповітряної суміші ($t_г$, °С) за табл. 2.6.

Теоретично d_p – діаметр найменшої частинки, що вловлюється в циклоні. Будь-які інші частинки з більшим розміром повинні вловлюватися на 100%. Однак на практиці досягти 100 %-вої ефективності не можливо.

7. Для більш точних обчислень визначаємо розмір частинок, які вловлюються даним циклоном на 50%, використовуючи напівемпіричну формулу Лапле:

$$d_p^{50} = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu_г \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot N_{об} \cdot V_0 \cdot (\rho_п - \rho_г)}}, \text{ мкм}. \quad (3.6)$$

8. Ефективність вловлювання частинок пилу j-ої фракції (розмір частинок беремо з табл. 3.2) визначається за формулою:

$$\eta_j = \frac{1}{1+\left(\frac{d_p^{50}}{d_p^j}\right)^2}$$, в частках, (3.7)

d_p^j – діаметр частинок пилу *j*-ої фракції, вказаний в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Фракційний розподіл частинок пилу

Фракція частинок пилу, мкм	Середнє значення розміру частинок пилу, d_p^j, мкм	Фракційний розподіл частинок пилу (% від маси), m_j
0-5	2,5	12
5-10	7,5	15
10-20	15,0	22
20-30	25,0	15
30-40	35,0	11
40-50	45,0	9
50-60	55,0	7
60-70	65,0	5
70-80	75,0	3
75-100	87,5	1

Таким чином, необхідно розрахувати ефективність вловлювання:
- для частинок діаметром 2,5 мкм – $\eta_{2,5}$=____;
- для частинок діаметром 7,5 мкм – $\eta_{7,5}$=____;
- для частинок діаметром 15 мкм – η_{15}=____;
- для частинок діаметром 25 мкм – η_{25}=____;
- для частинок діаметром 35 мкм – η_{35}=____;
- для частинок діаметром 45 мкм – η_{45}=____;
- для частинок діаметром 55 мкм – η_{55}=____;
- для частинок діаметром 65 мкм – η_{65}=____;
- для частинок діаметром 75 мкм – η_{75}=____;
- для частинок діаметром 87,5 мкм – $\eta_{87,5}$=____.

9. Загальна ефективність пиловловлення циклона визначається за формулою:

$$\eta_{загальна} = \sum_{j=1}^{n} \eta_j \cdot m_j$$, %, (3.8)

m_j – масова частка частинок пилу *j*-ої фракції, що вказана в табл. 3.2.

10. Викид частинок пилу в атмосферу після очищення в циклоні визначається за формулою:

$$P = 100 - \eta_{загальна}$$, %. (3.9)

Результати розрахунків ефективності роботи циклона за методом Лапле наведено в таблиці (приклад):

j	d_p^j	m_j	d_p^{50}	d_p^{50}/d_p^j	η_j	$\eta_j \cdot m_j$
1	табл. 3.2	табл. 3.2	пункт 7		пункт 8	пункт 9
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
					$\sum$	

За результатами отриманих значень ефективності очищення газу від частинок пилу певної фракції у відцентровому циклоні будується графік, приклад якого наведено на рис. 3.1.

Рис. 3.1 – Приклад побудови графіка залежності ефективності очищення газу у відцентровому циклоні обраного типу від фракційного складу пилу

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів відцентрового циклона, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за методом Лапле, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів відцентрового циклона, призначеного для сухого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за методом Лапле

Варіант	Показники			
	Q, м^3/годину	ρ_n, кг/м^3	$t_г$, °С	D, м
1	39300	2420	148	0,6
2	52500	4000	96	0,7
3	33400	3110	255	0,8
4	43900	3400	420	0,9
5	20500	1480	52	1,1
6	38700	1300	20	1,2
7	46800	1860	110	0,65
8	32900	2890	130	0,75
9	46400	2400	28	0,85
10	50700	2830	134	0,95
11	39100	1640	58	1,05
12	48100	1570	62	1,15
13	37600	1350	20	0,6
14	25200	2665	22	0,7
15	15000	1800	100	0,8
16	35500	2957	240	0,9
17	50300	2840	70	0,95
18	56300	2150	20	1,05
19	27600	2740	135	1,15
20	36200	1560	50	0,6

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Для розрахунку яких типів циклонів адаптовано метод Лапле?
2. Від яких параметрів залежить вибір розміру та типу відцентрового циклона за методом Лапле?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТАРІЛЧАСТОГО ГАЗОПРОМИВАЧА (ПІННОГО АПАРАТА), ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ МОКРОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ ВІД ЧАСТИНОК ПИЛУ

Мета: набуття теоретичних знань у сфері технологій захисту атмосферного повітря та здобуття практичних навичок з технологічного розрахунку параметрів тарілчастого газопромивача (пінного апарата), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.

Завдання:

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи тарілчастих

газопромивачів (пінних апаратів), призначених для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.

2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів тарілчастого газопромивача (пінного апарата), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.

3. Виконати технологічний розрахунок параметрів тарілчастого газопромивача (пінного апарата), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- визначати доцільність використання схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на промислових територіях;
- обґрунтовувати доцільність використання пристроїв сухої інерційної очистки від пилу, мокрої очистки та фільтрації, електрофільтрації.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Загальна характеристика роботи тарілчастих газопромивачів

В основі роботи тарілчастих газопромивачів лежить взаємодія газу з рідиною на тарілках різних конструкцій, причому характер взаємодії в значному ступені визначається швидкістю газового потоку. При малих швидкостях (приблизно до 1 м/с) газ проникає через шар рідини у вигляді бульбашок – відбувається *барботаж*.

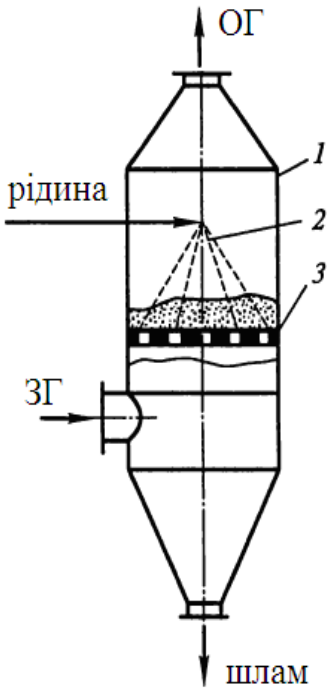
Ефективність пиловловлювання в цьому випадку достатньо велика лише для частинок пилу більше 5 мкм. Внаслідок цього, а також невисокої продуктивності по газу, барботажні пиловловлювачі в теперішній час у промисловості практично не застосовуються.

Зі збільшенням швидкості газу взаємодія газового і рідинного потоків протікає більш інтенсивно і барботажний режим переходить в пінний. При цьому відбувається інтенсивне дроблення потоку на мілкі бульбашки та струмки з утворенням суцільної піни. Під дією газового потоку також відбувається відривання рідини з утворенням дрібних краплин та плівок. Утворюється розвинута поверхня масообміну, яка збільшує продуктивність та ефективність очищення газу *пінним* пиловловлювачем (можливо ефективне вловлювання частинок пилу з розміром більше 2 мкм).

Основним конструктивним елементом пінних пиловловлювачів є решітка або тарілка. Решітка разом з піною створюють полицю апарата. Решітки бувають дірчасті, щілинні, трубчасті та колосникові. Апарати бувають одно- та багато поличні з провальними й переливними решітками.

Конструктивні схеми пінних пиловловлювачів наведено на рис. 4.1.

а)



б)

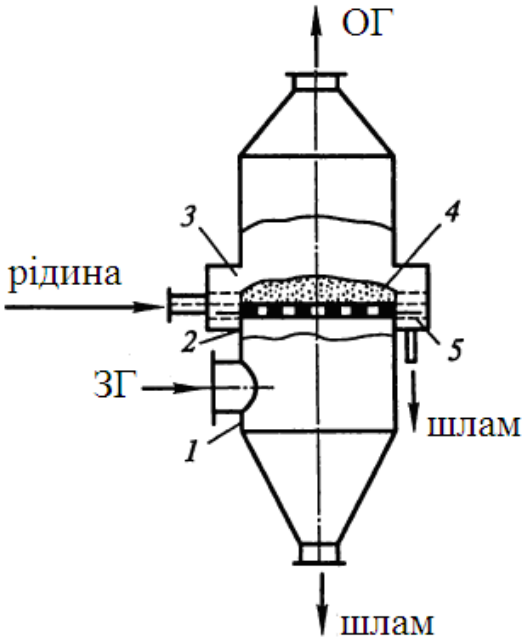


Рисунок 4.1 – Конструктивні схеми пінних пиловловлювачів

а) з провальною решіткою:

1 – корпус; 2 – зрошувальний пристрій; 3 – решітка (тарілка);

б) з переливною решіткою:

1 – корпус, 2 – решітка (тарілка); 3 – приймальний короб; 4 – поріг;

5 – зливна коробка

Оптимальна з точки зору гідравлічного опору тарілка повинна мати товщину 4-6 мм. Зазвичай діаметр отворів пінного пиловловлювача складає 4-8 мм, ширина щілини – 4-5 мм.

Діаметр мокрого пиловловлювача з провальними тарілками по конструктивним міркуванням, пов’язаним з розподілом газу, не повинен перевищувати 2,5 м. У випадку великої кількості газу, що очищується, необхідно встановлювати кілька паралельних апаратів.

У пінних пиловловлювачах з переливними тарілками зазвичай встановлюють тільки дірчасті тарілки з діаметром отворів 3-8 мм. Швидкість газу у вільному перетині знаходиться в інтервалі 1-3 м/с.

Висота піни зазвичай дорівнює 80-100 мм. Гідравлічний опір тарілки з шаром піни, як правило, складає 300-1000 Па.

Головним параметром, що визначає гідродинамічний режим, є швидкість газу. Зі збільшенням швидкості газу зменшуються розміри апарату і ефективність пиловловлювання. Однак швидкість можна збільшити лише до певних значень, оскільки різке знижується стабільність барботажного шару, збільшується гідравлічний опір і винос бризок.

Газопромивачі застосовуються для вловлювання пилу, що погано змочується, з розміром фракцій більше 10 мкм, що дозволяє очищувати газ з запиленістю не більше 10 г/м^3 зі ступенем очищення 96-99%.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Порядок розрахунку технологічних параметрів тарілчастого газопромивача (пінного апарата), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу

1. Кількість повітря, що надходить до пінного апарата на очищення, визначається за формулою:

$$V = V_0 \cdot \left[\frac{P_0 \cdot (273 + t_1)}{273 \cdot (P_{бар} \pm R)} \right] \cdot \left(1 + \frac{f_1}{0{,}804} \right), \text{ м}^3\text{/годину}, \quad (4.1)$$

0,804 – щільність водяної пари при нормальних умовах, кг/м^3;

P_0 – нормальний атмосферний тиск, що дорівнює 101325 Па.

2. Площа перетину пінного апарата визначається за формулою:

$$S = \frac{V}{w_в}, \text{ м}^2, \quad (4.2)$$

V, м^3/годину → м^3/с.

$w_в$ – швидкість газу в пінному апараті; допустимий діапазон приймається в межах 0,5-3,5 м/с. Приймаємо $w_в$=2 м/с.

3. Діаметр корпуса пінного апарата визначається за формулою:

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}, \text{ м}. \quad (4.3)$$

Приймаємо фактичний діаметр корпусу стандартного значення $D_{ст}$ (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Характеристика пінних апаратів

Тип апарата	Витрати газу, м^3/годину	Швидкість газу у вільному перетині апарата, м/с	Висота апарата, мм	Діаметр апарата, мм
ПАСС-Т(Д)-3	2,5-3,4	2,9	3670	600
ПАСС-Т(Д)-4	3,4-4,5	2,85	3790	700
ПАСС-Т(Д)-5	4,5-6,2	2,96	3910	800
ПАСС-Т(Д)-7	6,2-8,4	3,05	4160	920
ПАСС-Т(Д)-10	8,4-11,7	2,94	4300	1100
ПАСС-Т(Д)-14	11,7-16,5	2,95	4860	1300
ПАСС-Т(Д)-20	16,5-23,2	3,12	5300	1500
ПАСС-Т(Д)-30	23,2-32,6	3,05	6050	1800
ПАСС-Т(Д)-40	32,6-45,7	3,14	6710	2100
ПАСС-Т(Д)-55	45,7-64,0	3,10	7630	2500

Тоді фактична швидкість газу в перетині апарата визначається за формулою:

$$w_{факт} = \frac{w_в \cdot (D_o)^2}{(D_{ст})^2}, \text{ м/с}, \quad (4.4)$$

$D_{ст}$, мм → м.

4. Визначаємо площу всіх отворів в решітці пінного апарату. Швидкість

газу в отворах решітки зазвичай приймається v_p=5-13 м/с. Діаметр отворів в решітці (d_0) зазвичай приймається рівним 3-8 мм.

Площа всіх отворів («живий» перетин решітки) визначається за формулою:

$$\sum S_0 = \frac{V}{v_p}, \text{ м}^2, \quad (4.5)$$

V, м^3/годину → м^3/с.

6. Кількість отворів в решітці визначається за формулою:

$$n_0 = \frac{\sum S_0}{S_0}, \text{ шт.} \quad (4.6)$$

Отримане значення округляється до максимально цілого числа.

S_0 – площа одного отвору, що визначається за формулою:

$$S_0 = \frac{\pi \cdot (d_0)^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (4.7)$$

d_0, мм → м.

7. При розташуванні отворів по квадратній сітці, один отвір доводиться на площу:

$$S' = \frac{S}{n_0}, \text{ м}^2. \quad (4.8)$$

8. Відстань між двома отворами визначається за формулою:

$$l = \sqrt{S'}, \text{ м} \rightarrow \text{мм}. \quad (4.9)$$

9. Кількість пилу, що вловлюється в пінному апараті, визначається за формулою:

$$M = \frac{V_0 \cdot C_0 \cdot \eta}{1000}, \text{ кг}. \quad (4.10)$$

З цієї кількості 60-80% пилу, що вловлюється, видаляється водою через отвори в решітці. Приймаємо цю величину рівною 75%, що складає:

$M \cdot 0{,}75$=____ кг.

10. Нехай вміст пилу в шламі становить $C_{шл}$=50 г/л. Тоді кількість води, яка буде провалюватися через решітку в бункер, становить:

$$m_1 = \frac{0{,}75 \cdot M \cdot 1000}{C_{шл}}, \text{ кг/годину}. \quad (4.11)$$

Приймаємо, що через решітку буде провалюватися 50% води, інші 50% будуть відводитися через зливну коробку.

Кількість води m_2, що відводиться через зливну коробку, становить: m_2=m_1=____ кг/годину.

Таким чином, сумарна кількість води, що відводиться з апарату, буде дорівнювати:

$$m = m_1 + m_2, \text{ кг/годину}. \quad (4.12)$$

11. Визначаємо кількість води, яка буде випаровуватися в пінному апараті в процесі охолодження газу. Кількість тепла, яке повітря віддає воді в процесі свого охолодження, розраховується за формулою:

$$Q = \frac{V_0}{3600} \cdot [c \cdot (t_1 - t_2) + f_1 \cdot (I_1 - I_2)], \text{ кВт,} \quad (4.13)$$

t_2 – температура «мокрого термометра» або робоча температура зрошувальної рідини, яка визначається за табл. 4.2.

За табл. 4.2 методом інтерполяції находимо значення t_2 в залежності від величин t_1 и f_1;

Таблиця 4.2 – Значення температури «мокрого термометра» (t_2) для різних значень температур та вологості газів

Вихідна вологість газу f_1, г/м^3	Вихідна температура газу t_1, °С						
	100	200	300	400	500	750	1000
25	38,5	49,5	57	62	65,5	72,5	77,5
50	44	53,5	59,5	64	67,5	74	78,5
100	52,5	59	63,5	68	70,5	76,5	80,5
200	61	66,5	70	72,5	75,5	79,5	-
300	68	71,5	74	78,5	-	-	-

c – теплоємність повітря, що визначається за формулою:

$$c = 1{,}01 \cdot \rho_0, \ \frac{кДж}{м^3 \cdot К}, \quad (4.14)$$

ρ_0 – щільність повітря за нормальних умов, що дорівнює 1,29 кг/м^3;

I_1 и I_2 – ентальпія водяної пари при початковій (t_1) та кінцевій (t_2) температурі газу, які визначаються за формулами:

$$I_1 = 2480 + 1{,}96 \cdot t_1, \ \frac{кДж}{м^3}; \quad (4.15)$$

$$I_2 = 2480 + 1{,}96 \cdot t_2, \ \frac{кДж}{м^3}. \quad (4.16)$$

12. Кількість води, що випаровується, визначається за формулою:

$$m_3 = \frac{3600 \cdot Q}{4{,}1868 \cdot Q_{вип}}, \text{ кг/годину,} \quad (4.17)$$

$Q_{вип}$ – кількість тепла, що витрачається на випаровування 1 кг води при температурі газу t_2=____ °С, кДж/кг (визначається за табл. 4.3);

Таблиця 4.3 – Значення теплоти випаровування в залежності від температури

Температура, °С	Теплота випаровування, ккал/годину	Температура, °С	Теплота випаровування, ккал/годину
0-4	595,0	55-59	565,2
5-9	592,3	60-64	562,5
10-14	589,6	65-69	559,7
15-19	587,0	70-74	556,8
20-24	584,3	75-79	554,0
25-29	581,6	80-84	551,2
30-34	578,9	85-89	548,2

продовження табл. 4.3

Температура, °С	Теплота випаровування, ккал/годину	Температура, °С	Теплота випаровування, ккал/годину
35-39	576,2	90-94	545,3
40-44	573,5	95-99	542,4
45-49	570,7	100-104	539,4
50-54	568,0	105	536,3

4,1868 – коефіцієнт перерахунку ккал в кДж;

3600 – коефіцієнт перерахунку кВт·год в кДж.

13. Загальна кількість води, що подається в апарат, визначається за формулою:

$$M_{заг} = m_1 + m_2 + m_3, \text{ кг/годину.} \quad (4.18)$$

14. Визначаємо гідравлічний опір решітки разом з водяною піною. Повний гідравлічний опір пінних апаратів зі стабілізатором шару визначається за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_р + \Delta P_п + \Delta P_\sigma + \Delta P_а, \text{ Па,} \quad (4.19)$$

$\Delta P_р$ – втрати напору сухої решітки, що визначаються за формулою:

$$\Delta P_р = \frac{1{,}82 \cdot \left(w_{факт}\right)^2 \cdot \rho_г}{2}, \text{ Па,} \quad (4.20)$$

$\rho_г$ – щільність газу за робочих умов, що визначається за формулою:

$$\rho_г = \frac{\left(\rho_0 + f_2\right) \cdot 273 \cdot \left(P_{бар} \pm R\right)}{\left(1 + \frac{f_2}{0{,}804}\right) \cdot \left(273 + t_2\right) \cdot P_0}, \text{ кг/м}^3, \quad (4.21)$$

f_2 – кінцевий вологовміст повітря, що визначається за формулою:

$$f_2 = 0{,}083 \cdot \rho_0, \text{ кг/м}^3. \quad (4.22)$$

Втрати напору за рахунок шару піни на решітці визначається за формулою:

$$\Delta P_п = \frac{0{,}447 \cdot H_п \cdot \rho_р \cdot g}{\left(w_{факт}\right)^{0{,}5}}, \text{ Па,} \quad (4.23)$$

$H_п$ – висота шару піни, м (зазвичай приймається рівною 100-300 мм → м);

$\rho_р$ – щільність рідини, що дорівнює 1000 кг/м^3;

g – прискорення вільного падіння, що дорівнює 9,81 м/с^2.

Втрати напору під дією сил поверхневого натягу визначаються за формулою:

$$\Delta P_\sigma = \frac{4 \cdot \sigma}{d_0}, \text{ Па,} \quad (4.24)$$

σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м, що залежить від температури t_2 та визначається за табл. 4.4;

d_0, мм → м.

Гідравлічний опір корпусу пінного апарату визначається за формулою:

$$\Delta P_a = \frac{\xi_a \cdot \left(w_{факт}\right)^2 \cdot \rho_г}{2}, \text{ Па,} \qquad (4.25)$$

ξ_a – коефіцієнт гідравлічного опору корпуса пінного апарата, що приймається рівним 25-28.

Звідси знаходимо ΔP=____ Па.

Зазвичай гідравлічний опір пінного апарата становить 490-1700 Па.

Таблиця 4.4 – Значення коефіцієнта поверхневого натягу в залежності від величини t_2

Температура t_2, °С	Коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м	Температура t_2, °С	Коефіцієнт поверхневого натягу, Н/м
10	0,07422	60	0,06618
20	0,07275	70	0,06440
30	0,07118	80	0,06260
40	0,06956	90	0,06080
50	0,06791	100	0,05890

15. Фосфоритовий пил гідрофобний, тому ступінь фракційного очищення для пилу, що важко змочується, визначається за формулою:

$$\eta_ф = 0{,}01 \cdot \sum \left(\eta_i^{фр} \cdot d_i^{\,p}\right) =$$
$$= 0{,}01 \cdot \left(\eta_{2{,}5}^{фр} \cdot d_{2{,}5}^{\,p} + \eta_8^{фр} \cdot d_8^{\,p} + \eta_{15}^{фр} \cdot d_{15}^{\,p} + \eta_{25}^{фр} \cdot d_{25}^{\,p}\right), \%, \qquad (4.26)$$

$\eta_i^{фр}$ – фракційна ефективність очищення газу в пінних апаратах від частинок діаметра $d_i^{\,p}$, % (за масою).

16. Остаточна концентрація пилу в газоповітряній суміші на виході з пінного апарата визначається за формулою:

$$C_{вихід} = C_0 \cdot \frac{\left(100 - \eta_ф\right)}{100}, \text{ г/м}^3. \qquad (4.27)$$

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів тарілчастого газопромивача (пінного апарата), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів тарілчастого газопромивача (пінного апарата), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу

Показник	Варіант						
	1	2	3	4	5	6	7
V_0, м^3/годину	9500	10300	8000	19700	8400	10000	18700
t_1, ºС	150	180	220	160	190	230	170
f_1, кг/м^3	0,075	0,1	0,025	0,25	0,15	0,050	0,3
C_0, г/м^3	13	16	10	15	18	12	17
R, Па	-360	-490	-385	-450	-480	-378	-350
$P_{бар}$, Па	101063	101337	99077	99084	101369	98539	101048
η, в частках	0,92	0,95	0,9	0,93	0,96	0,91	0,97
Фракційна ефективність очищення газу в пінних апаратах від частинок відповідного діаметра:							
$\eta_{2,5}^{фр}$, %	86	84,5	86,5	83,5	85,5	84	87
$\eta_{8}^{фр}$, %	95	93,5	96	94,5	93	95,5	94
$\eta_{15}^{фр}$, %	99	98,7	98,5	98,3	98,1	98	98,9
$\eta_{25}^{фр}$, %	99,5	99,2	99,7	99,4	99,1	99,6	99,3
Відсоток частинок пилу певного розміру:							
$d_{2,5}^{р}$, %	5	7,5	6,5	8	6	8,5	7
$d_{8}^{р}$, %	30	32,5	31,5	29	30,5	32	29,5
$d_{15}^{р}$, %	50	43,5	47,5	46	48	43,5	46
$d_{25}^{р}$, %	15	16,5	14,5	17	15,5	16	17,5

продовження табл. 4.5

Показник	Варіант						
	8	9	10	11	12	13	14
V_0, м^3/годину	11200	39300	52500	33400	43900	46800	32900
t_1, ºС	210	120	230	260	130	140	250
f_1, кг/м^3	0,2	0,075	0,1	0,025	0,25	0,3	0,2
C_0, г/м^3	14	11	6	9	19	20	7
R, Па	-470	-370	-400	-430	-380	-390	-420
$P_{бар}$, Па	101072	101063	101337	99077	99084	101048	101072
η, в частках	0,94	0,92	0,95	0,9	0,93	0,97	0,94
Фракційна ефективність очищення газу в пінних апаратах від частинок відповідного діаметра:							
$\eta_{2,5}^{фр}$, %	85	86	84,5	86,5	83,5	86	84,5
$\eta_{8}^{фр}$, %	96,5	95	93,5	96	94,5	95	93,5
$\eta_{15}^{фр}$, %	99,2	99	98,7	98,5	98,3	99	98,7
$\eta_{25}^{фр}$, %	99,8	99,5	99,2	99,7	99,4	99,5	99,2

Показник	Варіант						
	8	9	10	11	12	13	14
Відсоток частинок пилу певного розміру:							
$d_{2,5}^{p}$, %	5,5	5	7,5	6,5	8	5	7,5
d_{8}^{p}, %	31	30	32,5	31,5	29	30	32,5
d_{15}^{p}, %	49,5	50	43,5	47,5	46	50	43,5
d_{25}^{p}, %	14	15	16,5	14,5	17	15	16,5

закінчення табл. 4.5

Показник	Варіант					
	15	16	17	18	19	20
V_0, м^3/годину	46400	50700	39100	48100	37600	25200
t_1, ºС	320	280	350	330	290	360
f_1, кг/м^3	0,075	0,1	0,025	0,25	0,15	0,050
C_0, г/м^3	12,5	18,5	8,5	14,5	10,5	6,5
R, Па	-460	-405	-365	-415	-375	-425
$P_{бар}$, Па	101063	101337	99077	99084	101369	98539
η, в частках	0,92	0,95	0,9	0,93	0,96	0,91
Фракційна ефективність очищення газу в пінних апаратах від частинок відповідного діаметра:						
$\eta_{2,5}^{фр}$, %	86,5	83,5	85,5	84	87	85
$\eta_{8}^{фр}$, %	96	94,5	93	95,5	94	96,5
$\eta_{15}^{фр}$, %	98,5	98,3	98,1	98	98,9	99,2
$\eta_{25}^{фр}$, %	99,7	99,4	99,1	99,6	99,3	99,8
Відсоток частинок пилу певного розміру:						
$d_{2,5}^{p}$, %	6,5	8	6	8,5	7	5,5
d_{8}^{p}, %	31,5	29	30,5	32	29,5	31
d_{15}^{p}, %	47,5	46	48	43,5	46	49,5
d_{25}^{p}, %	14,5	17	15,5	16	17,5	14

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Надати загальну характеристику роботи тарілчастих газопромивачів.
2. Надати характеристику основного конструктивного елемента пінного пиловловлювача.
3. Що є головним параметром, який визначає гідродинамічний режим пінного пиловловлювача?
4. Що відбувається при збільшенні швидкості газу в тарілчастому пиловловлювачі?
5. В яких випадках застосовуються пінні пиловловлювачі?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5
РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИСОКОНАПІРНОГО ШВИДКІСНОГО ГАЗОПРОМИВАЧА (СКРУБЕРА ВЕНТУРІ), ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ МОКРОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ ВІД ЧАСТИНОК ПИЛУ

Мета: набуття теоретичних знань у сфері технологій захисту атмосферного повітря та здобуття практичних навичок з технологічного розрахунку параметрів високонапірного швидкісного газопромивача (скрубера Вентурі), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за енергетичним методом.

Завдання:

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи високонапірних швидкісних газопромивачів (скруберів Вентурі), призначених для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.
2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів високонапірного швидкісного газопромивача (скрубера Вентурі), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за енергетичним методом.
3. Виконати технологічний розрахунок параметрів високонапірного швидкісного газопромивача (скрубера Вентурі), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за енергетичним методом, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- визначати доцільність використання схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на промислових територіях;
- обґрунтовувати доцільність використання пристроїв сухої інерційної очистки від пилу, мокрої очистки та фільтрації, електрофільтрації.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Загальна характеристика високонапірних швидкісних газопромивачів (скруберів Вентурі)

Серед мокрих пиловловлювачів найбільшу ефективність очищення газів (повітря) від дрібнодисперсного пилу мають установки з трубою Вентурі.

Більш висока ефективність пиловловлювання, в порівнянні з порожніми газопромивачами, досягається в скруберах Вентурі створенням розвинутої поверхні контакту фаз, що потребує і значно більш високих енерговитрат. Утворення тонкодисперсного аерозолю відбувається, при цьому, як за рахунок механічної диспергації промивної рідини, так і внаслідок інтенсивного випаровування крапель при різкому падінні тиску в горловині. Це призводить також до підвищення вологості газу та інтенсифікації капілярної конденсації вологи на поверхні частинок пилу. Остання причина може служити поясненням

того, що ступінь очищення пилу в скруберах Вентурі слабко залежить від її змочуваності.

Під швидкісним пиловловлювачем Вентурі (рис. 5.1) розуміють апарат, що складається з труби-розпилювача для подрібнення рідини під дією повітряного (газового) потоку, що рухається з великою швидкістю, та краплевловлювача.

Основна частина скрубера – сопло Вентурі *2*, в конфузорну частину якого підводиться запилений потік газу і через відцентрові форсунки *1* рідина на зрошення. В конфузорній частині сопла відбувається розгін газу від вхідної швидкості ($w_{вх}$=15-20 м/с) до швидкості у вузькому перетині сопла $w_г$=40-200 м/с та більше. Процес осадження частинок пилу на краплі рідини обумовлений масою рідини, розвинутою поверхнею крапель і високою відносною швидкістю частинок рідини та пилу в конфузорній частині сопла.

Ефективність очищення в значній мірі залежить від рівномірності розподілу рідини за перетином конфузорної частини сопла.

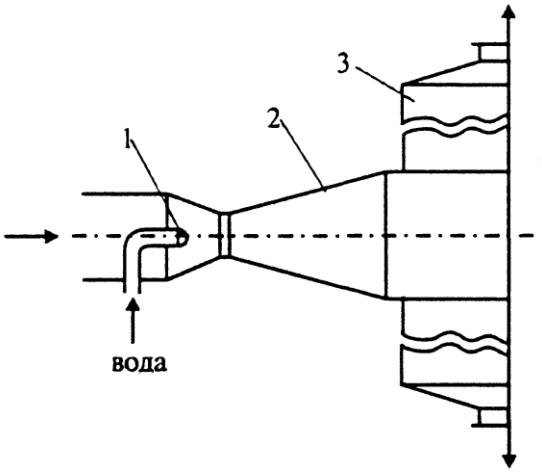


Рисунок 5.1 – Схема скрубера Вентурі
1 – форсунка; 2 – сопло Вентурі; 3 – краплевловлювач

В дифузорі труби відбувається ріст тиску та зниження швидкості потоку до $w_{вихід}$=15-20 м/с, що сприяє коагуляції дрібних частинок. З дифузора газовий потік виносить краплі рідини з частинками пилу, що на них осаджуються, в краплевловлювач *3*, де відбувається сепарація завислих часточок. Для вловлювання пилу після труби Вентурі можна використовувати скрубери, циклони з водяною плівкою, циклони-промивачі СІОТ тощо. В цих апаратах здійснюється вловлювання попередньо скоагульованих пилових частинок. Краплевловлювач, зазвичай, виконується у вигляді прямоточного циклону.

Характерним елементом для даного пристрою є труба Вентурі (рис. 5.2), де відбувається контакт повітряного (газового) потоку, що містить у завислому стані пилові частинки, з тонко розпилювальною водою.

За величиною гідродинамічного опору труб Вентурі розрізнюють низьконапірні та високонапірні скрубери. Низьконапірні скрубери з опором розпилювача до 5 кПа застосовуються для вловлювання пилу з розміром частинок більше 20 мкм.

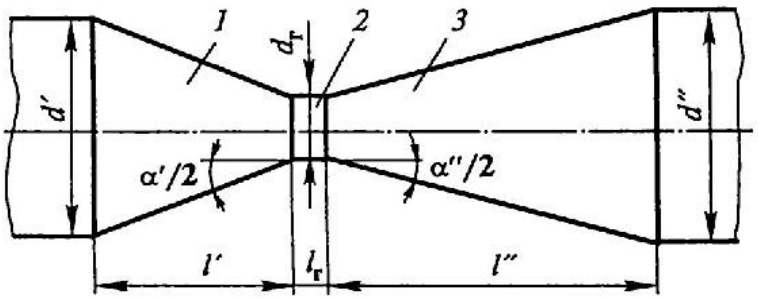


Рисунок 5.2 – Схема труби Вентурі
1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – дифузор

Ефективне вловлювання дрібних частинок вимагає більш високих енерговитрат. Скрубери з високонапірними трубами Вентурі можуть осаджувати частинки розміром 0,5 мкм і вище. Швидкість потоку у високонапірних трубах наближається до швидкості звука, а їхній опір досягає кількох десятків кПа (до 20-30 кПа).

Для труб Вентурі оптимальними вважаються наступні геометричні характеристики (див. рис. 5.2): кут звуження конфузору α'=25-28°, довжина горловини $l_г$=0,15·$d_г$, кут розкриття дифузору α''=6-8°.

Скрубери Вентурі можуть розрізнятися влаштуванням краплевловлювача, конструкціями та способами встановлення труб, способами підведення рідини. Краплевловлювачі можуть бути виносними (рис. 5.3) або розміщуватися в одному корпусі з трубою (рис. 5.4).

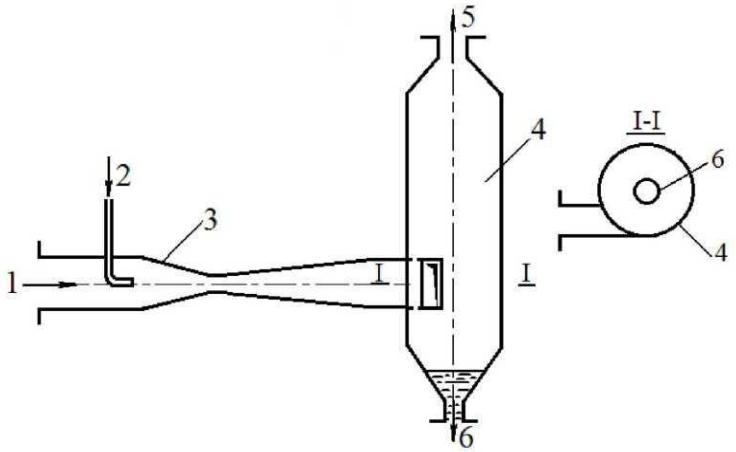


Рисунок 5.3 – Схема скрубера Вентурі з виносним краплевловлювачем
1 – підведення запиленого газу; 2 – підведення зрошувальної рідини; 3 – труба Вентурі; 4 – циклон-краплевловлювач; 5 – відведення очищеного газу; 6 – відведення шламу

Труби можуть мати круглий, кільцевий або прямокутний (щілинний) перетин горловини.

За конфігурацією поперечного перетину труби Вентурі можуть бути круглі, прямокутні (щілинні) та кільцеві.

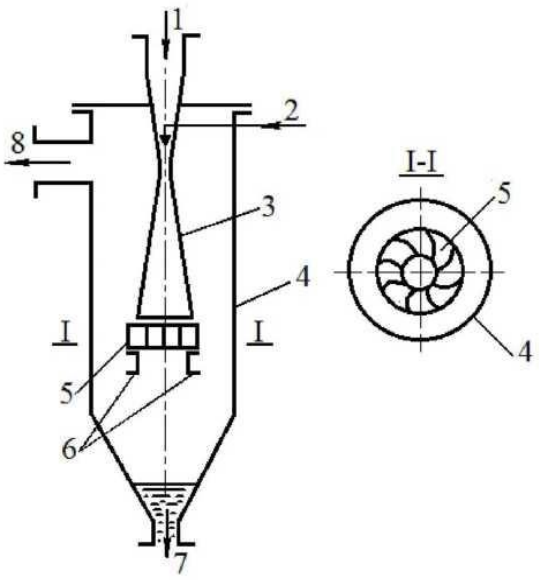


Рисунок 5.4 – Схема скрубера Вентурі з вбудованим краплевловлювачем

1 – підведення запиленого газу; 2 – підведення зрошувальної рідини; 3 – труба Вентурі; 4 – циклон-краплевловлювач; 5 – відцентровий завихрювач; 6 – патрубок для концентрації шламу; 7 – відведення шламу; 8 – відведення очищеного газу

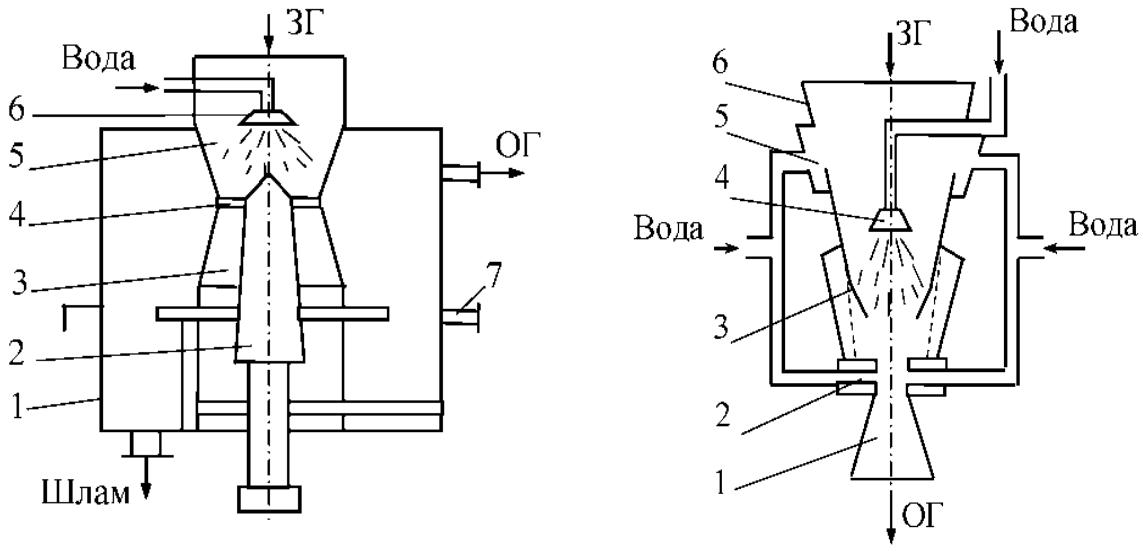
При витратах газу до 3 м^3/с зазвичай застосовують труби Вентурі круглого перетину. При більших витратах газу та збільшенні діаметра труби можливості рівномірного розподілу зрошення за перетином круглої труби різко погіршуються. Тому застосовують кілька паралельно працюючих труб, а при витратах газу більше 10 м^3/с рекомендується застосовувати труби Вентурі з кільцевою горловиною та центральним підведенням зрошення або прямокутні (щілинні) труби Вентурі з плівковим зрошенням (рис. 5.5).

Перша конструкція (рис. 5.5, а) є більш надійною, оскільки в ній регулювальний механізм винесено з зони контакту з запиленим газом.

Надійна та ефективна робота мокрих пиловловлювачів значною мірою залежить від правильного вибору пристроїв підведення рідини.

Вода в горловину труби може подаватися через форсунки різних конструкцій, що встановлюються по центру чи периферійно, або стікати у вигляді плівки по стінках конфузору (рис. 5.6, а-в). Найгірші показники по дробленню крапель і, отже, за ступенем очищення мають безфорсункові труби Вентурі (рис. 5.6, г). В той же час вони допускають використання оборотної неочищеної рідини, що може бути важливим при спільному вловлюванні газоподібних і дисперсних домішок (наприклад, при нейтралізації кислих газів вапняковим молоком).

Спосіб подачі рідини значною мірою впливає на розподіл енергії, що витрачається на проведення процесу. В апаратах, де головна роль в енергетичних витратах належить зрошувальній рідині (порожні форсункові скрубери, скрубери Вентурі, ежекційні апарати тощо), застосовуються енергоємні засоби підведення зрошення – форсунки, що працюють під високим тиском.



а) б)

Рисунок 5.5 – Конструктивна схема труби Вентурі

а) з регулювальним перетином кільцевої горловини:
1 – корпус; 2 – регулювальний конус; 3 – дифузор; 4 – горловина;
5 – конфузор; 6 – форсунка; 7 – відцентровий краплевловлювач;
б) з регулювальним перетином прямокутної (щілинної) горловини:
1 – дифузор; 2 – форсунки нижнього ярусу зрошування; 3 – регулювальні лопаті; 4 – форсунка; 5 – конфузор; 6 – кишеня плівкового зрошування;
ЗГ – забруднений газ; ОГ – очищений газ

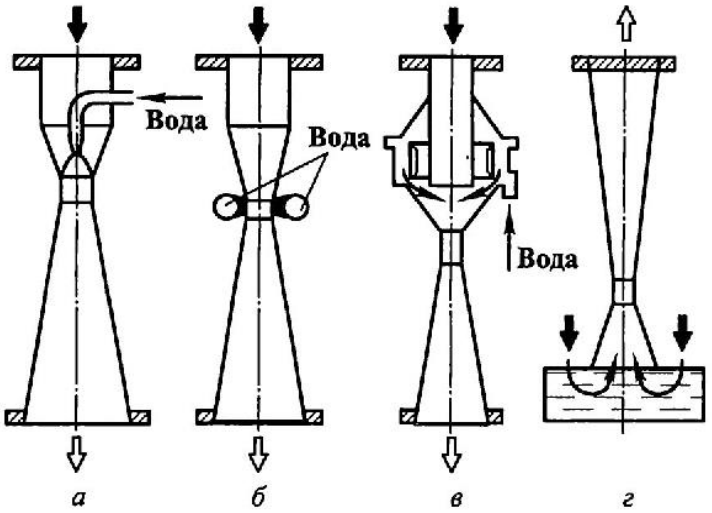


Рисунок 5.6 – Конструкції труб Вентурі

а – центральне форсункове зрошення; б – периферійне зрошення; в – плівкове зрошення; г – з підведенням рідини за рахунок енергії газового потоку

Форсунки поділяються на три основні групи: механічні, пневматичні та електричної дії.

В мокрих пиловловлювачах застосовуються відцентрові та струминні

механічні, рідше – форсунки пневматичної дії. В основному, застосовуються відцентрові форсунки.

Витрати води, що розпилюється в ШПВ (швидкісний пиловловлювач), коливаються в широких межах і складають від 1 до 80 л на 100 м^3 повітря, що очищається. Витрати залежать від виду вловлюваного пилу, його концентрації в повітрі, що очищається, а також від конструкції ШПВ. Для розпилення води перед форсунками необхідний опір повинен складати 200-300 кПа.

Ефективність вловлювання частинок пилу розміром 5 мкм складає 99,6%.

ШПВ Вентурі застосовують для вловлювання пилу та відгонів чорної та кольорової металургії, пилу харчових виробництв, що не змінюють своїх властивостей при контакті з водою, наприклад, цукрової та інших, при початковій концентрації пилу в доволі широкому діапазоні – 0,05-100 г/м^3.

Головною перевагою ШПВ Вентурі є простота пристрою та малі габаритні розміри установки.

Серед низьконапірних скруберів Вентурі широке розповсюдження отримали так звані коагуляційні мокрі пиловловлювачі (КМП), які являють собою апарат із суміщеною трубою-коагулятором і циклоном із водяною плівкою (ЦВП).

За визначальний розмір КМП прийнято діаметр горловини $d_г$ труби-коагулятора, який в ряду розмірів змінюється від 250 до 1000 мм. Дані апарати можуть працювати в широкому діапазоні витрат газу (7-230 тис. м^3/годину) при швидкості газу в горловині 40-70 м/с. Гідравлічний опір при цьому складає 12-35 кПа, а питомі витрати води 0,2-0,6 л/м^3 газу. Технічні характеристики типових КМП наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристики газопромивачів КМП

Показники	Типорозміри						
	КМП-2,5	КМП-3,2	КМП-4	КМП-5	КМП-6,3	КМП-7,1	КМП-8
Продуктивність, м^3/с	1,94-3,89	3,33-5,56	5,0-9,72	7,78-15,28	12,5-23,89	16,1-30,56	19,44-38,89
Діаметр горловини, мм	250	320	400	500	630	710	800
Довжина, мм	2300	2800	3540	3980	4480	5240	5720
Ширина, мм	1415	1845	2240	2705	3190	3695	4105
Висота, мм	3350	4990	5630	7645	8360	9290	10060
Максимальне розрідження, Па	500						
Початкова запиленість, г/м^3	90						

Газопромивач КМП очищає викиди з початковою запиленістю повітря до 30 г/м^3 і застосовується для вловлювання пилу з розміром частинок більше 20 мкм, а також для очищення повітря, що видаляється витяжними системами вентиляції, від пилу дрібної та середньої дисперсності концентрацією від 0,05 до 100 г/м^3.

Розроблено 10 типорозмірів скруберів Вентурі з кільцевими регулюючими

перетинами, що дозволяють очищати запилені гази при витратах 2500 тис. м^3/годину та гідравлічному опорі від 4 до 12 кПа.

Технічні характеристики скруберів Вентурі з кільцевим регулювальним перетином наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики скруберів Вентурі з кільцевим регулювальним перетином

Типорозмір	Продуктивність, тис. м^3/с	Швидкість газу у вільному перетині пиловловлювач, м/с	Кількість краплевловлювачів, шт.	Діаметр, мм			Хід обтікача, мм	Висота скрубера, мм
				краплевловлювача	горловини труби Вентурі	обтікача в горловині		
СВ 150/90-800	0,56-1,94	1,4-5,0	1	800	150	90	250	4095
СВ 210/120-1200	1,94-4,17	2,3-5,0	1	1200	210	120	250	4980
СВ 300/180-1600	4,17-8,33	2,5-5,0	1	1600	300	180	350	6205
СВ 400/250-2200	8,33-13,89	3,0-5,0	1	2200	400	250	350	7400
СВ 900/820-1600	13,89-22,22	6,9-11,0	1	1600	900	820	150	9160
СВ 1020/920-2000	22,22-33,33	7,1-10,6	1	2000	1020	920	185	11060
СВ 1150/1020-2400	33,33-50,0	7,4-11,0	1	2400	1150	1020	212	13165
СВ 1380/1220-2000	50,0-66,67	7,1-10,6	2	2000	1380	1220	245	11060
СВ 1620/1420-2400	66,67-94,44	7,4-10,4	2	2400	1620	1420	350	13165
СВ 1820/1620-2800	94,44-138,89	7,7-11,3	2	2800	1860	1620	400	14880

В скруберах чотирьох перших номерів регулювання витрат газу забезпечується за допомогою конічних обтікачів з кутом розкриття 7°, а для інших – еліптичними обтікачами, що дозволяють регулювати швидкість газу в горловині від 85 до 145 м/с. Скрубери останніх трьох типорозмірів мають подвійні циклонні краплевловлювачі.

Для використання в промисловості на базі оптимальної конфігурації труби Вентурі розроблено типорозмірний ряд високонапірних скруберів Вентурі ГВПВ. Основні характеристики апаратів цього ряду наведені в табл. 5.3.

Зрошення в трубі Вентурі відбувається через цілісно-факельні форсунки, що встановлюються над конфузором під кутом до осі труби 60°. Апарати призначені для очищення газів з температурою до 400 °С та початковою запиленістю до 30 г/м^3. Вміст зависі в рідині, що подається на зрошення, не повинен перевищувати 500 мг/л.

В якості краплевловлювача для них використовуються малогабаритні прямоточні циклони КЦТ. Технічні характеристики типорозмірного ряду краплевловлювачів КЦТ наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.3 – Технічні характеристики високонапірних скруберів Вентурі ГВПВ

Типорозмір апарата ГВПВ	Площа перетину горловини труби Вентурі, $м^2$	Діаметр горловини D, мм	Продуктивність (за вихідними параметрами газу), $м^3$/годину	Витрати рідини на зрошення, $м^3$/годину	Тиск рідини перед форсункою, кПА
ГВПВ-0,006	0,006	85	1700-3500	1,18-3,2	180-370
ГВПВ-0,006-01				3,2-6,84	60-130
ГВПВ-0,010	0,010	115	3100-6500	2,16-5	80-410
ГВПВ-0,010-01				5-12,6	60-400
ГВПВ-0,014	0,014	135	4140-8400	2,9-5	80-410
ГВПВ-0,014-01				5-16,8	60-700
ГВПВ-0,019	0,019	155	5590-11340	3,9-13	80-980
ГВПВ-0,019-01				13-22,7	420-710
ГВПВ-0,025	0,025	180	7490-15120	5,2-13	150-980
ГВПВ-0,025-01				13-30	80-450
ГВПВ-0,030	0,031	200	9320-18900	6,5-13	60-250
ГВПВ-0,030-01				13-38	100-910
ГВПВ-0,045	0,045	240	13800-28000	9,75-30	60-570
ГВПВ-0,045-01				30-56	110-390
ГВПВ-0,060	0,062	280	18630-37800	13-30	100-570
ГВПВ-0,060-01				30-75,6	110-710
ГВПВ-0,080	0,080	320	23460-47600	16,8-45	75-570
ГВПВ-0,080-01				45-95,2	110-500
ГВПВ-0,100	0,107	370	32430-65800	22,6-45	80-320
ГВПВ-0,100-01				45-131,6	63-540
ГВПВ-0,140	0,138	420	41400-84000	28,8-45	130-320
ГВПВ-0,140-01				45-168	63-880

Таблиця 5.4 – Технічні характеристики краплевловлювача типу КЦТ

Типорозмір краплевловлювача	Діаметр апарата D, мм	Продуктивність, $м^3$/годину
КЦТ-400	400	1700
КЦТ-500	500	3550
КЦТ-600	600	5000
КЦТ-700	700	6900
КЦТ-800	800	9000
КЦТ-900	900	11500
КЦТ-1000	1000	14000
КЦТ-1200	1200	20000
КЦТ-1400	1400	24200
КЦТ-1600	1600	36500
КЦТ-1800	1800	45000
КЦТ-2000	2000	56000
КЦТ-2200	2200	69000
КЦТ-2400	2400	82500

Краплевловлювач типу КЦТ встановлюють у технологічній лінії за трубами Вентурі типу ГВПВ. Вони призначені для вловлювання крапель рідини з частинками пилу, що осаджуються на них.

Краплевловлювач являє собою малогабаритний прямоточний циклон із вхідним патрубком прямокутного перетину та вихідним патрубком круглого перетину.

Можуть бути також використані в якості самостійного ступеня очищення при вловлюванні пилу розміром частинок більше 5 мкм.

Концентрація рідини в газі, що надходить в апарат не більше 1 л/м^3. Гранична температура газу, що очищується, – 80 °С. Швидкість газу у вільному перетині апарата – 3,5-5 м/с. Гідравлічний опір складає 350 Па. Концентрація крапельної вологи на виході – 70 мг/м^3.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Порядок розрахунку високонапірних швидкісних газопромивачів (скруберів Вентурі), призначених для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за енергетичним методом

1. Необхідний ступінь очищення газопилової суміші у високонапірному скрубері Вентурі за визначається формулою:

$$\eta_{необ} = \frac{C_{вх} - C_{вихід}}{C_{вх}} \cdot 100 \text{ , \%,} \qquad (5.1)$$

$C_{вх}$ – початкова концентрація частинок пилу, що надходять до очисної споруди, мг/м^3; г/м^3 → мг/м^3;

$C_{вихід}$ – концентрація частинок пилу на виході з очисної споруди, мг/м^3.

Враховуючи, що граничнодопустима концентрація нетоксичного пилу в повітрі населених пунктів складає 0,15 мг/м^3, приймаємо вміст пилу на виході з очисної споруди в межах (10-15)·ГДК, тобто 1,5-2 мг/м^3.

2. Число одиниць переносу (параметр, що характеризує процеси в масообмінних апаратах) за визначається формулою:

$$N = \frac{1}{\ln(1 - \eta_{необ})}. \qquad (5.2)$$

В табл. 5.5 наведено числа одиниць переносу для деяких значень коефіцієнтів очищення, що розраховані за співвідношенням (5.2).

Таблиця 5.5 – Залежність числа одиниць переносу N від необхідного ступеня очищення газів

$з_{необ}$, %	N	$з_{необ}$, %	N	$з_{необ}$, %	N	$з_{необ}$, %	N
90	2,303	99	4,605	99,9	6,908	99,99	9,210
95	2,996	99,1	4,710	99,91	7,013	99,991	9,316
95,5	3,101	99,2	4,828	99,92	7,131	99,992	9,433
96	3,219	99,3	4,962	99,93	7,264	99,993	9,567
96,5	3,352	99,4	5,116	99,94	7,419	99,994	9,721
97	3,507	99,5	5,298	99,95	7,601	99,995	9,903
97,5	3,689	99,6	5,521	99,96	7,824	99,996	10,127
98	3,912	99,7	5,809	99,97	8,112	99,997	10,414
98,5	4,200	99,8	6,215	99,98	8,517	99,999	11,513

3. Використовуючи дані табл. 5.6, приймаємо значення величин B і k. Якщо заданого виду пилу немає в таблиці, бажано провести пошук інформації за іншими джерелами. При повній відсутності необхідних даних приймаємо значення величин B і k для подібних видів пилу, промислового обладнання, технологічних процесів тощо.

Таблиця 5.6 – Значення величин B і k для деяких видів дисперсних забруднень

Найменування забруднювача	B	k
1. Аерозоль із вапнякових печей	$5{,}53\cdot10^{-5}$	1,2295
2. Аерозоль сульфату міді	$2{,}14\cdot10^{-4}$	1,0679
3. Аерозоль свинцю та цинку з шахтних печей	$6{,}74\cdot10^{-3}$	0,4775
4. Аерозоль фосфорної кислоти	$1{,}34\cdot10^{-2}$	0,6312
5. Зола-уніс, пиловидне спалювання вугілля	$4{,}34\cdot10^{-3}$	0,3
6. Пил ваграночний	$1{,}355\cdot10^{-2}$	0,621
7. Пил доменний	$1{,}925\cdot10^{-1}$	0,326
8. Пил колошниковий	$6{,}61\cdot10^{-3}$	0,891
9. Пил конвертерів при продуванні киснем зверху	$9{,}88\cdot10^{-2}$	0,4663
10. Пил конвертерів томасівських	0,268	0,2589
11. Пил печей вапнякових	$6{,}5\cdot10^{-4}$	1,0529
12. Пил печей карбідних (в димових газах)	$0{,}823\cdot10^{-3}$	0,914
13. Пил печей мартенівських на дутті повітряному	$1{,}74\cdot10^{-6}$	1,594
14. Пил печей мартенівських на дутті, збагаченому киснем	$1{,}565\cdot10^{-6}$	1,619
15. Пил печей плавильних (для латуні) з оксидами цинку	$2{,}34\cdot10^{-2}$	0,5317
16. Пил печей плавильних закритих (для ферохрому)	$6{,}49\cdot10^{-5}$	1,1
17. Пил печей плавильних закритих електричних (для феросиліцію)	$2{,}42\cdot10^{-5}$	1,26
18. те ж, феросплавних (для силікомарганцю)	$6{,}9\cdot10^{-3}$	0,67
19. Пил печей виробництва калійних добрив	$9{,}05\cdot10^{-11}$	2,92
20. Пил печей виробництва целюлози	$4\cdot10^{-4}$	1,05
21. Пил виробництва каоліну	$2{,}34\cdot10^{-4}$	1,15
22. Пил виробництва мила (дурнопахучі речовини)	$1{,}09\cdot10^{-5}$	1,4146
23. Пил виробництва чорного лугу, обробка сухих газів	$9{,}3\cdot10^{-4}$	0,861
24. те ж, попередньо зволожених газів	$1{,}32\cdot10^{-3}$	0,861
25. Пил виробництва фосфорних добрив (після циклону)	0,12	0,454
26. Пил тальковий	0,206	0,3506
27. Сажа процесу електрокрекінгу метану	10^{-5}	1,36
28. Солі натрію в димових газах печей термообробки стічних вод	$0{,}21\cdot10^{-5}$	1,515

4. За рівнянням (5.3) визначаємо частку енерговитрат, що необхідні для забезпечення необхідного числа одиниць переносу:

$$N = B \cdot A^k . \quad (5.3)$$

Звідси, $A = \left(\frac{N}{B}\right)^{1/k}$, Дж/1000 м^3 газу. (5.4)

5. Загальний гідравлічний опір високонапірного скрубера Вентурі визначається за формулою:

$$\Delta P_{CB} = A - m \cdot \Delta P_p , \text{ Па}, \quad (5.5)$$

m – величина питомого зрошення, м^3/м^3. При роботі в режимі тонкого очищення на високодисперсному пилу питомі витрати води на зрошення приймаються в межах m=0,5-1,5 л/м^3 газів (m, л/м^3 → м^3/м^3).

ΔP_p – тиск води, що надходить на зрошення, Па. Величина приймається рівною в межах 0,2-0,3 МПа.

6. Гідравлічний опір труби Вентурі визначається за формулою:

$$\Delta P_{TB} = \Delta P_{CB} - \Delta P_ц , \text{ Па}, \quad (5.6)$$

$\Delta P_ц$ – гідравлічний опір циклону-краплевловлювача, Па. Гідравлічний опір краплевловлювача типу КЦТ приймають рівним $\Delta P_ц$=350 Па.

7. Щільність газу на вході в трубу Вентурі з врахуванням заданих робочих умов визначається за формулою:

$$\rho_г = \rho_0 \cdot \frac{273}{(273 + t_г)} , \text{ кг/м}^3, \quad (5.7)$$

ρ_0 – щільність газу за нормальних умов (при температурі 20 °С), кг/м^3. Величина дорівнює ρ_0=1,293 кг/м^3.

8. Об'ємні витрати газу, що надходить на очищення в трубу Вентурі, при заданих робочих умовах визначаються за формулою:

$$V_p = V_0 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_г} , \text{ м}^3\text{/годину}, \quad (5.8)$$

V_0 – об'ємні витрати газу, що надходить на очищення, за нормальних умов, м^3/годину; м^3/добу → м^3/годину.

9. Температура газу насиченого вологою на виході з скрубера Вентурі визначається за формулою:

$$t_{вихід} = (0{,}133 - 0{,}041 \cdot m) \cdot t_г + 35 , \text{ °С}, \quad (5.9)$$

m, м^3/м^3 → кг/м^3. Для переведення величини питомих витрат води на зрошення в кг/м^3 необхідно $m \cdot \rho_p$, де ρ_p – щільність води, що дорівнює ρ_p=1000 кг/м^3.

10. Щільність газу на виході з труби Вентурі визначається за формулою:

$$\rho_{вихід} = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot [101{,}3 - \Delta P_{TB}]}{(273 + t_{вихід}) \cdot 101{,}3} , \text{ кг/м}^3. \quad (5.10)$$

101,3 – тиск газу за нормальних умов, кПа;

ΔP_{TB}, Па → кПа.

11. Обираємо спосіб підведення зрошувальної рідини в трубі (див. загальні положення до методики розрахунку).

12. Приймаємо значення коефіцієнта гідравлічного опору сухої труби Вентурі без зрошення ξ_c.

Для труб Вентурі з круглою та прямокутною горловинами при співвідношенні $l_г / d_{ст}$ =0,15 коефіцієнт гідравлічного опору приймається в межах ξ_c=0,12-0,15, де $l_г$ – довжина горловини труби Вентурі, м; $d_{ст}$ – стандартний діаметр горловини високонапірних труб Вентурі, м.

При великому співвідношенні $l_г / d_{ст}$ (до 10) цей коефіцієнт розраховується за залежністю:

$$\xi_c = 0{,}165 + 0{,}034 \cdot \left(l_г / d_{ст} \right) \cdot \left[0{,}06 + 0{,}028 \cdot \left(l_г / d_{ст} \right) \right] \cdot M , \quad (5.11)$$

M – число Маха, яке обчислюється як відношення швидкості газу в горловині ($w_г$, м/с) до швидкості звуку ($w_{звук}$, м/с), що приймаються за температурою та тиском на виході з труби:

$$M = \frac{w_г}{w_{звук}}, \quad (5.12)$$

$w_{звук}$ – швидкість звуку в газі, м/с, що приймається рівною $w_{звук}$=330 м/с.

13. Значення коефіцієнта гідравлічного опору труби Вентурі $\xi_р$, обумовлений введенням зрошувальної рідини, визначається за формулою:

$$\xi_р = 0{,}63 \cdot \xi_c \cdot \left(\frac{M_р}{M_{газ}} \cdot \frac{\rho_{вихід}}{\rho_р} \right)^{-0{,}3}, \quad (5.13)$$

$M_р$ – витрати зрошувальної рідини (води), що визначаються за формулою:

$$M_р = V_р \cdot m \cdot \rho_р , \text{ кг/с}, \quad (5.14)$$

$V_р$, м^3/годину → м^3/с;

m, м^3/м^3;

$M_{газ}$ – масові витрати газу, що визначаються за формулою:

$$M_{газ} = V_р \cdot \rho_г , \text{ кг/с}, \quad (5.15)$$

$V_р$, м^3/годину → м^3/с.

14. Швидкість газу в горловині труби Вентурі визначається за формулою:

$$w_г = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{ТВ}}{\left(\xi_c \cdot \rho_{вихід} \right) + \left(\xi_р \cdot m \cdot \rho_р \right)}} , \text{ м/с}, \quad (5.16)$$

m, м^3/м^3.

15. Об’ємні витрати газу на виході з труби Вентурі визначаються за формулою:

$$V_{вихід} = V_0 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_{вихід}} , \text{ м}^3\text{/с}, \quad (5.17)$$

V_0, м^3/добу → м^3/с.

16. Діаметр горловини труби Вентурі визначається за формулою:

$$d_г = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{вихід}}{\pi \cdot w_г}} , \text{ м}. \quad (5.18)$$

17. За допомогою табл. 5.3 підбираємо стандартний діаметр ($d_{ст}$, мм) горловини високонапірної труби Вентурі.

Якщо отримане значення діаметра горловини перевищує найбільший діаметр горловини типорозмірного ряду високонапірних труб Вентурі, необхідно встановити кілька паралельно працюючих труб Вентурі (N=2, 4 …) і після цього визначити діаметр горловини кожної з труб Вентурі за формулою:

$$d_г^{/} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{вихід}}{\pi \cdot w_г \cdot N}}\text{, м.} \qquad (5.19)$$

За обчисленим значенням $d_г^{/}$ приймаємо стандартний діаметр горловини труби Вентурі ($d_{ст}$, мм) у відповідності з типорозмірним рядом, наведеним в табл. 5.3.

18. Уточнюємо швидкість газу в горловині труби Вентурі за формулою:

$$w_г^{/} = \frac{4 \cdot V_{вихід}}{\pi \cdot \left(d_{ст}\right)^2 \cdot N}\text{, м/с,} \qquad (5.20)$$

N – кількість паралельно працюючих труб Вентурі.

19. Довжина горловини труби Вентурі визначається за формулою:

$$l_г = 0{,}15 \cdot d_{ст}\text{, м.} \qquad (5.21)$$

20. Діаметр вхідного отвору конфузору визначається за формулою:

$$d_{кон} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_р}{\pi \cdot w_{вх} \cdot N}}\text{, м,} \qquad (5.22)$$

$V_р$, м^3/годину → м^3/с;

$w_{вх}$ – швидкість газу на вході в конфузор, м/с. Приймається $w_{вх}$=15-20 м/с (зазвичай приймають 15 м/с).

21. Довжина конфузору визначається за формулою:

$$l_{кон} = \frac{\left(d_{кон} - d_{ст}\right)}{2 \cdot tg\left(\alpha_1 / 2\right)}\text{, м,} \qquad (5.23)$$

α_1 – кут звуження конфузору. Приймається α_1=25-28^o (зазвичай приймають 28^o).

22. Діаметр вихідного отвору дифузору визначається за формулою:

$$d_{диф} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{вихід}}{\pi \cdot w_{вих} \cdot N}}\text{, м,} \qquad (5.24)$$

$V_{вихід}$, м^3/годину → м^3/с;

$w_{вих}$ – швидкість газу на виході з дифузору, м/с. Приймається $w_{вих}$=15-20 м/с (зазвичай приймають 20 м/с).

23. Довжина дифузору визначається за формулою:

$$l_{диф} = \frac{\left(d_{диф} - d_{ст}\right)}{2 \cdot tg\left(\alpha_2 / 2\right)}\text{, м,} \qquad (5.25)$$

α_2 – кут розкриття дифузору. Приймається α_2=6-8^o (зазвичай приймають 7^o).

24. Загальна довжина труби Вентурі визначається як сума довжини горловини, конфузору та дифузору за формулою:

$$l_{ТВ} = l_{г} + l_{кон} + l_{диф}, \text{ м.} \quad (5.26)$$

Вибір і розрахунок циклона-краплевловлювача

25. Необхідний діаметр циклона-краплевловлювача визначається за формулою:

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{вихід}}{\pi \cdot w_{ц}}}, \text{ м,} \quad (5.27)$$

$V_{вихід}$, м^3/годину → м^3/с;

$w_{ц}$ – умовна швидкість газу у вільному перетині циклона-краплевловлювача, м/с. Швидкість газу у вільному перетині краплевловлювача типу КЦТ приймається $w_{ц}$=3,5-5 м/с.

26. За допомогою табл. 5.4 підбираємо стандартний діаметр ($D_{ст}$, мм) циклона-краплевловлювача.

27. Висота циклона-краплевловлювача визначається за формулою:

$$H_{ц} = K_{ц} \cdot D_{ст}, \text{ м,} \quad (5.28)$$

$K_{ц}$ – коефіцієнт, що приймається в залежності від обраної швидкості газу в циклоні-краплевловлювачі за таблицею:

діапазон швидкості газу $w_{ц}$, м/с	2,5-3	3-3,5	3,5-4,5	4,5-5,5
значення коефіцієнта $K_{ц}$	2,5	2,8	3,8	4,5

28. Гідравлічний опір циклона-краплевловлювача уточнюється за формулою:

$$\Delta P_{ц} = \xi_{ц} \cdot \frac{(w_{ц})^2 \cdot \rho_{вихід}}{2}, \text{ Па,} \quad (5.29)$$

$\xi_{ц}$ – коефіцієнт гідравлічного опору, що приймається для прямоточного циклону в межах 30-33.

Перевірка ефективності очищення газопилової суміші за допомогою імовірнісного методу

29. Орієнтовний розмір крапель зрошувальної рідини визначається за емпіричним співвідношенням:

$$d_{к} = \frac{0{,}0585}{w_{крап}} \cdot \left(\frac{10^3 \cdot \sigma}{\rho_{р}}\right)^{0,5} + 1{,}884 \cdot \left[\frac{\mu_{р}}{(10^3 \cdot \sigma \cdot \rho_{р})^{0,5}}\right]^{0,45} \cdot \left(\frac{V_{рід}}{V_{р}}\right)^{1,5}, \text{ м} \rightarrow \text{мкм,} \quad (5.30)$$

$w_{крап}$ – швидкість газів відносно краплі, яку приймають рівною швидкості газового потоку в горловині труби $w_{г}'$, м/с;

$\mu_{р}$ – коефіцієнт динамічної в’язкості рідини при заданих робочих умовах, Па·с. Визначається методом інтерполяції в залежності від значення заданої температури води $t_{р}$, що надходить на зрошення, за табл. 5.7.

σ – коефіцієнт поверхневого натягу рідини при заданих робочих умовах, Н/м. Визначається методом інтерполяції в залежності від значення заданої температури води $t_{р}$, що надходить на зрошення, за табл. 5.7.

$V_{рід}$ – об’ємні витрати рідини, що визначаються за формулою:

$$V_{рід} = \frac{M_p}{\rho_p}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.31)$$

Результати визначення розміру крапель за формулою (5.30) слід розглядати як оціночні.

30. Інерційний параметр для кожної фракції заданого складу дисперсних забруднювачів визначається за формулою:

$$\psi_i = \frac{\left(d_i^{ср}\right)^2 \cdot \rho_ч \cdot w_г \cdot C_i}{18 \cdot \mu_г \cdot d_к}, \quad (5.32)$$

$d_i^{ср}$ – середньо-медіанний розмір вловлюваних частинок пилу певної фракції, мкм → м;

$\rho_ч$ – щільність частинок пилу, кг/м^3;

$\mu_г$ – коефіцієнт динамічної в’язкості газу при заданих робочих умовах, Па·с. Визначається методом інтерполяції в залежності від значення заданої температури газу $t_г$ за табл. 2.6.

C_i – поправка Каннінгема, що приймається за табл. 5.8 в залежності від середньо-медіанного розміру вловлюваних частинок пилу певної фракції.

Таблиця 5.7 – Значення динамічної в’язкості та поверхневого натягу води в залежності від температури

Температура t_p, °С	Динамічна в’язкість рідини $\mu_p \cdot 10^3$, Па·с	Поверхневий натяг σ, Н/м
0	1,787	0,07564
10	1,307	0,07422
20	1,002	0,07275
30	0,798	0,07118
40	0,653	0,06956
50	0,547	0,06791
60	0,467	0,06618
70	0,404	0,06442
80	0,355	0,06261
90	0,315	0,06075
100	0,282	0,05885

Таблиця 5.8 – Залежність коефіцієнта Каннінгема C від середньо-медіанного розміру вловлюваних частинок пилу певної фракції $d_i^{ср}$

$d_i^{ср}$, мкм	C	$d_i^{ср}$, мкм	C	$d_i^{ср}$, мкм	C	$d_i^{ср}$, мкм	C
0,01	22,5	0,10	2,89	1,0	1,166	5,0	1,033
0,05	5,02	0,50	1,334	2,0	1,083	10,0	1,017

Примітки. Для частинок з фізичними розмірами $d_i^{ср}$>10 мкм, поправочний коефіцієнт Каннінгема C=1.

31. Коефіцієнти захвату частинок певних фракцій краплями зрошувальної рідини визначаються за формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{(\psi_i)^2}{(\psi_i + 0{,}35)^2}. \qquad (5.33)$$

При значеннях ψ_i=150 величина ε_i перевищує 0,995. При значеннях ψ_i більше 170 можна приймати ε_i=1.

32. Приймаючи знайдені значення коефіцієнтів захвату за парціальні коефіцієнти очищення (ε_i=η_i), визначається загальна ефективність пиловловлення обраним типом високонапірного скрубера Вентурі за формулою:

$$\eta_{загальна} = \sum_{j=1}^{n} \eta_i \cdot m_i \text{ , \%}, \qquad (5.34)$$

m_i – масова частка частинок пилу i-тої фракції, що вказана у вихідних даних.

Результати розрахунків ефективності роботи обраного типу високонапірного скрубера Вентурі наведено в таблиці (приклад):

Фракція частинок пилу, мкм	Середнє значення розміру частинок пилу, d_i^{cp}, мкм	Фракційний розподіл частинок пилу (% від маси), m_i	Інерційний параметр $ш_i$	Коефіцієнт e_i	$з_i \cdot m_i$
>2,5	1	вихідні дані			
2,5-4,0	3	вихідні дані			
4,0-6,3	5	вихідні дані			
6,3-10	8	вихідні дані			
10-16	13	вихідні дані			
16-25	20	вихідні дані			
25-40	32	вихідні дані			
<40	50	вихідні дані			
				$\eta_{загальна} = \sum$	

33. Отримане значення ефективності очищення газу від частинок пилу в обраному типі високонапірного скрубера Вентурі $\eta_{загальна}$ зіставляється з необхідним значенням ступеня вловлювання пилу $\eta_{необ}$, %.

34. За результатами отриманих значень ефективності очищення газу від частинок пилу певної фракції в обраному типі високонапірного скрубера Вентурі будується графік. Приклад графіка залежності ефективності очищення газу у високонапірному скрубері Вентурі обраного типу від фракційного складу пилу наведено на рис. 5.7.

За результатами побудованого графіка можна вивести логарифмічну залежність ефективності очищення газу у високонапірному скрубері Вентурі обраного типу від фракційного складу пилу (якщо графік будується в програмі Excel!!!).:

Наприклад, $\eta_i = 12{,}61 \cdot \ln\left(d_i^{cp}\right)$,

R^2=0,9788.

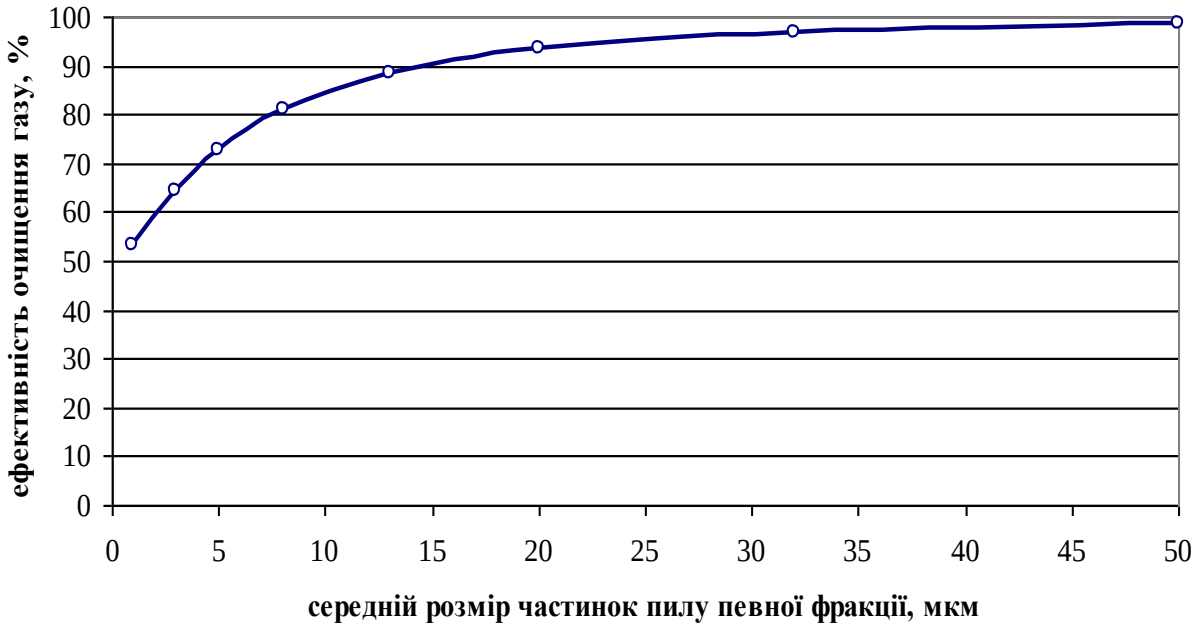


Рисунок 5.7 – Приклад побудови графіка залежності ефективності очищення газу у високонапірному скрубері Вентурі обраного типу від фракційного складу пилу

35. Концентрація пилу на виході з високонапірного скрубера Вентурі обраного типу визначається за формулою:

$$C_{вихід} = C_{вх} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{загальна}}{100}\right), \qquad (5.35)$$

$C_{вх}$ – початкова концентрація пилу в газі на вході у високонапірний скрубер Вентурі, г/м^3.

Розрахунок зрошувальної форсунки

36. Об'ємні витрати рідини, що розпилюється форсункою, визначаються за формулою:

$$Q_p = \frac{m \cdot M_{газ}}{n}, \text{ м}^3/\text{с}, \qquad (5.36)$$

$M_{газ}$, кг/с;

m, м^3/м^3 → кг/м^3 ($m \cdot \rho_p$);

n – число форсунок. Зазвичай приймається в межах від 1 до 4.

37. Діаметр отворів форсунки визначається за формулою:

$$d_ф = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot \lambda \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P_p / \rho_p}}}, \text{ м}, \qquad (5.37)$$

λ – коефіцієнт витрат води, що наближено дорівнює 0,73;

ΔP_p, МПа → Па.

Максимальний діаметр зони зрошення форсунки не повинен перевищувати 500 мм. При більших діаметрах можна встановити кілька форсунок.

38. Швидкість витоку води з форсунки визначається за формулою:

$$w_{ф} = \frac{4 \cdot Q_{р}}{\pi \cdot \left(d_{ф}\right)^{2} \cdot \varphi}, \text{ м/с,} \quad (5.38)$$

φ – коефіцієнт заповнення сопла. Для більшості форсунок коефіцієнт φ<1,0. Для відцентрово-струминних форсунок значення φ приймається рівним 1.

39. Площа перетину вхідного патрубка визначається за формулою:

$$S_{вх} = \frac{Q_{р}}{w_{ф}}, \text{ м}^2. \quad (5.39)$$

40. Діаметр вхідного патрубка визначається за формулою:

$$d_{вх} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{вх}}{\pi}}, \text{ м.} \quad (5.40)$$

41. Довжина вхідного патрубка визначається за формулою:

$$l_{вх} = \left(2 \div 3\right) \cdot d_{вх}, \text{ м.} \quad (5.41)$$

42. Висота камери закручування визначається за формулою:

$$H_{к} = 1{,}2 \cdot d_{вх}, \text{ м.} \quad (5.42)$$

43. Довжина сопла визначається за формулою:

$$l_{с} = \left(0{,}1 \div 0{,}2\right) \cdot d_{ф}, \text{ м.} \quad (5.43)$$

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок технологічних параметрів високонапірного швидкісного газопромивача (скрубера Вентурі), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за енергетичним методом, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 5.9-5.10.

Таблиця 5.9 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів високонапірного швидкісного газопромивача (скрубера Вентурі), призначеного для мокрого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, за енергетичним методом

Варіант	Показники					
	$C_{вх}$, г/м^3	$t_г$, ^{0}C	V_0, м^3/добу	$c_ч$, кг/м^3	$t_р$, ^{0}C	Вид забруднювача
1	0,6	200	53000	3220	28	12
2	2,5	120	75400	2400	21	11
3	1,05	275	80700	4200	33	6
4	0,43	60	92400	4400	26	26
5	1,58	130	61500	2900	22	4
6	0,38	28	82300	2400	36	27
7	18,5	45	59200	3980	24	20
8	0,98	75	79600	2800	31	28
9	30	270	64700	2750	34	9
10	24,4	130	88400	2890	25	1

продовження табл. 5.9

Варіант	Показники					
	$C_{вх}$, г/м^3	$t_г$, ^{0}С	V_0, м^3/добу	$c_ч$, кг/м^3	$t_р$, ^{0}С	Вид забруднювача
11	8,6	390	74200	4160	37	13
12	18	334	56100	4500	39	22
13	4,1	140	66500	2740	32	2
14	0,84	70	96600	2840	20	24
15	13	210	82700	2120	23	25
16	11,5	310	67800	3900	27	14
17	2,6	120	71600	3920	30	1
18	0,11	120	94500	3800	35	7
19	23	140	55900	3830	38	21
20	16,2	240	77300	2957	29	9

Таблиця 5.10 – Характеристика дисперсного складу пилу, що надходить на очищення у високо напірний швидкісний газопромивач (скрубер Вентурі), за варіантами

Варіант	Масова частка частинок пилу (m_i, % за масою) i-тої фракції d, мкм:							
	>2,5	2,5-4	4-6,3	6,3-10	10-16	16-25	25-40	<40
1	18	14	17	18	15	9,5	5,4	3,1
2	5	7	15	25	21	13	11,5	2,5
3	10	7	10	13	20	21	14	5
4	4	5	8	13	20	25	18	7
5	8	5	10	18	20	17	14	8
6	6	6	11	18	22	20	12	5
7	11	7	9	12	14	15	14	18
8	16	11	17	17	16	13	6,5	3,5
9	11	7	9	12	14	15	14	18
10	8	7	19	7	16	15	12	16
11	21	13	12	16	14	9	6	9
12	8	7	12	15	15	15	12	16
13	8	6	14	18	16	22	9	7
14	28	15	17	14	12	6	5	3
15	8	7	19	7	16	15	12	16
16	6	6	11	18	22	20	12	5
17	4,5	2,5	5	6	6	11	30	35
18	2,3	1,7	3,5	4,9	10,6	15	26	36
19	8	7	12	15	15	15	12	16
20	7,3	3,7	5	8	9	11	17	39

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Надати характеристику швидкісному пиловловлювачу Вентурі.

2. За рахунок чого в скруберах Вентурі досягається більш висока ефективність пиловловлювання?

3. Надати характеристику труби Вентурі.

4. Типи скруберів Вентурі.

5. Які бувають труби Вентурі за конфігурацією поперечного перетину?

6. За рахунок чого вода надходить в горловину труби Вентурі? Які конструкції пристроїв підведення рідини до скрубера Вентурі бувають?

7. Надати характеристику швидкісного пиловловлювача ШПВ.

8. Надати характеристику коагуляційного мокрого пиловловлювача КМП.

9. Надати характеристику високонапірного скрубера Вентурі ГВПВ.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РУКАВНИХ ФІЛЬТРІВ ЗІ ЗВОРОТНИМ ПРОДУВАННЯМ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ТОНКОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ ВІД ЧАСТИНОК ПИЛУ

Мета: набуття теоретичних знань у сфері технологій захисту атмосферного повітря та здобуття практичних навичок із технологічного розрахунку параметрів рукавних фільтрів зі зворотним продуванням, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.

Завдання:

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи рукавних фільтрів, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.

2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів рукавного фільтра, призначеного для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу.

3. Виконати технологічний розрахунок параметрів рукавного фільтра, призначеного для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- визначати доцільність використання схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на промислових територіях;

- обґрунтовувати доцільність використання пристроїв сухої інерційної очистки від пилу, мокрої очистки та фільтрації, електрофільтрації.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Характеристика методу фільтрування

Фільтруванням називається процес поділу запилених газів при їхньому русі через пористі перегородки, при якому завислі частинки пилу затримуються пористими перегородками, а очищені гази повністю проходять через них.

Принципова схема процесу фільтрування в пористій перегородці наведена на рис. 6.1.

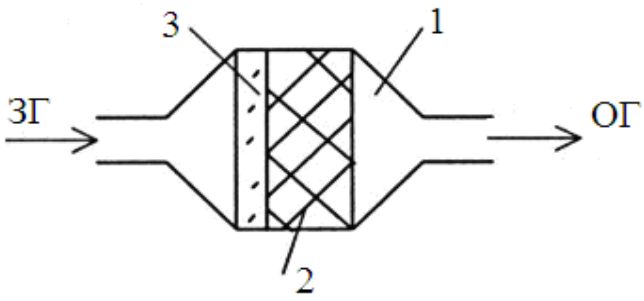


Рисунок 6.1 – Схема руху газів через пористу перегородку
1 – корпус; 2 – фільтруюча пориста перегородка; 3 – шар затримуваного пилу

При фільтрації тверді частинки пилу накопичуються в порах у вигляді пилового шару на поверхні перегородки і таким чином самі стають для частинок, що знову надходять, частиною фільтруючого середовища. З одного боку, це підвищує ефективність пиловловлення, з іншого – призводить до поступового зниження газопроникності фільтра. В міру накопичення частинок розмір пір та загальна пористість перегородки зменшуються, а опір руху газів зростає, тому виникає необхідність руйнування та видалення пилового шару (для зниження перепаду тиску та збереження початкової швидкості фільтрації).

Таким чином, процес фільтрування передбачає періодичну регенерацію фільтрувального матеріалу. Для пористих середовищ деяких видів (високоефективні волокнисті фільтри) регенерацію не здійснюють, а використаний фільтрувальний матеріал замінюють свіжим.

Процес фільтрування можна умовно поділити на дві стадії. На першій (початковій) стадії частинки, що осаджуються, накопичуються всередині пористої перегородки в незначній кількості, що не змінює її структури. На цій стадії гідравлічний опір та ефективність очищення газу не змінюються в часі та за величиною визначаються структурою фільтрувального матеріалу, характеристикою пилу та параметрами газу. Цей процес прийнято називати стаціонарним. На другій стадії процесу, внаслідок великої кількості осаджених частинок, пориста перегородка зазнає безперервних структурних змін, гідравлічний опір та ефективність очищення зростають у міру накопичення пилу в фільтрувальному матеріалі, внаслідок чого процес називається нестаціонарним.

Ефективність осадження частинок у початковий період роботи фільтра (коли тканина або зернистий шар ще чисті) невелика через відносно великі пори в фільтруючій перегородці.

Фільтрами називаються пристрої, в яких запилене повітря пропускається через пористі матеріали, здатні затримувати або осаджувати пил. Фільтр складається з корпусу, розділеного пористою перегородкою (фільтрувальним елементом) на дві порожнини – запиленого та очищеного газу (рис. 6.2). У фільтр надходять забруднені гази, які очищаються під час проходження фільтрувального елемента. Частинки домішок осідають на вхідній частині пористої перегородки та затримуються в порах, утворюючи на поверхні

перегородки шар. Для частинок, що знову надходять, цей шар стає частиною фільтрувальної перегородки, що збільшує ефективність очищення фільтра і перепад тиску на фільтрувальному елементі.

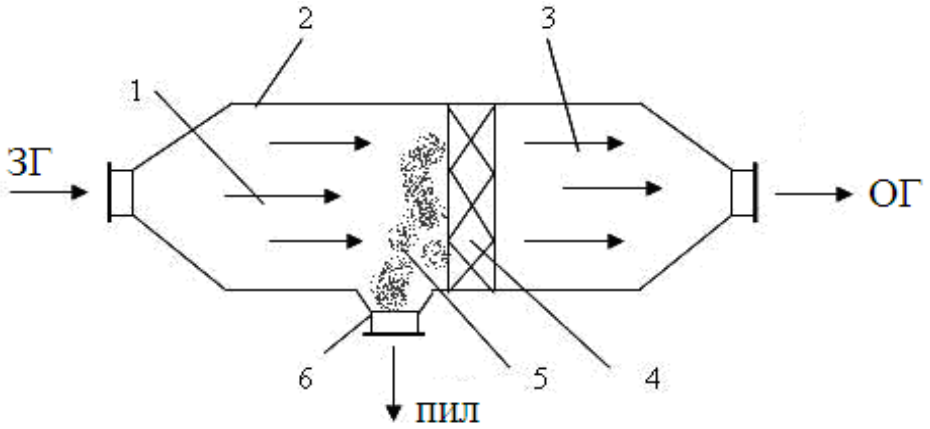


Рисунок 6.2 – Принцип дії апарату фільтруючого типу

1 – запилений газ; 2 – корпус; 3 – очищений газ; 4 – фільтрувальна перегородка; 5 – вловлюваний пил; 6 – пристрій для вивантаження пилу

В якості пористих перегородок можуть бути використані волокнисті ткані та неткані матеріали, насипний шар і жорсткі пористі матеріали.

Застосовувані в сучасних апаратах фільтрувальні пористі перегородки за своєю структурою дуже різноманітні, але здебільшого вони складаються з волокнистих або зернистих елементів, які умовно можуть бути розділені на наступні типи:

– гнучкі пористі перегородки. До них відносяться: ткані матеріали з природних, синтетичних та мінеральних волокон; неткані волокнисті матеріали (повсті, клеєні та голкопробивні матеріали, папір, картон, волокнисті мати); пористі листи (губчаста гума, пінополіуретан, мембранні фільтри);

– напівжорсткі пористі перегородки. До них відносяться: шари волокон, стружка, в'язані сітки, розташовані на опорних пристроях або затиснуті між ними;

– жорсткі пористі перегородки. До них відносяться: зернисті матеріали (пориста кераміка та пластмаса, спечені або спресовані порошки металів, скла, вуглеграфітових матеріалів тощо); волокнисті матеріали (відформовані шари зі скляних та металевих волокон); металеві сітки та перфоровані листи;

– зернисті шари. До них належать: нерухомі, вільно насипні матеріали; матеріали, що періодично або безперервно переміщуються; псевдозріджені гранули чи порошки.

Сучасні фільтри в залежності від призначення та величин вхідної та вихідної концентрацій вловлюваних частинок умовно поділяють на три класи.

Фільтри тонкого очищення (високоефективні) призначені для вловлювання з дуже високою ефективністю (більше 99%) в основному субмікронних частинок із промислових газів та повітря при низькій вхідній концентрації (менше 0,5-5 мг/м^3) та малій швидкості фільтрації (менше 6 м/хвилину). Такі фільтри

застосовують для вловлювання особливо токсичних речовин, а також для ультратонкого очищення повітря при проведенні різних технологічних процесів або в особливо чистих приміщеннях, в яких повітря служить робочим середовищем. Ці фільтри не піддаються регенерації.

Фільтри для очищення атмосферного повітря (повітряні фільтри) – призначені для знепилювання атмосферного повітря в системах припливної вентиляції та кондиціювання повітря. Вони розраховані працювати при концентрації пилу до 50 мг/м^3, часто за високої швидкості фільтрації (до 2,5-3 м/с). Фільтри цього класу бувають нерегенеровані, а також періодично або безперервно регенеруються.

Промислові фільтри (тканинні, зернисті) застосовуються для очищення промислових газів з високою концентрацією частинок (до 60 г/м^3 і більше). У багатьох випадках при підвищених температурах та вмісту в газах агресивних компонентів (SO_2 тощо). Для періодичного або безперервного видалення пилу, що накопичується в фільтруючій перегородці, фільтри цього класу мають пристрої для регенерації, що дозволяють підтримувати продуктивність на заданому рівні і повертати цінні продукти у виробництво. Фільтри цього класу нерідко є складовою технологічного устаткування.

Переваги фільтрів:

- більш високий ступінь очищення газів від завислих частинок, ніж у газоочисних апаратах інших типів (фільтри забезпечують практично повне вловлювання частинок всіх розмірів, включаючи субмікронні);
- універсальність (здатність вловлювати тверді частинки в сухому вигляді і рідкі частинки з туманів);
- можливість вловлювання частинок при будь-якому тиску газів (атмосферному, а також вище та нижче атмосферного);
- високий ступінь очищення при будь-яких концентраціях завислих частинок у газах, що очищуються;
- можливість очищення газів, як при високій, так і при низькій температурі середовища;
- використання хімічно стійких матеріалів;
- можливість повної автоматизації процесу очищення газів;
- стабільність процесу очищення і менша залежність від зміни фізико-хімічних властивостей частинок, що вловлюються, і витрат газів, ніж при використанні інших способів;
- отримання продукту в сухому вигляді;
- відносно помірні витрати енергії;
- простота експлуатації.

Недоліки фільтрів:

– відносно малий термін служби тканин та інших фільтруючих перегородок;

– необхідність у ряді випадків попереднього охолодження газу, що очищується;

– необхідність періодичної заміни деяких фільтруючих перегородок;

– порівняно високі витрати енергії при використанні окремих видів

пористих фільтрів;

– громіздкість фільтраційних установок;

– нестабільність ступеня очищення в часі;

– вартість очищення в фільтрах вища, ніж у більшості інших пиловловлювачів (це пояснюється конструктивною складністю фільтрів);

– складні в експлуатації та потребують кваліфікованого обслуговування.

За типом структурних елементів пористої перегородки розрізняють волокнисті, тканинні та зернисті фільтри.

Характеристика тканинних рукавних фільтрів

Фільтрація запилених промислових газів та аспіраційного повітря в тканинних фільтрах є радикальним технічним рішенням для досягнення ефективного пиловловлення при відносно помірних капітальних та експлуатаційних витратах. Вимоги очищення газів, що зросли, виявили тенденцію до збільшення частки застосовуваних тканинних фільтрів перед апаратами мокрої очистки газів і електрофільтрами.

Ефективність очищення повітря (газу) в рукавних фільтрах в основному залежить від властивостей фільтрувальної тканини, з якої виготовлені рукави апарату, а також від того, якою мірою ці властивості відповідають властивостям середовища, що очищується, і завислих у них частинок.

Тканинні фільтри здатні вловлювати частинки розміром від декількох сотень мікрон до субмікронних, що забезпечується головним чином осадженням пилового шару на поверхні фільтра.

Оптимальні значення швидкості фільтрування тканинних фільтрах лежать в межах 0,5-1,0 м/хвилину. При великих швидкостях фільтрування ефективність тканинних фільтрів знижується, внаслідок винесення пилових частинок, а гідравлічний опір стає надмірно високим. При менших швидкостях фільтрування потрібне збільшення поверхні фільтра.

Тканинні фільтри розрізняються за такими ознаками:

– за формою фільтрувальних елементів (рукавні, плоскі, клинові тощо) та наявності в них опорних пристроїв (каркасні, рамні);

– за типом фільтрувальної тканини: з натуральних та синтетичних тканин;

– за способом регенерації тканини: струшуванням, зворотним продуванням, продуванням стисненим повітрям, імпульсним продуванням, звуковою регенерацією;

– за наявністю та формою корпусу для розміщення тканини – прямокутні, циліндричні, відкриті (безкамерні);

– за кількістю секцій в установці (однокамерні та багатосекційні);

– за місцем розташування вентилятора щодо фільтра (всмоктувальні, що працюють під розрядженням, та нагнітальні, що працюють під тиском).

Тканинні фільтри містять гнучку фільтрувальну перегородку, що має форму гнучких циліндричних рукавів, закріплених на трубних перегородках у корпусі, обладнаному пристроями для видалення вловленого матеріалу з рукавів та вивантаження його з бункерів.

Найбільшого поширення набули фільтри з гнучкими фільтрувальними

перегородками. В основі вибору матеріалу фільтрувальної перегородки лежать наступні показники: термостійкість, хімічна стійкість, повітропроникність, розривне навантаження, стійкість до згинання, а також можливий ступінь очищення.

Термін служби фільтрувальних тканин залежно від умов експлуатації (вид пилу, його концентрація, температура, рівень експлуатації тощо) може становити від кількох місяців до кількох років.

Багато тканин виготовляють у вигляді полотен (шматків), з яких шиють рукави.

Діаметр рукавів 90-450 мм, довжина 2,5-10 м. У промисловості застосовують рукави діаметром 125-135, 220 та 300 мм. При цьому рукави великого діаметру 300 мм використовуються, як правило, у фільтрах великої продуктивності, а також у фільтрах зі струминним продуванням.

Найбільш поширеним типом тканинного фільтра є рукавний фільтр (рис. 6.3), який забезпечує тонке очищення повітря від пилових частинок, що мають розмір менше ніж 1 мкм.

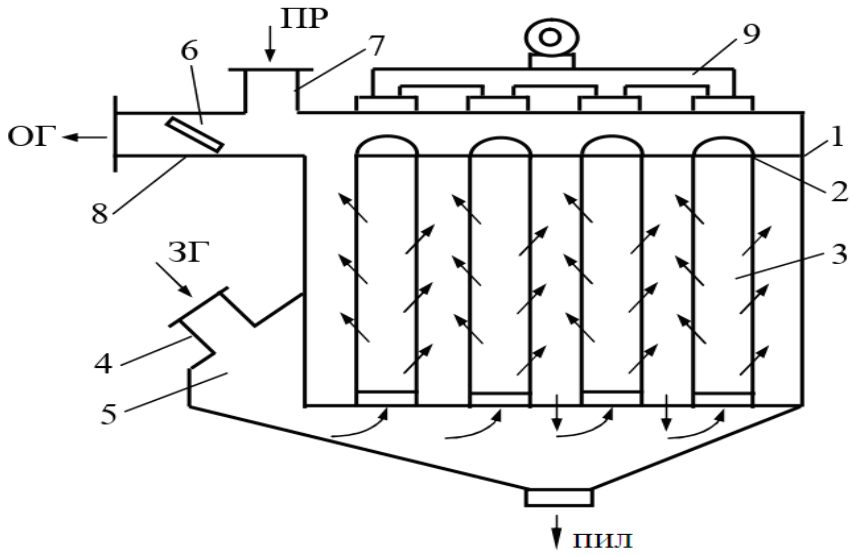


Рисунок 6.3 – Конструктивна схема рукавного фільтра

1 – корпус; 2 – верхня решітка; 3 – рукав; 4 – газохід запилених газів; 5 – колектор; 6 – клапан; 7 – продуктивний колектор; 8 – патрубок очищених газів; 9 – струшувальний механізм

Головним елементом тканинного фільтра є рукав, виготовлений із фільтрувальної тканини. Корпус фільтра розділений на кілька герметизованих камер, у кожній з яких розміщено кілька рукавів. Газ, що підлягає очищенню, підводиться в нижню частину кожної камери і надходить усередину рукавів.

Фільтруючись через тканину, газ проходить у камеру, звідки через відкритий випускний клапан надходить у газопровід чистого газу. Частинки пилу, що містяться в неочищеному газі, осідають на внутрішній поверхні рукава, внаслідок чого опір рукава по ходу газу поступово збільшується. Коли він досягне деякого граничного значення, фільтр переводиться на режим регенерації, тобто рукави звільняються від пилу, що осів на них.

На початку проходження газу через чисту тканину вловлюється лише частина пилу, часто невелика. При заповненні пір пилом ступінь очищення швидко зростає і після утворення первинного суцільного шару пил вловлюється практично повністю.

Таким чином, у тканинних фільтрах тканина виконує роль несучої поверхні, тобто служить основою для формування та утримання фільтруючого пилового шару.

При низьких вхідних концентраціях пилу процес утворення шару займає багато часу, тому найкращі результати досягаються при очищенні газів із високою запиленістю. При цьому накопичений шар пилу при регенерації не розпорошується в газі, а руйнується, утворюючи великі агрегати. В результаті зменшується ймовірність повторного осадження пилу на тканині та полегшується випадання його в бункер.

При регенерації частина осаду видаляється, але всередині тканини між нитками та волокнами залишається значна кількість пилу, що зберігає високу ефективність очищення газів, тому при регенерації тканин не можна допускати їхнього «переочищення».

У тканинних фільтрах доцільно використовувати невеликі швидкості фільтрації зазвичай 0,5-1,2 см/с. За більшої швидкості відбувається надмірне ущільнення пилового шару, що супроводжується різким збільшенням його опору.

Основні показники, що характеризують роботу фільтрів:

- ефективність очищення;
- пористість фільтра;
- швидкість фільтрації;
- пилоємність;
- гідравлічний опір;
- техніко-економічні дані – витрати енергії та матеріалів, вартість установки, вартість очищення.

Характеристика фільтрувальних матеріалів

У тканинних фільтрах застосовують ткані або валяні матеріали з природних та синтетичних волокон, які виконують роль підкладки для фільтруючого середовища, яким є первинний шар вловленого пилу. За структурою фільтрувальні матеріали поділяють на ткані та неткані.

До тканих і нетканих матеріалів, що застосовуються в якості фільтрувальних матеріалів, пред'являють такі вимоги:

- висока пилоємність у процесі фільтрації та здатність утримувати після регенерації пил у кількості, достатній для забезпечення високої ефективності вловлювання високодисперсних частинок;
- збереження оптимально високої повітропроникності в рівноважно-запиленому стані та добра здатність до регенерації;
- висока механічна міцність і стійкість до стирання при багаторазовому згинанні, стабільність розмірів та властивостей при підвищених температурах та агресивному впливі хімічних компонентів газу; максимально можлива стійкість

синтетичних волокон, з яких виготовлені тканини, до гідролізу (тобто до руйнування під впливом високого вмісту вологи і підвищеної температури);

- мінімальне поглинання вологи та здатність до легкого видалення накопиченої вологи;

- низька вартість, що забезпечує оптимальні техніко-економічні показники очищення газів у тканинних фільтрах.

Вибір виду тканини визначається в основному температурою газу, а також вмістом вологи і агресивними властивостями газового потоку, термінами служби тканини в робочих умовах і вартістю тканини.

Фільтрувальні матеріали для очищення газу від пилу за походженням волокон поділяють на групи:

– з натуральних органічних волокон рослинного та тваринного походження (бавовняні, лляні, вовняні, шовкові);

– з натуральних неорганічних волокон (азбестові);

– з ненатуральних органічних синтетичних волокон (лавсан, нітрон, оксалон, фенілон, капрон, поліфен, фторфлон тощо);

– з ненатуральних неорганічних волокон (скляні, металеві).

Чиста тканина не забезпечує необхідної ефективності очищення. Після регенерації на тканині залишається певний шар пилу. Після кількох циклів (запилення – регенерація тощо) тканина набуває робочого стану.

До нетканих матеріалів відносяться повсті та вовняні фетри.

При очищенні фетрів усередині них завжди залишається частина пилу, що забезпечує дуже високу ефективність вловлювання субмікронних частинок. Ця принципова відмінність повстяних фільтруючих матеріалів від тканих дає можливість у 2-5 разів збільшити навантаження по газу, а також проводити регенерацію матеріалу без припинення подачі газопилового потоку.

Класифікація тканинних фільтрів за системою регенерації

Істотний вплив на конструкцію фільтрів робить спосіб регенерації фільтрувального матеріалу. При виборі способу регенерації мають значення: вид тканини, конструкція апарату, характеристики пилу та технологічного процесу.

В промислових фільтрах регенерацію проводять за двома основними принципами:

- зворотне продування фільтруючих елементів очищеними газами або повітрям; для цього змінюють напрям ходу газу через фільтрувальний матеріал, подаючи на регенерацію свіже або очищене повітря, в результаті відбувається видування вловленого пилу з тканини;

– струшування фільтруючих елементів (руйнування пилового шару на фільтрувальному матеріалі його деформацією різними способами) – як за допомогою механізмів, так і впливом на тканину аеродинамічних сил і звукових імпульсів.

Фільтри з посекційною системою регенерації фільтрувального матеріалу характеризуються тим, що регенерації піддається ціла секція багатосекційного фільтра. На період регенерації секцію відключають від подачі до неї газу.

У фільтрах з поелементною системою регенерації зворотному продуванню

піддають не всю секцію фільтра, а послідовно окремі фільтруючі елементи або їх групи.

Конструктивне виконання фільтрів з поелементним продуванням складніше, ніж фільтрів з посекційним продуванням, внаслідок введення каркасних фільтруючих елементів, влаштування складних рухомих систем усередині фільтрів тощо.

Істотна перевага поелементної регенерації полягає в тому, що вона дуже інтенсивна, тому що впливає безпосередньо на запилені ділянки тканини і тому тривалість регенерації значно скорочується, в порівнянні з посекційними способами, а це веде, в свою чергу, до скорочення кількості продувного газу. Регенерацію тканини здійснюють не припиняючи подачі запиленого газу у фільтр, в окремі його ділянки. При цьому на регенерацію та очищення продувного газу відволікається незначна кількість елементів і таким чином ефективно використовується вся фільтруюча поверхня.

Інтенсифікація процесу регенерації дозволяє використовувати у фільтрах з поелементною системою регенерації щільні фільтрувальні матеріали (наприклад, повсті), які у фільтрах з посекційним продуванням регенерувати важко або неможливо, а також дає можливість підвищити навантаження на тканину.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Порядок розрахунку технологічних параметрів рукавних фільтрів зі зворотним продуванням, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу

1. Повний об’єм газу, що очищується, з урахуванням підсмоктування повітря, необхідного для створення припустимої температури для тканини _____, визначається за формулою:

$$V_{повн} = V_0 \cdot \frac{t_г - t_{см}}{t_{см} - t_п}, \text{ м}^3/\text{годину}, \qquad (6.1)$$

$t_г$ – температура газоповітряної суміші, °С;

$t_п$ – температура повітря, °С.

$t_{см}$ – необхідна температура охолодження суміші газів, °С, що залежить від типу тканини фільтра та визначається за табл. 6.1.

2. Повний об’єм газу, що очищується, з урахуванням підсмоктування повітря за нормальних умов визначається за формулою:

$$V = V_0 + V_{повн}, \text{ м}^3/\text{годину}. \qquad (6.2)$$

3. Витрати газу, що йде на фільтрацію за робочих умов із урахуванням тиску всередині апарата, визначаються за формулою:

$$V_г = V \cdot \frac{(273 + t_г) \cdot P_0}{273 \cdot (P_{бар} \pm R)}, \text{ м}^3/\text{годину}, \qquad (6.3)$$

P_0 – нормальний атмосферний тиск, що приймається рівним 101325 Па;

$P_{бар}$ – барометричний тиск, Па;

R – розрідження на вході в рукавний фільтр, Па.

Таблиця 6.1 – Деякі властивості фільтрувальних матеріалів

Основне волокно	Термостійкість, $t_{см}$, °С	Пористість, $e_{тк}$, частка одиниць	Питомий гідравлічний опір, $P_{тк}$, кПа
Лавсан	130	0,735	189
Нітрон	120	0,83	180
Поліфен	130	0,66	880
Вовна	95-100	0,86	84
Скловолокно	240	0,55	2700

4. Необхідна площа фільтрування визначається за формулою:

$$F_{ф} = \frac{V_{г}}{60 \cdot q_{ф}}, \text{ м}^2, \quad (6.4)$$

$q_{ф}$ – припустиме питоме газове навантаження на фільтр, що визначається за формулою:

$$q_{ф} = q_{н} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5, \ \frac{м^3}{м^2 \cdot хв}, \quad (6.5)$$

$q_{н}$ – константа газового навантаження для різних видів пилу, $\frac{м^3}{м^2 \cdot хв}$, що визначається за табл. 6.2;

K_1 – коефіцієнт, що враховує спосіб регенерації, та визначається за табл. 6.2;

K_2 – коефіцієнт, що враховує початкову запиленість газів (C_0, г/м^3) та визначається за табл. 6.3;

K_3 – коефіцієнт, що враховує медіанний діаметр пилу (d_m, мкм) та визначається за табл. 6.3;

K_4 – коефіцієнт, що враховує температуру газу ($t_г$, °С) та визначається за табл. 6.2;

K_5 – коефіцієнт, що враховує вимоги до рівня очистки та визначається за табл. 6.2.

5. За табл. 6.4 обираємо тип фільтра та визначаємо їхню необхідну кількість.

Обираємо для встановлення фільтр марки _____ з поверхнею фільтрування $(F_{ф})'$=____ м^2, що складається з N_c=____ секцій з поверхнею фільтрування однієї секції $F_c = \frac{(F_{ф})'}{N_c}$=____ м^2.

6. Початкова запиленість газу перед фільтром в робочих умовах визначається за формулою:

$$C_1 = C_0 \cdot \frac{V_0}{V_{г}}, \text{ г/м}^3. \quad (6.6)$$

7. Швидкість фільтрації визначається за формулою:

$$w_{ф} = \frac{q_{ф}}{60}, \text{ м/с}. \quad (6.7)$$

Таблиця 6.2 – Значення констант для визначення необхідної поверхні фільтра

Параметр	Тип пилу	Значення
$q_н$	Макуха, зерно, комбікорм, борошно, шкіра, обпилювання, тютюн, картон	3,5
	Азбест та інші волокнисті матеріали, в тому числі целюлозні; пил, що утворюється при вибиванні виливків з форми, гіпс, гашене вапно, сіль, пісок і пил від піскоструминних апаратів, кальцинована сода, тальк	2,6
	Глинозем, плавиковий шпат, каолін, вапняк, кварц, руда, вугілля, цемент, порошкові пігменти, гума, цукор	2,0
	Кокс, летуча зола, порошки металів, оксиди металів, пластмаси, барвники, силікати, крохмаль, сухі хімікати з нафтової сировини	1,7
	Технічний вуглець, активований вугілля, що миють речовини, возгонки кольорових і чорних металів	1,5
K_1	Імпульсна регенерація тканини	1,0
	Імпульсна регенерація нетканих матеріалів	1,1
	Зворотна продувка зі струшуванням	0,7-0,85
	Зворотна продувка без струшування	0,55-0,7
K_3	d_m<100 мкм	1,2-1,4
	50<d_m<100	1,1
	10<d_m<50	1,0
	3<d_m<10	0,9
	d_m>3 мкм	0,7-0,9
K_4	$t_г$=20 °С	1
	$t_г$=40 °С	0,9
	$t_г$=60 °С	0,84
	$t_г$=80 °С	0,78
	$t_г$=100 °С	0,75
	$t_г$=120 °С	0,73
	$t_г$=140 °С	0,72
	$t_г$=160 °С	0,70
K_5	Концентрація пилу в очищеному газі 30 мг/м^3 та вище	1
	Концентрація пилу в очищеному газі менш 30 мг/м^3	0,95

Таблиця 6.3 – Залежність коефіцієнта K_2 від запиленості газу

Запиленість газу C_0, г/м^3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
K_2	1,0	0,95	0,92	0,9	0,87	0,86	0,855	0,85	0,84	0,83

Таблиця 6.4 – Характеристики фільтрів рукавних з оборотним продуванням

Тип фільтра	Площа фільтруючої поверхні, м^2	Число секцій	Діаметр рукава, мм	Висота рукава, м
РФГ-1-112	112	4	220	3,1
РФГ-1-168	168	6	220	3,1
РФГ-2-224	224	8	220	3,1
РФГ-2-336	336	12	220	3,1
РФГ-2-448	448	16	220	3,1
РФГ-2-560	560	20	220	3,1
ФРО-1250-1	1266	6	200	8
ФРО-1650-1	1688	8	200	8
ФРО-2400-1	2400	12	200	8
ФРО-2500-1	2530	12	200	8
ФРО-4100-2	4104	8	300	10
ФРО-5100-2	5130	10	300	10
ФРО-6000-2	6156	12	300	10
ФРО-7000-2	7182	14	300	10
ФРО-8000-2	8208	16	300	10
ФРО-20000-3	20520	10	300	10
ФРО-24000-3	24624	12	300	10
УРФМ-IIМ	2300	20	220	4,1
УРФМ-III	1610	14	220	4,1
ФР-6П	18	1	390	2,5
ФР-250	281	4	135	2,3
ФР-518	518	6	127	2,3
ФТНС-4М	12,4	1	386	2,6
ФТНС-8М	24,8	2	386	2,0
ФТНС-12М	37,2	3	386	2,6
ФРКДІ-1100	1100	12	135	6
ФРКДІ-720	720	8	135	6
ФРКДІ-550	550	6	135	6
ФРКІ-360	360	8	135	3
ФРКІ-180	180	4	135	3
ФРКН-В-90	90	3	135	2
ФРКІ-60	60	2	135	2
ФРКІ-30	30	1	135	2
ФВ-90М	90	6	135	2,09
ФТ-2М	20	1	300	1,8
ФРКН-220	220	1	135	2,4
РФСП-П	370	4	300	4,8

продовження табл. 6.4

Тип фільтра	Площа фільтруючої поверхні, м^2	Число секцій	Діаметр рукава, мм	Висота рукава, м
ФРВ-20	20	2	130	1,63
ФРН-30	30	2	130	1,63

8. Загальний гідравлічний опір фільтра $\Delta P_{заг}$, Па, що складається з опору корпуса $\Delta P_к$ та опору фільтрувальної перегородки $\Delta P_п$, визначається за формулою:

$$\Delta P_{заг} = \Delta P_к + \Delta P_п \text{, Па.} \quad (6.8)$$

Гідравлічний опір при проходженні газу, що очищується, через корпус апарата, визначається за формулою:

$$\Delta P_к = \xi \cdot \rho_г \cdot \frac{(w_{вх})^2}{2} \text{, Па,} \quad (6.9)$$

$w_{вх}$ – швидкість газу при вході в фільтр, що приймається $w_{вх}$=5-15 м/с. Приймаємо $w_{вх}$=10 м/с.

ξ – коефіцієнт гідравлічного опору корпуса апарата, що звичайно приймається 1,5-2 при $w_{вх}$=5-15 м/с.

$\rho_г$ – щільність газу за робочих умов, що визначається за формулою:

$$\rho_г = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (P_{бар} \pm R)}{(273 + t_г) \cdot P_0} \text{, кг/м}^3\text{,} \quad (6.10)$$

ρ_0 – щільність повітря за нормальних умов, що приймається рівною 1,29 кг/м^3.

Гідравлічний опір фільтрувальної перегородки складається з постійної складової Δp_1 – опір фільтрувальної перегородки з врахуванням пилу, що залишився після регенерації, і перемінної складової Δp_2 – опір перегородки за рахунок знов осілого на ній пилу:

$$\Delta P_п = \Delta p_1 + \Delta p_2 \text{, Па,} \quad (6.11)$$

де $$\Delta p_1 = A \cdot \mu \cdot w_ф \text{, Па,} \quad (6.12)$$

A – коефіцієнт, що характеризує опір фільтрувальної перегородки, м$^{-1}$, який визначається за формулою:

$$A = 670 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{(1-\varepsilon_п)^2 \cdot (\varepsilon_{тк})^3 \cdot (P_{тк})^{2/3}}{(d_m)^{1,75} \cdot (\varepsilon_п)^3} \text{, м}^{-1}\text{,} \quad (6.13)$$

$\varepsilon_п$ – пористість шару пилу, що визначається за формулою:

$$\varepsilon_п = 1 - 79 \cdot (d_m)^{0,47} \text{, частка одиниць;} \quad (6.14)$$

d_m – медіанний діаметр частинок пилу, м;

$P_{тк}$ – питомий гідравлічний опір тканини, віднесений до товщини 1 м при швидкості фільтрації 1 м/с, Па. Обирається за табл. 6.1 (кПа → Па).

$\varepsilon_{тк}$ – пористість тканини, частка одиниць. Обирається за табл. 6.1.

μ – динамічний коефіцієнт в'язкості газу за заданих робочих умов, $\frac{Н \cdot с}{м^2}$.

Визначається методом інтерполяції залежно від значення заданої температури газоповітряної суміші ($t_г$) за табл. 2.6.

Гідравлічний опір шару пилу, що накопичується на фільтрі, перед регенерацією Δp_2, який визначається виходячи з оптимальних умов роботи фільтра та може дорівнювати:

– для частинок пилу з медіанним діаметром d_m<20 мкм – Δp_2=600-800 Па;

– для частинок пилу з медіанним діаметром d_m>20 мкм – Δp_2=250-350 Па;

Звідси загальний гідравлічний опір визначається за формулою:

$$\Delta P_{заг} = \Delta P_к + \Delta p_1 + \Delta p_2 \text{, Па.} \quad (6.15)$$

Варто мати на увазі, що загальний опір рукавних фільтрів не повинний перевищувати 2800 Па.

9. Тривалість періоду фільтрації між двома регенераціями визначається за формулою:

$$t_ф = \frac{\Delta p_2}{B \cdot \mu \cdot (w_ф)^2 \cdot C_1} \text{, секунди,} \quad (6.16)$$

B – коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$B = 817 \cdot \frac{(1-\varepsilon_n)}{(d_m)^2 \cdot (\varepsilon_n)^3 \cdot \rho_ч}, \quad (6.17)$$

$\rho_ч$ – щільність частинок пилу, кг/м^3;

C_1 – г/м^3 → кг/м^3.

10. Сумарний час регенерації визначається за формулою:

$$\sum t = (N_c - 1) \cdot t_p \text{, секунди,} \quad (6.18)$$

t_p – тривалість процесу регенерації, що приймається рівною 15-20 с – при зворотному продуванні; 40-50 с – при зворотному продуванні зі струшуванням.

Отримане значення $\sum t$ завжди повинно бути менше тривалості періоду фільтрації $t_ф$.

11. Витрати повітря на регенерацію визначаються за формулою:

$$V_p = \frac{V_г \cdot n_p \cdot t_p}{3600} \text{, м}^3\text{/годину,} \quad (6.19)$$

n_p – кількість регенерацій впродовж 1 години, що визначається за формулою:

$$n_p = \frac{3600}{t_ф + t_p}. \quad (6.20)$$

Отримане значення округляється до максимально цілого числа.

12. Площа фільтрування з врахуванням витрат повітря на регенерацію при умові, що швидкість продувки дорівнює швидкості фільтрації, визначається за формулою:

$$F_{Ф+р} = \frac{V_г + V_p}{60 \cdot q_ф} \text{, м}^2. \quad (6.21)$$

13. Уточнюємо витрати повітря $V_{пр}$, яке подається на зворотне продування впродовж години. Для цього швидкість зворотного продування визначається за формулою:

$$w_{зв} = \frac{k_p \cdot \varepsilon_{тк}}{60}, \text{ м/с,} \quad (6.22)$$

k_p – коефіцієнт регенеруємості тканини, що приймається в діапазоні k_p=1,6-2,0 м/хвилину.

Звідси, $V_{пр} = w_{зв} \cdot n_p \cdot t_p \cdot N_c \cdot F_c$, м^3/с.

14. Площа поверхні фільтрування, яка відключається на регенерацію впродовж 1 години, визначається за формулою:

$$F_p = \frac{N_c \cdot F_c \cdot t_p \cdot n_p}{3600}, \text{ м}^2 \text{ в годину.} \quad (6.23)$$

15. Фактичне газове навантаження на фільтр уточнюється за формулою:

$$q_ф^{/} = \frac{\left(V_г / 60\right) + F_c \cdot q_ф}{\left(F_ф\right)^{/} - F_c}, \ \frac{м^3}{м^2 \cdot хв}. \quad (6.24)$$

Значення $q_ф^{/}$ повинно бути близьким до розрахункового $q_ф$.

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів рукавного фільтра зі зворотним продуванням, призначеного для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів рукавного фільтра зі зворотним продуванням, призначеного для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу

Показник	Варіант						
	1	2	3	4	5	6	7
C_0, г/м^3	13	16	10	15	18	12	17
V_0, м^3/годину	9500	10300	8000	19700	8400	10000	18700
$t_г$, °С	150	180	220	160	190	230	170
$t_п$, °С	18	20	22	25	23	25,5	30
$c_ч$, кг/м^3	2800	2960	2690	2850	2740	2870	2900
$P_{бар}$, Па	101063	101337	99077	99084	101369	98539	101048
R, Па	-360	-490	-385	-450	-480	-378	-350
d_m, мкм	23	5	12	20	27	15	22
Пил	каолін	оксиди металів	азбест	тирса	кокс	руда	силікати
Матеріал тканини	лавсан	нітрон	поліфен	вовна	лавсан	скловолокно	нітрон
Спосіб регенерації	А	В	В	А	А	А	В

Примітки: Спосіб регенерації: А− оборотна продувка; В − оборотна продувка зі струшуванням

продовження табл. 6.5

Показник	Варіант						
	8	9	10	11	12	13	14
C_0, г/м^3	14	11	6	9	19	20	7
V_0, м^3/годину	11200	39300	52500	33400	43900	46800	32900
$t_г$, °С	210	120	230	260	130	140	250
$t_п$, °С	22,6	23,4	19	15	21	18,5	20,5
$c_ч$, кг/м^3	2780	2630	2070	1770	1930	1570	2170
$P_{бар}$, Па	101072	101063	101337	99077	99084	101048	101072
R, Па	-470	-370	-400	-430	-380	-390	-420
d_m, мкм	18	6	8	10	7	17,5	24,5
Пил	вугілля	кварц	азбест	тирса	кокс	каолін	оксиди металів
Матеріал тканини	лавсан	нітрон	скловолокно	поліфен	вовна	лавсан	нітрон
Спосіб регенерації	А	В	В	А	В	А	В

Примітки: Спосіб регенерації: А− оборотна продувка; В − оборотна продувка зі струшуванням

закінчення табл. 6.5

Показник	Варіант					
	15	16	17	18	19	20
C_0, г/м^3	12,5	18,5	8,5	14,5	10,5	15,5
V_0, м^3/годину	46400	50700	39100	48100	37600	56300
$t_г$, °С	320	280	350	330	290	225
$t_п$, °С	22,5	25,5	23,5	27,5	30,5	29,5
$c_ч$, кг/м^3	1870	2080	2270	1640	2160	1670
$P_{бар}$, Па	101063	101337	99077	99084	101369	101337
R, Па	-460	-405	-365	-415	-375	-445
d_m, мкм	18,5	25,5	19,5	26,5	20,5	22,5
Пил	азбест	тирса	кокс	руда	силікати	тирса
Матеріал тканини	поліфен	вовна	лавсан	скловолокно	нітрон	вовна
Спосіб регенерації	В	А	А	А	В	А

Примітки: Спосіб регенерації: А− оборотна продувка; В − оборотна продувка зі струшуванням

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Надати характеристику методу фільтрування.
2. Навести стадії процесу фільтрування.
3. В чому полягає принцип дії апарату фільтруючого типу?
4. Які типи фільтрувальних пористих перегородок застосовуються в сучасних апаратах?
5. Які класи сучасних фільтрів в залежності від призначення та величин вхідної та вихідної концентрацій вловлюваних частинок пилу існують?
6. Навести переваги застосування фільтрів.
7. Навести недоліки застосування фільтрів.
8. Надати характеристику тканинних фільтрів.

9. Навести класифікації тканинних фільтрів.

10. Навести характеристику рукавного фільтра.

11. Які вимоги пред'являються до тканих і нетканих матеріалів, що застосовуються в якості фільтрувальних матеріалів?

12. Які групи фільтрувальних матеріалів для очищення газу від пилу за походженням волокон існують?

13. Навести класифікацію тканинних фільтрів за системою регенерації.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОФІЛЬТРІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ТОНКОГО ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ ВІД ЧАСТИНОК ПИЛУ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИЛ

Мета: набуття теоретичних знань у сфері технологій захисту атмосферного повітря та здобуття практичних навичок із технологічного розрахунку параметрів електрофільтрів, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу під впливом електричних сил.

Завдання:

1. Ознайомитися з конструкціями та принципом роботи електрофільтрів, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу під впливом електричних сил.

2. Ознайомитися з методикою технологічного розрахунку параметрів електрофільтра, призначеного для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу під впливом електричних сил.

3. Виконати технологічний розрахунок параметрів електрофільтра, призначеного для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу під впливом електричних сил, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- визначати доцільність використання схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на промислових територіях;
- обґрунтовувати доцільність використання пристроїв сухої інерційної очистки від пилу, мокрої очистки та фільтрації, електрофільтрації.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Характеристика методу електричного очищення газу

Одним із найбільш універсальних методів є електрична очистка газів, яка може застосовуватися як самостійний метод, так і в якості другого ступеня очищення.

Електричне очищення газу – це процес, при якому завислі частинки пилу та туману видаляються з газоподібного середовища під впливом електричних сил.

Переваги електричного очищення газів:

- високий ступінь очищення газів – до 99%, а в окремих випадках і до 99,9%;
- можливість вловлювання частинок розміром 0,1 мкм і менше;
- широка межа концентрацій частинок у газі (від кількох міліграмів на 1 $м^3$ до 200 $г/м^3$) та дисперсності частинок (до часток мікрометра);
- низькі енергетичні витрати на вловлювання частинок, які складаються з втрат енергії на подолання газодинамічного опору апарату, що не перевищує 100-150 Па, та витрат електроенергії на створення електричного поля, які складають 0,3-1,8 МДж (0,1-0,5 кВт·годину на 1000 $м^3$ газу);
- можливість очищення великих об'ємів газу, що відходить від агрегатів великої потужності;
- можливість очищення високотемпературних газів (до 500 °С);
- можливість роботи в агресивних середовищах;
- можливість повної автоматизації;
- широкий діапазон застосування (в теплоенергетиці, чорній та кольоровій металургії, хімії та нафтохімії, у будівельній індустрії, при виробництві добрив та утилізації побутових відходів, в атомній промисловості тощо).

Недоліки електричного очищення газів:

- висока чутливість процесу електричної фільтрації газів до відхилень від заданих параметрів технологічного режиму та до механічних дефектів внутрішнього обладнання в активній зоні апаратів;
- висока чутливість до підтримки параметрів очищення;
- неможливість очищення від вибухонебезпечного пилу;
- високі капітальні витрати на спорудження установок електрофільтрів через те, що ці апарати металомісткі;
- необхідність забезпечення спеціальними підвищувально-випрямляючими агрегатами для електроживлення;
- великі площі для встановлення електрофільтрів;
- висока вартість;
- висока вимогливість до рівня обслуговування.

Ступінь очищення пилу в електрофільтрах визначається швидкістю руху газів (0,9-1 м/с) в апараті, розміром частинок, довжиною осадових полів та ступенем чистоти електродів. Крім того, на вловлювання пилу впливають його фізичні властивості (злипання, здатність коагулюватися), вологість газу, а також електричні властивості – електричний опір, здатність сприймати електричний заряд.

Сутність процесу електричної фільтрації

Метод електричного очищення газу в електрофільтрах заснований на явищі іонізації газових молекул в електричному полі високої напруги. Частинки пилу отримують заряд від іонів газу та осідають на електродах електричного фільтра, а очищений газ виводиться з апарату.

Сутність процесу електричної фільтрації газів полягає в тому, що після газорозподільних пристроїв газ, що обробляється, надходить у проходи, утворені

коронуючими і осадовими електродами, що звуться міжелектродними проміжками (рис. 7.1).

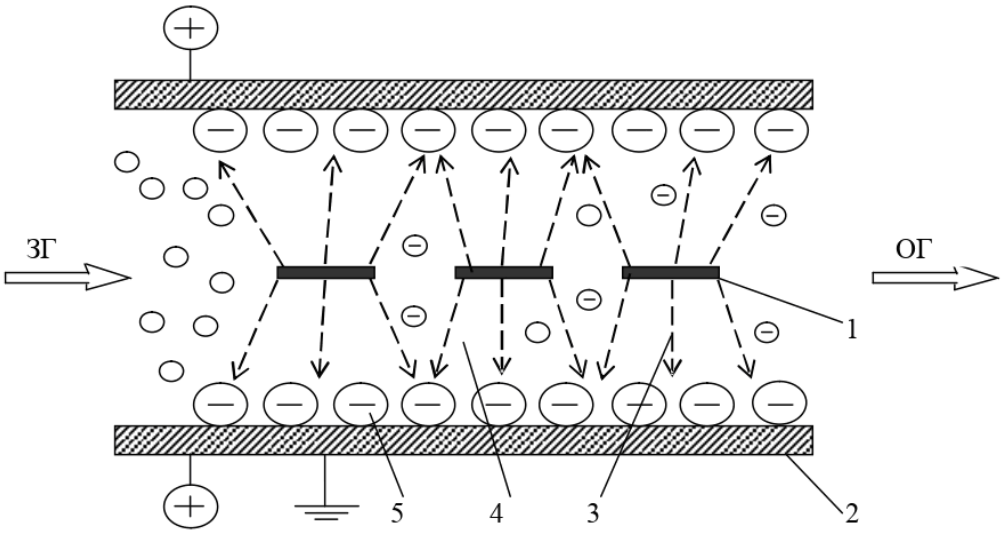


Рисунок 7.1 – Сутність процесу електричної фільтрації газів
1 – коронувальний електрод; 2 – осадовий електрод; 3 – електричне поле; 4 – заряджена зона; 5 – осілий шар пилу

При досить великій напрузі, що прикладається до міжелектродного проміжку, у поверхні коронуючого електрода відбувається інтенсивна ударна іонізація газу, яка супроводжується виникненням коронного розряду (корони), який на весь міжелектродний проміжок не поширюється і згасає в міру зменшення напруженості електричного поля в напрямку до осадового електроду.

Частинки сильно заряджаються на перших 100-200 мм шляху і зміщуються до заземлених осадових електродів під впливом інтенсивного поля корони.

Процес загалом протікає дуже швидко; на повне осадження частинок пилу потрібно лише кілька секунд.

Газові іони різної полярності, що утворюються в зоні корони, під дією сил електричного поля рухаються до різнойменних електродів, внаслідок чого в міжелектродному проміжку виникає електричний струм, що зветься струмом корони. Частинки пилу, що вловлюються, через адсорбцію на їхній поверхні іонів набувають у міжелектродному проміжку електричного заряду і під впливом сил електричного поля рухаються до електродів, осаджуючись на них. Основна кількість частинок осаджується на розвиненій поверхні осадових електродів. Менша їхня частина потрапляє на коронуючі електроди.

У міру накопичення на електродах осаджені частинки видаляються струшуванням або промиванням електродів.

Таким чином, концентрація пилу в газі при проходженні через активну зону електрофільтра значно зменшується.

Процес електричної фільтрації газів можна розділити на наступні стадії:

- пилові частинки, проходячи з потоком газу електричне поле, отримують заряд;

- заряджені частинки переміщуються до електродів із протилежним знаком;

- осідають на цих електродах;
- видаляється пил, що осів на електродах.

Принцип дії електрофільтрів

Електрофільтр являє собою апарат з вертикальним і горизонтальним рухом газового потоку, в якому розташовані осадові та коронуючі електроди. Осадові електроди заземлені, а до коронуючих підводиться випрямлений електричний струм високої напруги від перетворювальної підстанції.

Установка для електричного очищення газів (рис. 7.2) складається з:

- агрегатів живлення, призначених для подачі струму високої напруги на електроди електрофільтра;
- електрофільтра, в якому газ очищується від завислих у ньому частинок, та систем транспорту вловленого пилу.

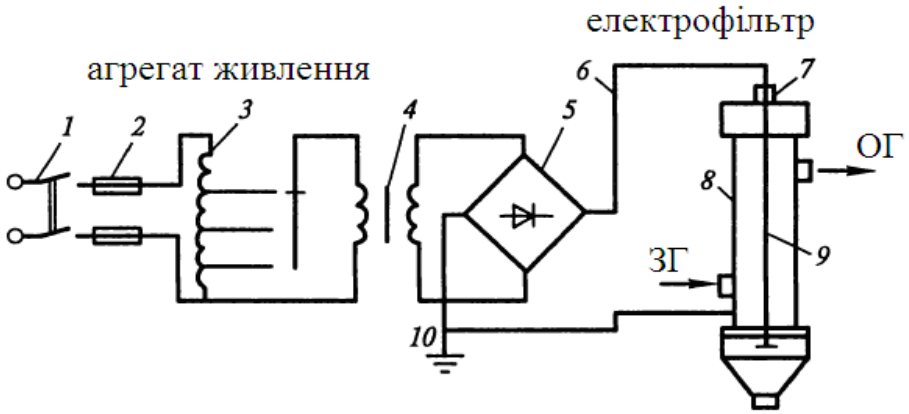


Рисунок 7.2 – Схема електрофільтра

1 – вимикач; 2 – запобіжний пристрій; 3 – регулятор напруги; 4 – трансформатор; 5 – випрямляч; 6 – кабель; 7 – ізолятор; 8 – осадовий електрод; 9 – коронуючий електрод; 10 – заземлення

Між двома осадовими площинами натягнуто ряд дротів. В простір між площинами надходить запилений газ. У полі коронного розряду частинки пилу заряджаються і рухаються до осадових площин, з яких періодично видаляються.

Ступінь очищення тим вищий, чим менше швидкість газу і більша довжина поля (ширина осадового електрода). Крім того, ступінь очищення буде тим вище, чим чистіше будуть електроди.

При підвищенні вологості газів опір шару пилу знижується, що покращує ефективність пиловловлення.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Порядок розрахунку технологічних параметрів електрофільтрів, призначених для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу під впливом електричних сил

1. Щільність газів при робочих умовах визначається за формулою:

$$\rho_г = \rho_0 \cdot \frac{\left(P_{бар} \pm R\right) \cdot 273}{P_0 \cdot \left(273 + t_г\right)}, \text{ кг/м}^3, \quad (7.1)$$

$t_г$ – температура газоповітряної суміші, °С;

P_0 – нормальний атмосферний тиск, що приймається рівним 101325 Па;

$P_{бар}$ – барометричний тиск, Па;

R – розрідження на вході в рукавний фільтр, Па;

ρ_0 – щільність повітря за нормальних умов, приймаємо рівною 1,29 кг/м^3.

2. Витрати газу при робочих умовах визначаються за формулою:

$$V_г = \frac{V_0 \cdot \rho_0}{3600 \cdot \rho_г}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7.2)$$

3. Необхідна площа поперечного перетину електрофільтра визначається за формулою:

$$F = \frac{V_г}{v_г}, \text{ м}^2, \quad (7.3)$$

$v_г$ – швидкість потоку газів в електрофільтрі; обирається в межах 0,3-2 м/с. При наявності в газі тонких пилів $v_г$=0,3-0,5 м/с; в трубчатих апаратах (вертикальних електрофільтрах) $v_г$ приймається до 1 м/с.

4. За табл. 7.1 обираємо електрофільтр марки _____ з площею активного перетину електрофільтра $F_ф$=____ м^2 ($F_ф$ повинна, за можливістю, дорівнювати F або наближатися до неї).

Таблиця 7.1 – Технічна характеристика електрофільтрів

Марка електрофільтра	Площа активного перетину, м^2	Загальна площа осадження, м^2	Марка електрофільтра	Площа активного перетину, м^2	Загальна площа осадження, м^2
Електрофільтри марки УГ					
УГ1-2-10	10	420	УГ2-4-74	74	6300
УГ1-3-10	10	630	УГ3-3-88	88	9200
УГ1-2-15	15	630	УГ3-4-88	88	12300
УГ1-3-15	15	940	УГ3-3-115	115	12100
УГ2-3-26	26	1690	УГ3-4-115	115	16100
УГ2-4-26	26	2250	УГ3-3-177	177	18400
УГ2-3-37	37	2360	УГ3-4-177	177	24600
УГ2-4-37	37	3150	УГ3-3-230	230	24200
УГ2-3-53	53	3370	УГ3-4-230	230	32200
УГ2-4-53	53	4500	УГ3-3-265	265	27600
УГ2-3-74	74	4700	УГ3-4-265	265	36900
Електрофільтри марки ЕГТ					
ЕГТ-2-3-2,5-20	20	1448	ЕГТ-2-4-2,5-20	20	1930
ЕГТ-2-3-2,5-30	30	2238	ЕГТ-2-4-2,5-30	30	2984
ЕГТ-2-3-2,5-40	40	3860	ЕГТ-2-4-2,5-40	40	3860
ЕГТ-2-3-2,5-60	60	4343	ЕГТ-2-4-2,5-60	60	5790
Електрофільтри марки УВ					
УВ1х16	16	900	УВ2х24	48	2640
УВ2х10	21,6	1200	УВ3х10	32,4	1800
УВ2х16	32	1800	УВ3х24	72	3960

продовження табл. 7.1

Марка електрофільтра	Площа активного перетину, м^2	Загальна площа осадження, м^2	Марка електрофільтра	Площа активного перетину, м^2	Загальна площа осадження, м^2
Електрофільтри марки ЕГА					
ЕГА1-10-4-4-2	11	430	ЕГА1-14-7,5-6-2	28,7	1656
ЕГА1-10-4-6-2		645	ЕГА1-14-7,5-6-3		2485
ЕГА1-10-4-6-3		967	ЕГА1-20-7,5-4-2	41	2366
ЕГА1-10-6-4-2	16,5	635	ЕГА1-20-7,5-4-3		3157
ЕГА1-10-6-4-3		952	ЕГА1-20-7,5-6-2		2366
ЕГА1-10-6-6-2		952	ЕГА1-14-7,5-6-3		3550
ЕГА1-10-6-6-3		1430	ЕГА1-20-9-6-2	49	2827
ЕГА1-14-7,5-4-3	28,7	1656	ЕГА1-20-9-6-3		4243
ЕГА1-14-7,5-4-4		2210	ЕГА1-14-9-6-4		5660

5. Фактична швидкість потоку газів в електрофільтрі визначається за формулою:

$$v_{факт} = \frac{V_г}{F_ф}, \text{ м/с.} \qquad (7.4)$$

6. Відносна щільність газів при стандартних умовах (P_o=101325 Па; $t_{ст}$=20 °С) визначається за формулою:

$$\beta = \frac{(P_{бар} \pm R)\cdot(273 + t_{ст})}{P_0 \cdot (273 + t_г)}. \qquad (7.5)$$

7. Критична напруженість електричного поля визначається за формулою:

$$E_{кр} = 3{,}04 \cdot \left(\beta + 0{,}0311 \cdot \sqrt{\frac{\beta}{R_1}}\right) \cdot 10^6, \text{ В/м,} \qquad (7.6)$$

R_1 – радіус коронуючого вістря, що приймається рівним 0,001-0,002 м.

8. Величина середньої напруженості електричного поля визначається за формулою:

$$E_{ср} = \frac{U}{R_1} \text{ В/м,} \qquad (7.7)$$

U – робоча напруга, що приймається рівною 70000-90000 В.

9. Критична напруга корони для пластинчатого електрофільтра визначається за формулою:

$$U_{кр} = E_{кр} \cdot R_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{S} - \ln\frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{S}\right), \text{ В,} \qquad (7.8)$$

H – відстань між плоскостями коронуючих та осаджуючих електродів, що приймається рівною 0,1-0,15 м;

S – відстань між коронуючими електродами (для електрофільтрів марок УГ та УГТ – S=275 мм; для ЕГА – S=300 мм; для ЕГТ та УВ – S=260 мм), мм → м.

10. Лінійна щільність струму корони визначається за формулою:

$$I = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot K \cdot f \cdot U \cdot \left(U - U_{кр}\right)}{9 \cdot 10^9 \cdot S^2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot H}{S} - \ln \frac{2 \cdot \pi \cdot R_1}{S}\right)}, \text{ А/м,} \qquad (7.9)$$

K – рухливість іонів (для повітря К=2,1·10^{-4} $\frac{м^2}{В \cdot с}$);

f – коефіцієнт, що залежить від відношення H/S та визначається за табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Значення поправочного коефіцієнта f

H/S	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
f	0,08	0,068	0,046	0,035	0,027	0,022	0,017	0,015	0,013	0,011

Таким чином, знаходимо величину H/S та визначаємо коефіцієнт f.

11. Напруженість електричного поля визначається за формулою:

$$E = \sqrt{\frac{8 \cdot I \cdot H}{4 \cdot \pi \cdot K \cdot \varepsilon_0 \cdot S}}, \text{ В/м,} \qquad (7.10)$$

ε_0 – діелектрична проникність вакууму, що дорівнює 8,85·10^{-12} Ф/м.

12. Величина коефіцієнта динамічної в'язкості компонентів, що входять до складу димових газів при робочих умовах, визначається за формулою:

$$\mu_i = \mu_0 \cdot \left(\frac{273 + C}{(T + t_г) + C}\right) \cdot \sqrt{\left(\frac{273 + t_г}{273}\right)^3}, \ \frac{Н \cdot с}{м^2}, \qquad (7.11)$$

C – коефіцієнт, що є характерним для кожного виду газу та визначається за табл. 7.3.

μ_0 – коефіцієнт динамічної в'язкості для кожного виду газу при нормальних умовах, $\frac{Н \cdot с}{м^2}$, що приймається за табл. 7.3.

Звідси знаходимо $\mu_{N_2} =$ ____, $\mu_{H_2O} =$ ____, $\mu_{CO_2} =$ ____, $\mu_{O_2} =$ ____.

Таблиця 7.3 – Параметри, необхідні для розрахунку коефіцієнта динамічної в'язкості компонентів, що входять до складу димових газів при робочих умовах

Вид газу	Коефіцієнт C	Значення $м_0$, $\frac{Н \cdot с}{м^2}$
N_2	114	17·10^{-6}
H_2O	961	10·10^{-6}
CO_2	254	13,7·10^{-6}
O_2	131	20,3·10^{-6}

13. Величина в'язкості димових газів визначається за формулою:

$$\frac{M}{\mu} = 0{,}01 \cdot \left(\frac{a_{CO_2} \cdot M_{CO_2}}{\mu_{CO_2}} + \frac{a_{N_2} \cdot M_{N_2}}{\mu_{N_2}} + \frac{a_{H_2O} \cdot M_{H_2O}}{\mu_{H_2O}} + \frac{a_{O_2} \cdot M_{O_2}}{\mu_{O_2}}\right), \qquad (7.12)$$

a_i – склад димових газів, % (об'єм); % → в частки.

M_i – відносна молекулярна маса газів, кг/кмоль: $M_{CO_2} = 44$; $M_{O_2} = 32$,

$M_{H_2O} = 18$, $M_{N_2} = 28$.

Величина M буде розраховуватися за формулою: $M = \sum a_i \cdot M_i = a_{CO_2} \cdot M_{CO_2} + a_{H_2O} \cdot M_{H_2O} + a_{N_2} \cdot M_{N_2} + a_{O_2} \cdot M_{O_2}$, кг/моль,

З відношення $\frac{M}{\mu} =$ _____, визначаємо величину μ=_____ $\frac{Н \cdot с}{м^2}$.

14. Коефіцієнт очистки газу визначається за формулою:

$$\eta = \sum \frac{\eta_i \cdot \varphi_i}{100}, \%, \quad (7.13)$$

φ_i – вміст даної фракції в складі пилу, % (за масою);

η_i – ефективність очистки газового потоку від конкретної фракції, що визначається за формулою:

$$\eta_i = 1 - e^{-F \cdot W_д}, \text{ в частках;} \quad (7.14)$$

F – питома поверхня осадження, $\frac{м^2 \cdot с}{м^3}$, що визначається за формулою:

$$F = \frac{F_e}{V_г}, \quad (7.15)$$

F_e – площа осадження осаджуючих електродів (приймається за табл. 7.1 в залежності від типа обраного електрофільтра);

$W_д$ – швидкість дрейфу, що визначається для дрібних частинок (<1 мкм) та для крупних частинок (>1 мкм). Приймаємо наступні розміри середніх радіусів частинок:

Розмір частинки d, мкм	<1	1-2	2-15	15-30	>30
Середній радіус частинки $r_{ср}$, мкм	0,25	1,75	4,25	11,25	65

Звідси швидкість дрейфу дрібних частинок визначається за формулою:

$$W_д^{<1} = 0{,}17 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E \cdot C_k}{\mu}, \text{ м/с,} \quad (7.16)$$

C_k – поправка Кенінгема, що дорівнює:

$$C_k = 1 + \lambda \cdot \left(\frac{A}{r_{ср}^{<1}} \right), \quad (7.17)$$

A – численний коефіцієнт, що дорівнює 0,815-1,63;

λ – довжина вільного пробігу молекул газу, м, що дорівнює 10^{-7}.

Звідси знаходимо величину $W_д^{<1} =$ _____ м/с.

Швидкість дрейфу крупних частинок розраховується наступним чином:

$$W_д^{1-2} = 0{,}118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{E^2 \cdot r_{ср}^{1-2}}{\mu}, \text{ м/с;}$$

$$W_д^{2-15} = 0{,}118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{E^2 \cdot r_{ср}^{2-15}}{\mu}, \text{ м/с;}$$

$$W_д^{15-30} = 0{,}118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{E^2 \cdot r_{ср}^{15-30}}{\mu}, \text{ м/с;}$$

$W_{\partial}^{>30} = 0{,}118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{E^2 \cdot r_{cp}^{>30}}{\mu}$, м/с.

Звідси визначаємо фракційні коефіцієнти очистки:

$\eta^{<1} =$_____, $\eta^{1-2} =$_____, $\eta^{2-15} =$_____, $\eta^{15-30} =$_____, $\eta^{>30} =$_____.

Визначаємо загальний коефіцієнт очистки газу:

$\eta = \eta^{<1} \cdot \varphi^{<1} + \eta^{1-2} \cdot \varphi^{1-2} + \eta^{2-15} \cdot \varphi^{2-15} + \eta^{15-30} \cdot \varphi^{15-30} + \eta^{>30} \cdot \varphi^{>30}$, %.

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виконати технологічний розрахунок параметрів електрофільтра, призначеного для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу під впливом електричних сил, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 7.4.

Таблиця 7.4 – Варіанти вихідних даних для технологічного розрахунку параметрів електрофільтра, призначеного для тонкого очищення газоповітряної суміші від частинок пилу під впливом електричних сил

Показник	Варіант						
	1	2	3	4	5	6	7
$V_г$, м^3/годину	9500	10300	8000	19700	8400	10000	18700
$t_г$, °С	150	180	220	160	190	230	170
$P_{бар}$, Па	101063	101337	99077	99084	101369	98539	101048
R, Па	-360	-490	-385	-450	-480	-378	-350
U, В	85200	79100	87500	77400	80400	83800	75700
Вміст конкретної фракції в складі пилу, % (за масою)							
$\varphi^{<1}$	6,9	8,1	6,8	8,3	6,7	8,5	7,1
φ^{1-2}	12,6	5,8	11,5	5,4	10,9	9,3	10,5
φ^{2-15}	63,6	69,5	64,8	70,8	65,2	71,2	66,9
φ^{15-30}	9,6	9,8	9,5	8,8	9,7	4,4	7,9
$\varphi^{>30}$	7,3	6,8	7,4	6,7	7,5	6,6	7,6
Склад димових газів, % (об’єм)							
α_{CO_2}	20,4	19,3	14,3	18,7	15,2	17,5	18,4
α_{H_2O}	18,9	13,9	24,6	21,1	22,2	23,8	18,8
α_{O_2}	4,9	5,3	4,8	5,4	4,7	5,5	4,6
α_{N_2}	55,8	61,5	56,3	54,8	57,9	53,2	58,2

продовження табл. 7.4

Показник	Варіант						
	8	9	10	11	12	13	14
$V_г$, м^3/годину	11200	39300	52500	33400	43900	46800	32900
$t_г$, ºС	210	120	230	260	130	140	250
$P_{бар}$, Па	101072	101063	101337	99077	99084	101048	101072
R, Па	-470	-370	-400	-430	-380	-390	-420
U, В	84100	82600	76800	81300	78300	82530	77350
Вміст конкретної фракції в складі пилу, % (за масою)							
$\varphi^{<1}$	8,7	7,5	8,8	7,8	9,1	9,2	4,6
φ^{1-2}	13,1	7,2	11,4	8,6	12,1	9,4	11,3
φ^{2-15}	62,6	67,4	61,8	68,2	60,3	61,1	71,9
φ^{15-30}	9,1	10,2	11,6	7,6	12,2	10,3	9,2
$\varphi^{>30}$	6,5	7,7	6,4	7,8	6,3	10,0	3,0
Склад димових газів, % (об’єм)							
α_{CO_2}	16,3	19,2	15,8	20,6	14,6	15,9	16,2
α_{H_2O}	25,5	16,9	16,4	14,7	28,4	11,6	10,9
α_{O_2}	5,6	4,5	5,1	4,4	5,2	9,1	7,7
α_{N_2}	52,6	59,4	62,7	60,3	51,8	63,4	65,2

закінчення табл. 7.4

Показник	Варіант					
	15	16	17	18	19	20
$V_г$, м^3/годину	46400	50700	39100	48100	37600	25200
$t_г$, ºС	320	280	350	330	290	360
$P_{бар}$, Па	101063	101337	99077	99084	101369	98539
R, Па	-460	-405	-365	-415	-375	-425
U, В	87240	83210	78420	88360	84930	79760
Вміст конкретної фракції в складі пилу, % (за масою)						
$\varphi^{<1}$	10,3	8,6	9,3	6,8	8,1	5,8
φ^{1-2}	9,2	11,5	9,6	11,7	9,8	11,9
φ^{2-15}	61,5	65,2	61,7	65,8	61,9	66,3
φ^{15-30}	10,5	9,4	10,7	9,6	10,9	9,8
$\varphi^{>30}$	8,5	5,3	8,7	6,1	9,3	6,2
Склад димових газів, % (об’єм)						
α_{CO_2}	17,5	15,7	16,4	17,7	15,5	16,6
α_{H_2O}	12,3	10,7	12,5	10,5	12,7	10,3
α_{O_2}	6,6	8,3	7,3	6,3	7,7	7,4
α_{N_2}	63,6	65,3	63,8	65,5	64,1	65,7

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Надати характеристику методу електричного очищення газу.
2. Навести переваги методу електричного очищення газу.
3. Навести недоліки методу електричного очищення газу
4. В чому полягає сутність процесу електричної фільтрації газів?
5. Надати характеристику електрофільтрів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №8

ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИРОДООХОРОННИХ І РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ, СПРЯМОВАНИХ НА ОХОРОНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Мета: набуття теоретичних знань у сфері технологій захисту атмосферного повітря та здобуття практичних навичок з оцінки еколого-економічної ефективності від впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря.

Завдання:

1. Ознайомитися з природоохоронними заходами, що пропонуються для покращення стану навколишнього середовища, та оцінкою їхньої ефективності, показниками для визначення економічної ефективності від впровадження природоохоронних заходів, економічною оцінкою впливу діяльності людини на довкілля.
2. Ознайомитися з методикою розрахунку еколого-економічної ефективності від впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря.
3. Виконати розрахунок еколого-економічної ефективності від впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря, відповідно до варіанта вихідних даних.

В результаті виконання даної практичної роботи будуть сформовані наступні **результати навчання**:

- визначати доцільність використання схем газоочистки в залежності від критеріїв вибору пилоуловлюючих пристроїв в технологічних процесах та санітарно-гігієнічних вимог до якості атмосферного повітря на промислових територіях;
- оцінювати технологічні параметри процесу газоочистки, ефективність, переваги й недоліки, галузь використання, альтернативні варіанти очистки газопилових викидів.

ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Природоохоронні заходи мають на меті поліпшення стану навколишнього природного середовища або створення умов для цього.

До ***природоохоронних заходів належать*** усі види господарської діяльності, спрямовані на зниження і ліквідацію негативного антропогенного впливу на навколишнє природне середовище, збереження, поліпшення і

раціональне використання природно-ресурсного потенціалу країни, серед них будівництво та експлуатація очисних та знезаражувальних споруд і устаткування, розвиток маловідходних і безвідходних технологічних процесів і виробництв, розміщення підприємств і систем транспортних потоків з урахуванням екологічних вимог, охорони та відтворення флори і фауни, охорони надр і раціонального використання мінеральних ресурсів та інші.

Природоохоронні заходи повинні забезпечувати:

а) дотримання нормативних вимог до якості навколишнього середовища, що відповідає інтересам охорони здоров'я людей і охорони навколишнього природного середовища з урахуванням перспективних змін, зумовлених розвитком виробництва і демографічними зрушеннями;

б) одержання максимального народногосподарського економічного ефекту від поліпшення стану навколишнього середовища, збереження і більш раціонального використання природних ресурсів.

Ознаками природоохоронних заходів є:

- підвищення екологічності продукції, що випускається;
- скорочення споживання природних ресурсів на одиницю продукції, що випускається та здійснення господарської діяльності;
- зниження забруднення природних комплексів викидами, скидами, відходами, фізичними випромінюваннями;
- зниження концентрації забруднюючих речовин у викидах, скидах, відходах;
- поліпшення стану середовища існування людей.

Заходами з охорони атмосферного повітря є:

- створення газовловлюючих установок та пристроїв для технологічних систем та вентиляції;
- розробка пристроїв для нейтралізації вихлопів двигунів внутрішнього згоряння;
- створення приладів та пристроїв для контролю забруднення атмосферного повітря;
- впровадження пристроїв для допалювання та очищення газів від котелень та інших нагрівальних печей;
- створення пристроїв для утилізації речовин з газів, що викидаються;
- переведення нагрівальних печей та пристроїв на паливо з меншою кількістю шкідливих речовин тощо.

Обґрунтування та оцінка природоохоронних заходів є основою економічного методу управління охороною навколишнього природного середовища. Оцінка ефективності природоохоронних заходів здійснюється за соціальними, екологічними, економічними, соціально-економічними, еколого-економічними результатами.

Соціальний результат природоохоронних заходів полягає в підвищенні рівня життя населення, підвищенні ефективності соціального виробництва і збільшенні національного багатства країни. Соціальні результати виражаються в поліпшенні фізичного розвитку населення і в зниженні захворюваності,

продовженні тривалості життя і періоду активної діяльності, поліпшенні умов праці та відпочинку, підтриманні екологічної рівноваги (включаючи збереження генетичного фонду), збереженні естетичної цінності природних ландшафтів, пам'ятників природи, заповідних зон та інших територій під охороною, створенні сприятливих умов для розвитку і росту творчого потенціалу особи і культури, для вдосконалення свідомості людини.

Економічні результати передбачають скорочення збитків, що завдаються природі, економію витрати природних ресурсів, зниження забруднення навколишнього середовища, зростання продуктивності фауни, підвищення працездатності людей.

Економічне обґрунтування природоохоронних заходів вимагає народногосподарського підходу, який передбачає:

а) повне охоплення всіх соціальних, екологічних і економічних результатів різних варіантів природоохоронних заходів у різних сферах народного господарства як найближчим часом, так і в більш віддаленій перспективі;

б) більш повне охоплення всіх витрат, пов'язаних із здійсненням різних варіантів природоохоронних заходів;

в) врахування фактора часу при оцінці витрат і результатів природоохоронних заходів;

г) міжгалузевий підхід з урахуванням необхідності економії всіх витрат і забезпечення ефективнішого використання природних ресурсів у масштабі всієї території, що розглядається (району, області, країни).

Економічне обґрунтування природоохоронних заходів здійснюється через зіставлення їхніх економічних результатів із необхідними для їх упровадження витратами з допомогою показників загального економічного ефекту від цих заходів.

Економічним результатом (повним економічним ефектом) природоохоронних заходів, за розрахунком загальної ефективності природоохоронних витрат, є:

- у сфері матеріального виробництва – приріст обсягів чистої продукції або прибутку, а в окремих галузях або на підприємствах – зниження собівартості;
- у невиробничій сфері – економія витрат на виробництво робіт і надання послуг;
- у сфері приватного споживання – скорочення витрат з особистих коштів населення.

Економічним результатом природоохоронних заходів є сума таких величин:

- відвернені економічні збитки від забруднення навколишнього середовища, тобто здійснені завдяки зменшенню забруднення навколишнього середовища витрат в матеріальному виробництві, невиробничій сфері та витрати населення;
- приріст економічної (грошової) оцінки природних ресурсів, збереження чи поліпшення їх завдяки реалізації природоохоронних заходів;
- приріст грошової оцінки реалізованої продукції, отриманої завдяки повній утилізації сировинних, паливно-енергетичних та інших матеріальних ресурсів унаслідок здійснення природоохоронних заходів.

Екологічний результат природоохоронних заходів полягає в обмеженні негативного впливу на навколишнє середовище і поліпшенні його стану і проявляється в зменшенні об'ємів забруднень, що надходять у середовище, та рівня його забруднення (концентрації забруднюючих речовин у ґрунтах, водоймах, атмосфері, рівнів шуму, радіації тощо), збільшенні кількості і поліпшенні якості придатних до використання земельних, лісових і водних ресурсів, у поліпшенні атмосферного повітря.

Соціально-економічні результати природоохоронних програм оцінюються за комплексними показниками покращання рівня життя людей, ефективності суспільного виробництва, зростання національного багатства країни.

Еколого-економічні результати – це зниження витрачання природних ресурсів, зменшення збитків, що завдаються навколишньому середовищу забрудненнями.

Економічне обґрунтування екологічних програм

Економічне обґрунтування екологічних програм передбачає загальноекономічний підхід, що означає якомога повніше охоплення усіх соціально-економічних результатів щодо варіантів природоохоронних заходів у різних сферах економіки на найближчу і віддалену перспективу; врахування всіх витрат, пов’язаних із здійсненням варіантів, що розглядаються; врахування часового фактора при оцінці витрат і результатів програм; міжгалузевий підхід до обґрунтування природоохоронних заходів по території в цілому.

Економічне обґрунтування екологічних програм будується на зіставленні економічних результатів з витратами на їх здійснення за допомогою системи показників загальної і порівняльної ефективності природоохоронних витрат і чистого економічного ефекту природоохоронних заходів. Отже, для визначення економічної ефективності природоохоронних заходів необхідно дослідити ряд показників:

Загальна (абсолютна) економічна ефективність природоохоронних витрат розраховується як співвідношення річного обсягу повного економічного ефекту до суми приведених витрат, які сприяли цьому ефекту. Показник загальної економічної ефективності застосовується з метою регіонального обґрунтування структури і обсягів природоохоронних заходів або структури і обсягів капітальних вкладень природоохоронного призначення.

Чистим економічним ефектом від природоохоронних заходів вважається загальна сума, яка складається із суми збитків, яких вдалося уникнути завдяки зниженню забруднення навколишнього середовища, витрат у матеріальному виробництві, невиробничій сфері і відповідних витрат населення; приросту економічної (вартісної) оцінки природних ресурсів, які заощаджуються, внаслідок природоохоронних заходів; приросту вартісної оцінки реалізованої продукції, який одержано завдяки утилізації сировинних, паливно-енергетичних та інших матеріальних ресурсів в результаті здійснення природоохоронних дій.

Цей показник використовується для обґрунтування проектних рішень природоохоронних комплексів або об'єктів, коли порівнювані варіанти

неоднакові за своїми соціальними та економічними результатами, а засоби (капіталовкладення) обмежені. Чистий економічний ефект від природоохоронних заходів розраховують за фактичними та очікуваними (плановими, проектними, прогнозними) результатами. В цьому випадку обирають той варіант, який забезпечує максимальний розмір чистого економічного ефекту при дотриманні встановлених вимог до якості навколишнього природного середовища.

Повний економічний ефект природоохоронних витрат розраховується за різницею в прибутку в сфері матеріального виробництва, витрат у невиробничій сфері, витрат з державного бюджету і особистих коштів громадян за стану навколишнього середовища, що склався (або стану, що може виникнути, внаслідок відмови від проведення природоохоронного заходу), і того, що проектується.

Загальна ефективність природоохоронних витрат визначається на всіх стадіях розробки і виконання програм у галузі охорони навколишнього середовища і раціонального використання природних ресурсів у цілому і за регіонами, міністерствами, відомствами та недержавними структурами, при проектуванні об'єктів природоохоронного призначення, а також при оцінці результатів виконання екологічних заходів.

Показник загальної економічної ефективності природоохоронних витрат розраховується як відношення річного обсягу повного економічного ефекту до суми приведених витрат, які сприяли досягненню цього ефекту (тобто експлуатаційних витрат і капіталовкладень, приведених до однакової розмірності згідно з нормативом ефективності).

До капітальних вкладень природоохоронного призначення незалежно від джерел фінансування відносяться одноразові витрати на:

• створення нових і реконструкцію існуючих основних фондів, що запобігають (скорочують) негативному впливу господарської діяльності на навколишнє середовище;

• модифікацію технології виробництва з метою зниження його несприятливого впливу на навколишнє середовище;

• модифікацію технології виробництва в частині, що забезпечує досягнення природоохоронних заходів.

До експлуатаційних витрат природоохоронного призначення відносяться:

• поточні витрати на будівництво і обслуговування основних фондів природоохоронного призначення;

• поточні витрати, пов'язані зі здійсненням заходів, що сприяють поліпшенню якісних характеристик елементів природного середовища;

• додаткові витрати на експлуатацію основних фондів, обумовлені вдосконалюванням виробничої технології, з метою зниження несприятливого впливу господарської діяльності на навколишнє середовище;

• витрати на оплату послуг, пов'язаних з охороною навколишнього середовища. Показники загальної економічної ефективності капітальних вкладень порівнюються з відповідними галузевими нормативами, а також з показниками витрат на аналогічні заходи на передових підприємствах

відповідних галузей, що забезпечують досягнення планованих кінцевих результатів охорони навколишнього середовища.

Показники загальної економічної ефективності капітальних вкладень порівнюються з відповідними галузевими нормативами, а також з показниками витрат на аналогічні заходи на передових підприємствах відповідних галузей, що забезпечують досягнення планованих кінцевих результатів охорони навколишнього середовища.

Кінцевим результатом (економічним ефектом) реалізації засобів, які виділяються на захист навколишнього середовища, повинен стати приріст національного доходу. У зв'язку з тим, що не по всіх галузях і підгалузях народного господарства обчислюється національний доход, він може бути обчислений як різниця між повними народногосподарськими витратами за варіантами, що передбачає функціонування народногосподарського комплексу за умови проведення природоохоронних заходів і існуючими витратами.

Загальна економічна ефективність капітальних вкладень у природоохоронні заходи визначається діленням річного обсягу повного економічного ефекту, за винятком експлуатаційних витрат на утримання і обслуговування природоохоронних об'єктів, на суму капітальних вкладень, що забезпечили цей результат. Показник загальної ефективності капітальних вкладень порівнюється з нормативним і фактично досягнутим.

Розрахунковий економічний ефект стосується окремих підприємств, адміністративних районів, виробничо-промислових комплексів, промислових вузлів і визначається на основі приросту прибутку або зниження собівартості продукції.

Загальний економічний ефект від скорочення захворюваності робітників завдяки покращанню стану навколишнього середовища в результаті виконання природоохоронних заходів визначається як сума наступних показників:

а) ефект від запобігання втратам продукції за час хвороби робітників, зайнятих у сфері матеріального виробництва;

б) ефект від скорочення суми виплат (за рахунок фонду соціального страхування за період тимчасової і постійної непрацездатності) робітникам і службовцям, які захворіли внаслідок забруднення навколишнього середовища;
в) скорочення витрат у системі охорони здоров'я на лікування робітників, що захворіли внаслідок забруднення навколишнього середовища.

Повний економічний ефект від підвищення продуктивності праці робітників в умовах покращання стану навколишнього середовища і збереження естетичної цінності ландшафту, покращання стану рекреаційних зон визначають так:

- загальний ефект у матеріальному виробництві – за річним приростом продукції, а в галузях невиробничої сфери – за скороченням витрат на виробництво робіт і надання послуг;

- розрахунковий ефект на підприємствах – за річним приростом прибутку, в організаціях і установах невиробничої сфери – за економією витрат на виконання робіт і надання послуг.

Повний економічний ефект від запобігання (скорочення) втратам сировини, палива, основних і допоміжних матеріалів, твердих відходів, неочищених стічних вод, шкідливих газів і пилу розраховують так:

- загальний ефект – за річним приростом продукції;
- розрахунковий ефект – за річним приростом прибутку як множення придатних до використання сировини, палива і готової продукції на ціну з відрахуванням поточних витрат на їх виробництво з відходів.

Загальний ефект від продуктивнішого використання основного виробничого обладнання в умовах покращання стану навколишнього середовища оцінюється за річним приростом продукції через скорочення простоїв обладнання в ремонті, збільшення фонду машинного часу, скорочення витрат на всі види ремонту і обслуговування, зростання продуктивності праці робітників, які зайняті на обслуговуванні обладнання з підвищеною надійністю і ремонтопридатністю.

Розрахунковий ефект від запобігання передчасному зношенню основних фондів при використанні природних ресурсів низької якості або роботи обладнання в забрудненому середовищі розраховується як економія витрат на поточні капітальні ремонти плюс приріст прибутку від збільшення строків експлуатації обладнання.

Розрахунковий ефект від підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь визначають за допомогою приросту прибутку в середньому за рік (при зміні собівартості продукції у землекористувача після проведення природоохоронних заходів).

Загальний ефект від підвищення (або від запобігання зниженню) якості промислової продукції, продукції рибного і сільського господарства оцінюють за річним приростом продукції після проведення природоохоронного заходу, а розрахунковий ефект визначають як різницю між прибутком від реалізації продукції до та після проведених заходів.

Загальний ефект від скорочення (або від запобігання збільшенню) витрат на додаткову очистку забрудненої води, атмосферного повітря, скорочення рівнів шуму або вібраційного впливу до нормативних вимог, що застосовуються в технологічних процесах або в умовах невиробничого використання ресурсів, визначають за річним приростом продукції в сфері матеріального виробництва або за скороченням поточних витрат у невиробничій сфері, а розрахунковий ефект визначають як різницю між собівартістю ресурсу, що використовується, у перерахунку на собівартість продукції.

Економічна оцінка впливу діяльності людини на довкілля

Відтворення ресурсів природи, її охорона вимагають суттєвих матеріальних витрат, економічна і соціальна ефективність яких повинна бути достатньо високою для того, щоб суспільство могло їх собі дозволити. В зв’язку з цим виникає проблема економічної та позаекономічної оцінки впливу людини на природу. Проблема ця досить багатогранна, оскільки включає область взаємного проникнення і взаємодії природи і суспільства, а методика оцінки результатів цієї взаємодії ще недостатньо розроблена.

Важливою складовою частиною розробки оцінок впливу на природу є значення системи показників, причому розв'язання різнорідних соціально-економічних завдань вимагає застосування різних видів оцінок.

Економічна оцінка – це оцінка змін в економіці, що виникають при певному впливі внаслідок порушення основних функцій природи, тобто вона відображає вартість заходів на підтримання оптимального стану природної, соціальної і господарської підсистем та вартість збитків від антропогенних впливів. Об'єктом економічних оцінок можуть бути всі види наслідків господарської діяльності (екологічні, соціальні, господарські), але тією мірою, якою вони здійснюють вплив на економічне життя суспільства. Серед різних видів економічних оцінок стану природного середовища частіше використовується оцінка екологічних витрат, що є сукупністю народногосподарських витрат, викликаних з допущеним рівнем екологічних порушень.

Здійснення природоохоронних заходів, як і будь-яких інших соціальних заходів, вимагає витрат, але їх нездійснення також тягне за собою витрати. Ці витрати є двома важливими складовими екологічними втрат.

Перша складова – витрати на природоохоронні заходи в місці потенційного виникнення екологічних порушень. До них належать витрати на попередження забруднень, ерозійні заходи тощо.

Друга складова – економічні збитки від екологічних порушень, що виникають внаслідок відмови від природоохоронних заходів (або недостатніх масштабів їх здійснення). Вони складаються з витрат на компенсацію сировинних втрат з газами, що відходять, твердими відходами, стічними водами, а також із витрат на попередження і ліквідацію несприятливого впливу на реципієнтів (об'єкти, яким завдаються збитки), і в цілому на природне середовище, що проявляється в зниженні цінності ландшафтів (рекреаційної, середовище-захисної), погіршенні умов роботи людей, підприємств, техніки, втратах робочого часу пов'язаних з підвищеною захворюваністю, погіршення умов життя і умов утримання комунально-побутового господарства.

Основними реципієнтами забруднення навколишнього природного середовища є:

- населення;
- об'єкти житлово-комунального господарства;
- сільськогосподарські угіддя;
- лісові ресурси;
- елементи основних фондів промисловості і транспорту;
- рентні ресурси;
- рекреаційні ресурси.

Крім того, можуть виникнути небажані для суспільства зміни в структурі і спеціалізації господарств, підвищення міграційності населення тощо. Тому економічна оцінка екологічних витрат *Е* обчислюється за формулою:

$$E = B_з + З_{бф},$$

$B_з$ – витрати на здійснення природоохоронних заходів;

$З_{бф}$ – фактичні збитки, що завдаються господарству і населенню після

проведення або в результаті не проведення природоохоронних заходів у вартісному вираженні.

Якщо самі природоохоронні витрати (перша складова екологічних витрат), як правило, функціонально (детерміновано) залежать від масштабів і характеру попереджувальних екологічних порушень і тому визначаються з найбільшим ступенем достовірності, то економічні збитки не піддаються однозначному визначенню і розглядаються у вигляді діапазону можливих значень для різних комбінацій параметрів, що характеризують об'єкти, на які діють екологічні порушення (чисельність і віковий склад населення, характер його зайнятості, забезпеченості харчуванням, вартість основних фондів тощо). Ці витрати можуть не збігатися за місцем і часом, їх виникнення з екологічними порушеннями, що їх викликали. Тому економічні збитки є за своєю природою стохастичною величиною, яка піддається обчисленню лише з тим чи іншим ступенем ймовірності. В цьому полягає головна трудність визначення вказаної компоненти екологічних витрат. Складові економічної оцінки перебувають між собою у функціональній залежності (при збільшенні витрат за однією з цих складових можна добитися зниження витрат за іншою) і взаємно доповнюють одна одну.

При цьому залежно від специфіки регіональних умов, наявності трудових, матеріальних ресурсів основні напрями природоохоронної діяльності можуть бути визначені як такі, що закріплюють сучасний стан ландшафтів і використання ресурсів, що допускає зниження якості середовища на рівні, який не є нижчим за нормативний.

Залежно від стратегії виділяють наступні модифікації економічних оцінок. Якщо внаслідок природоохоронних заходів досягнуто нормативної якості середовища, тобто повністю забезпечується відтворення середовищної і ресурсної функції природи, тоді:

$$E = B_з .$$

Наприклад, при зниженні забруднень внаслідок певних заходів до рівня ГДК або при використанні земельних угідь на рівні гранично допустимого навантаження.

У випадку, якщо природоохоронні заходи не проводяться, економічна оцінка збігається з можливими економічними збитками і має вигляд:

$$E = З_{можс},$$

$З_{можс}$ – можливі економічні збитки.

Якщо природоохоронні заходи є багатоцільовими, то в економічній оцінці враховується додатковий економічний ефект від їх проведення. До багатоцільових належать, наприклад, роботи по лісовідновленню, які не лише збільшують продуктивність лісів та забезпеченість лісовими ресурсами, а й дають змогу попередити виникнення і розвиток прискореної ерозії.

Запровадження маловідходної технології знижує масштаби забруднення середовища і забезпечує більш повну утилізацію матеріально-енергетичних ресурсів. У цьому випадку економічна оцінка має вигляд:

$$E = B_з + З_{бф} - \Delta E ,$$

ΔE – додатковий економічний ефект від природоохоронних заходів, багатоцільових за своїм призначенням.

Економічно оцінити господарські наслідки можна, як правило, лише частково. Так, при погіршенні умов праці і відпочинку через деградацію ландшафтів можна одержати економічне вираження на основі обліку його непрямого. впливу на суспільну продуктивність праці.

Через не розробленість вартісної оцінки наслідків господарської діяльності недостатньо відображаються в економічній оцінці різного роду зміни в ландшафтах. Наприклад, важко знайти вартісне вираження доцільності збереження певної кількості видів флори і фауни в кожній природній зоні, хоча, безумовно, від цього змінюється такий. показник, як урожайність сільськогосподарських культур. Часто економічна оцінка буває утруднена через значний розрив у часі між впливами і їх негативними наслідками, через невизначеність масштабів і термінів їх прояву, а також через те, що в оцінці не знаходить відображення фактор незворотності руйнування природного середовища, особливо унікальних природних ландшафтів. Крім того, екологічні наслідки набувають звичайно економічної значущості лише при обмеженості природних ресурсів, оскільки природні комплекси виступають не лише як фактор середовища, а й як джерело ресурсів. За таких умов на відтворення ресурсів необхідні додаткові витрати праці.

Виходячи з викладеного матеріалу, доходимо висновків:

- усі види збитків, заподіяних навколишньому середовищу в процесі виробництва, повинні бути заміщені; по можливості їх необхідно передбачати (принцип відтворення навколишнього середовища);

- крім заміщення уже заподіяних і попередження можливих збитків (просте відтворення), необхідно піклуватися про цілеспрямоване формування і поліпшення навколишнього середовища (розширене відтворення), що також вимагає додаткових витрат.

ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Порядок визначення еколого-економічної ефективності від впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря

1. Визначаємо масу *i*-тої забруднюючої речовини, що викидається в атмосферне повітря понад нормативу, тонни/рік, за базовим варіантом.

Розрахунок понаднормативних викидів (M_i) в тоннах здійснюють шляхом визначення різниці між фактичними та дозволеними потужностями викидів, з врахуванням часу роботи джерела в режимі понаднормативного викиду.

Розрахунок виконується за формулою:

$$M_i = 0{,}0036 \cdot \left(V_i \cdot C_i - M_{q_i}\right) \cdot T \,, \qquad (8.1)$$

V_i – об’ємні витрати газопилового потоку на виході з джерела, м^3/с;

C_i – середня концентрація *i*-тої забруднюючої речовини, г/м^3, розрахована як середньоарифметична;

M_{q_i} – потужність дозволеного викиду *i*-тої забруднюючої речовини за

даним джерелом, г/с, яка встановлена дозволом на викид;

T – час роботи джерела в режимі понаднормативного викиду, години.

Оскільки ТЕС весь час скеровувала газопилові викиди без очищення в атмосферу до прийняття рішення щодо впровадження технології доочищення газових і пилових викидів, то будемо приймати, що джерело працювало в режимі понаднормативного викиду 365 днів на рік.

Результати розрахунку маси i-тої забруднюючої речовини, що викидається в атмосферне повітря понад нормативу, тонни, за базовим варіантом наведено в таблиці (приклад):

Назва забруднюючої речовини, що викидається в атмосферу понад нормативу	V_i, м^3/с	C_i, г/м^3	Mq_i, г/с	T, години	M_i, тонни
1. Тверді часточки (пил)					
2. Сажа					
3. Двоокис сірки					
4. Оксид вуглецю					
5. Двоокис азоту					

2. Визначаємо необхідний ступінь очищення i-тої забруднюючої речовини, що входить до складу газопилових викидів, що надходять в атмосферне повітря, тобто ефективність, яка необхідна для збереження санітарних норм очищення. Для забезпечення необхідної потужності дозволеного викиду і-тої забруднюючої речовини за даним джерелом (Mq_i), ефект очищення e_i, %, повинен складати:

$$\varepsilon_i = 100 - \frac{M_{q_i}}{M_i} \cdot 100\% . \qquad (8.2)$$

Запропоновано 2 варіанти очисних споруд з різним ступенем очищення забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря:

Назва забруднюючої речовини, що викидається в атмосферу понад нормативу	Ступінь очищення забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря понад нормативу, запропонованими очисними спорудами, %	
	I варіант	II варіант
1. Тверді часточки (пил)	вих. дані	вих. дані
2. Сажа	вих. дані	вих. дані
3. Двоокис сірки	вих. дані	вих. дані
4. Оксид вуглецю	вих. дані	вих. дані
5. Двоокис азоту	вих. дані	вих. дані

Використовуючи формулу $\varepsilon_i = 100 - \frac{M_{q_i}}{M_i} \cdot 100\%$, розраховуємо масу i-тої забруднюючої речовини (M_i), при впровадженні I та II варіантів очисних споруд, за умови, що величина Mq_i (потужність дозволеного викиду і-тої забруднюючої речовини за даним джерелом) залишається сталою і в першому, і в другому варіантах.

Результати розрахунку наведено в таблиці (приклад):

Назва забруднюючої речовини, що викидається в атмосферу понад нормативу	Mq_i, г/с	Маса і-тої забруднюючої речовини (M_i) реальна та при впровадженні запропонованих очисних споруд		
		базовий варіант	І варіант	ІІ варіант
1. Тверді часточки (пил)				
2. Сажа				
3. Двоокис сірки				
4. Оксид вуглецю				
5. Двоокис азоту				

3. Визначаємо розмір збитків за понаднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря за базовим, І і ІІ варіантами.

Розрахунок проводиться на основі розміру мінімальної заробітної плати з врахуванням об'ємів понаднормативних викидів і коефіцієнтів. Розмір компенсації збитків в одиницях національної валюти визначається за формулою:

$$Ш = M_i \cdot 1{,}1 \cdot П \cdot A_i \cdot K_m \cdot K_1, \quad (8.3)$$

Ш – розмір компенсації збитків, одиниці національної валюти;

M_i – маса *і*-тої забруднюючої речовини, що викидається в атмосферне повітря понад нормативу, тонни;

1,1 П – базова ставка компенсації збитків в частках мінімальної заробітної плати (*П*) за одну тонну умовної забруднюючої речовини на момент перевірки, одиниці національної валюти/тонну;

A_i – безрозмірний показник відносної небезпеки *і*-тої забруднюючої речовини, який визначається з співвідношення за формулою:

$$A_i = \frac{1}{ГДК_i}, \quad (8.4)$$

$ГДК_i$ – граничнодопустима концентрація або орієнтовно безпечний рівень впливу (*ОБРВ*) *і*-тої забруднюючої речовини, мг/м^3. Значення величин граничнодопустимих концентрацій забруднюючих речовин наведено в табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Величини граничнодопустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин

Забруднююча речовина	Значення ГДК, мг/м^3
1. Тверді часточки (пил)	0,5
2. Сажа	0,15
3. Діоксид сірки	0,5
4. Оксид вуглецю	1,0
5. Діоксид азоту	0,085

Для речовин з ГДК більшим одиниці в чисельнику вводиться поправочний коефіцієнт 10.

Для речовин, за якими відсутні величини ГДК і ОБРВ, показник A_i приймається рівним 500.

Для речовин, за якими відсутня величина середньодобової ГДК, при

визначенні показника A_i береться величина максимально разової ГДК забруднюючої речовини в атмосферному повітрі.

K_m – коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості, які залежать від чисельності мешканців населеного пункту, його народногосподарського значення та розраховується за формулою:

$$K_m = K_{НАС} \cdot K_Ф , \quad (8.5)$$

$K_{нас}$ – коефіцієнт, що залежить від численності мешканців населеного пункту, значення якого наведено в табл. 8.2;

Таблиця 8.2 – Значення коефіцієнта, що встановлюється в залежності від чисельності мешканців населеного пункту

Чисельність населення, тис. осіб	Значення коефіцієнта
до 100	1
100,1-250	1,2
250,1-500	1,35
500,1-1000	1,55
вище 1000	1,8

$K_ф$ – коефіцієнт, що враховує народногосподарське значення населеного пункту, значення якого наведено в табл. 8.3.

Таблиця 8.3 – Значення коефіцієнта, що встановлюється в залежності від народногосподарського значення населеного пункту

Тип населеного пункту	Значення коефіцієнта
Організаційно-господарські та культурно-побутові центри місцевого значення з переважанням аграрно-промислових функцій (районні центри, міста районного значення, селища та села)	1
Багатофункціональні центри, центри з переважанням промислових і транспортних функцій (республіканські* і обласні центри, міста державного, республіканського*, обласного значення)**	1,25
Населені пункти, що відносяться до курортних	1,65

* Автономна республіка Крим

** Якщо населений пункт одночасно має промислове значення і відноситься до курортного, приймається коефіцієнт 1,65.

K_1 – коефіцієнт, що залежить від рівня забруднення атмосферного повітря населеного пункту *i*-тою забруднюючою речовиною, що визначається за формулою:

$$K_1 = \frac{q}{ГДК_{C_i}} , \quad (8.6)$$

q – середньорічна концентрація *i*-тої забруднюючої речовини за даними прямих замірів на стаціонарних постах за попередній рік, мг/м^3;

ГДКс$_i$ – середньодобова ГДК *i*-тої забруднюючої речовини, мг/м^3.

У випадку, коли в даному населеному пункті інструментальні заміри концентрації даної забруднюючої речовини не виконувалися, а також, коли рівні забруднення атмосферного повітря населеного пункту *i*-тою забруднюючою речовиною не перевищують ГДК, значення коефіцієнта K_1 приймається рівним одиниці!!!

Результати розрахунку збитків за понаднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря за базовим, І і ІІ варіантами наведено в таблиці (приклад):

Назва забруднюючої речовини, що викидається в атмосферу понад нормативу	Показники, що враховуються при розрахунку збитків за понаднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря						Сума збитків, грн.
	ГДК$_i$	*A$_i$*	*M$_i$*, тонни	*K$_{нас}$*	*K$_ф$*	*K$_1$*	
збитки за базовим варіантом:							
1. Тверді часточки (пил)							
2. Сажа							
3. Двоокис сірки							
4. Оксид вуглецю							
5. Двоокис азоту							
Всього:						*Ш=*	
збитки після впровадження очисних споруд за І варіантом:							
1.							
…							
5.							
Всього:						*Ш$_1$=*	
збитки після впровадження очисних споруд за ІІ варіантом:							
1.							
…							
5.							
Всього:						*Ш$_2$=*	

4. Визначаємо величину попереджувальних економічних збитків за понаднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря (*П*, грн.).

Величина попереджувальних економічних збитків за понаднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря (*П*) визначається як різниця між розрахунковими величинами збитків, які мали місце до здійснення запропонованого природоохоронного заходу, та остаточних збитків після проведення цього заходу:

- за І варіантом: $П_I = Ш - Ш_1$, (8.7)

- за ІІ варіантом: $П_{II} = Ш - Ш_2$. (8.8)

5. Визначаємо річний приріст доходу від покращення виробничих результатів при проведенні багатоцільового природоохоронного заходу (*ДД*, грн.).

Річний приріст доходу від покращення виробничих результатів при

проведенні багатоцільового природоохоронного заходу (*ДД*) визначається за наступною загальною формулою:

$$\Delta Д = \sum_{j=1}^{n} g_j \cdot c_j - \sum_{i=1}^{m} g_i \cdot c_i \ , \qquad (8.9)$$

g_i – кількість товарної продукції *i*-того виду (якості), що отримується та реалізується до здійснення оцінюваного природоохоронного заходу;

g_j – теж, після його здійснення;

c_i (c_j) – оцінка одиниці *i*-тої (*j*-тої) продукції.

Чистий дохід (*c*) від реалізації 1 тонни твердих часточок і сажі, що вловлюються очисними спорудами, складає 1000 грн./тонну.

Сумарна маса твердих часточок (пилу) та сажі до та після впровадження технології очищення газових і пилових викидів наведена в таблиці:

	Маса твердих часточок (пилу) та сажі до та після впровадження технології очищення газових і пилових викидів, тонни		
	базовий варіант	І варіант	ІІ варіант
1. Тверді часточки (пил) + сажа			

Таким чином, річний приріст доходу від покращення виробничих результатів при проведенні багатоцільового природоохоронного заходу буде складати:

- за І варіантом: $\Delta Д_I$ =____ грн.;

- за ІІ варіантом: $\Delta Д_{II}$ =____ грн.

6. Визначаємо економічний результат природоохоронних заходів (*Р*, грн.). Для одноцільових природоохоронних заходів економічний результат виражається у величині попереджувальних ними річних економічних збитків від забруднення середовища (*П*), а для багатоцільових природоохоронних заходів – в сумі вказаної величини (*П*) і річного приросту доходу (додаткового доходу) від покращення виробничих результатів діяльності підприємства або групи підприємств (*ДД*) та визначається за формулою:

$$Р = П + \Delta Д \ . \qquad (8.10)$$

Таким чином, економічний результат природоохоронних заходів буде складати:

- за І варіантом: $Р_I = П_I + \Delta Д_I$ грн.;

- за ІІ варіантом: $Р_{II} = П_{II} + \Delta Д_{II}$ грн.

7. Визначаємо наведені витрати на впровадження технології очищення газових і пилових викидів в атмосферне повітря (*З*), грн./рік, за формулою:

$$З = С + Е_Н \cdot К \ , \qquad (8.11)$$

З – наведені витрати на впровадження технології очищення газових і пилових викидів в атмосферне повітря, грн./рік;

С – річні експлуатаційні витрати на обслуговування та утримання основних фондів природоохоронного призначення, що викликають повний економічний

ефект, грн./рік;

$E_н$ – нормативний коефіцієнт загальної економічної ефективності капітальних вкладень природоохоронного призначення в промисловості. Його величина приймається рівною 0,12;

K – капітальні вкладення в будівництво основних фондів природоохоронного призначення, що викликають повний економічний ефект, грн.

Таким чином, наведені витрати на впровадження технології очищення газових і пилових викидів в атмосферне повітря будуть складати:

- за І варіантом: $З_I = C_I + E_H \cdot K_I$ грн.;

- за ІІ варіантом: $З_{II} = C_{II} + E_H \cdot K_{II}$ грн.

При порівнянні між собою короткострокових або довгострокових заходів із приблизно рівними значеннями річних експлуатаційних витрат і однаковими розмірами капітальних вкладень за роками розрахункового періоду з їхнього числа обирається варіант, що відрізняється мінімальною величиною наведених до річної розмірності витрат.

8. Визначаємо річний чистий економічний ефект (R, грн.) від впровадження очисних споруд за формулою:

$$R = P - З. \tag{8.12}$$

Таким чином, річний чистий економічний ефект від впровадження очисних споруд буде складати:

- за І варіантом: $R_I = P_I - З_I$ грн.;

- за ІІ варіантом: $R_{II} = P_{II} - З_{II}$ грн.

9. Визначаємо економічну ефективність від впровадження технології очищення газопилових викидів (E) за формулою:

$$E = \frac{P - C}{K}. \tag{8.13}$$

Таким чином, економічна ефективність від впровадження технології очищення газопилових викидів буде складати:

- за І варіантом: $E_I = \frac{P_I - C_I}{K_I}$ грн.;

- за ІІ варіантом: $E_{II} = \frac{P_{II} - C_{II}}{K_{II}}$ грн.

Економічна ефективність від впровадження технології очищення газових і пилових викидів повинна бути вище нормативної (E_H=0,12). Тільки в цьому випадку можна говорити, що даний природоохоронний захід є економічно ефективним.

Отримані в ході розрахунків значення для більш наглядного порівняння варіантів наведено у вигляді таблиці (приклад):

Отримані показники	Варіанти		
	базовий	варіант I	варіант II
1. Екологічні збитки за понаднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря (*Ш*), грн.			
2. Попереджувальні економічні збитки за понаднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря (*П*), грн.			
3. Річний приріст доходу від покращення виробничих результатів при проведенні багатоцільового природоохоронного заходу (*ДД*), грн.			
4. Економічний результат природоохоронних заходів (*Р*), грн.			
5. Наведені витрати на впровадження технології очищення газових і пилових викидів в атмосферне повітря (*З*), грн.			
6. Річний чистий економічний ефект (*R*) від впровадження очисних споруд, грн.			
7. Економічна ефективність від впровадження технології очищення газопилових викидів (*Е*)			

Після заповнення таблиці, аналізуємо наведену інформацію і пропонуємо в якості природоохоронних заходів обрати найбільш еколого-економічний варіант впровадження технології доочищення газопилових викидів (I або II варіант).

КОНТРОЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Оцінити еколого-економічну ефективність від впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря, відповідно до варіанта вихідних даних, наведеного в табл. 8.4.

Таблиця 8.4 – Варіанти вихідних даних для оцінки еколого-економічної ефективності від впровадження природоохоронних і ресурсозберігаючих заходів, спрямованих на охорону атмосферного повітря

Значення показників	Варіанти						
	1	2	3	4	5	6	7
1. V_i, млн. м^3/рік	200	230	210	220	205	215	214
2. Концентрація забруднюючих речовин у газопилових викидах, C_i,г/м^3:							
тверді часточки (пил)	14,7	15,3	15,9	16,1	17,7	17,1	16,4
сажа	0,3	0,37	0,44	0,55	0,38	0,46	0,61
двоокис сірки	7,6	8,22	8,53	9,1	6,9	7,2	7,4
оксид вуглецю	0,7	0,81	0,74	0,62	0,77	0,69	0,83
двоокис азоту	0,45	0,42	0,56	0,51	0,49	0,54	0,58

продовження табл. 8.4

Значення показників	Варіанти						
	1	2	3	4	5	6	7
3. Потужність дозволеного викиду (Mq_i) забруднюючої речовини за даним джерелом, г/с							
тверді часточки (пил)	85,7	84,3	81,9	82,7	80,5	83,7	82,9
сажа	0,9	1,4	1,45	1,61	1,57	1,59	1,46
двоокис сірки	41,0	37,6	38,2	39,5	40,5	42,4	36,3
оксид вуглецю	2,5	2,35	2,39	2,41	2,4	2,3	2,25
двоокис азоту	1,9	1,7	1,75	1,8	1,86	2,0	2,03
4. Чисельність населення, тис. осіб	1250	750	340	240	98	400	920
5. Коефіцієнт K_ϕ	1,25	1,25	1,65	1,65	1,25	1,65	1,25
6. Ступінь очищення забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря понад нормативу, запропонованими очисними спорудами, %							
І варіант							
тверді часточки (пил)	10,1	37,3	20,41	29,75	39,99	35,65	27,22
сажа	45,0	41,7	37,35	32,48	40,72	40,91	44,49
двоокис сірки	22,7	38,4	40,68	40,31	19,11	25,63	32,65
оксид вуглецю	38,4	35,5	43,79	44,63	44,66	34,26	43,29
двоокис азоту	20,5	31,8	45,4	39,39	39,96	39,76	32,32
ІІ варіант							
тверді часточки (пил)	10,9	21,5	35,37	36,67	27,67	29,72	35,85
сажа	29,9	36,3	42,64	43,33	32,33	36,29	39,41
двоокис сірки	30,4	42,3	38,22	36,88	15,29	20,08	37,38
оксид вуглецю	43,1	41,6	36,93	40,07	40,08	41,48	38,78
двоокис азоту	39,4	40,7	40,77	44,27	44,36	43,85	40,25
7. Капітальні вкладення в будівництво основних фондів природоохоронного призначення, що викликають повний економічний ефект, тис. грн.	І варіант						
	2500	1900	1950	2050	2160	2491	1885
	ІІ варіант						
	1800	2750	2390	2345	2487	2627	2074
8. Річні експлуатаційні витрати на обслуговування та утримання основних фондів природоохоронного призначення, що викликають повний економічний ефект, тис. грн.	І варіант						
	400	300	285	250	477	560	298
	ІІ варіант						
	340	420	376	276	536	644	321

продовження табл. 8.4

Значення показників	Варіанти						
	8	9	10	11	12	13	14
1.V_i, млн. м^3/рік	217	219	218	225	223	190	195
2. Концентрація забруднюючих речовин у газопилових викидах, C_i,г/м^3:							
тверді часточки (пил)	17,5	15,5	16,7	15,1	17,4	16,9	17,8
сажа	0,69	0,41	0,63	0,51	0,49	0,68	0,56
двоокис сірки	8,1	7,75	7,55	7,99	8,32	8,51	7,45
оксид вуглецю	0,88	0,93	0,64	0,76	0,84	0,93	0,68
двоокис азоту	0,6	0.62	0,43	0,55	0,65	0,48	0,66
3. Потужність дозволеного викиду (Mq_i) забруднюючої речовини за даним джерелом, г/с							
тверді часточки (пил)	84,4	86,8	79,9	78,1	77,2	78,6	80,8
сажа	1,48	1,5	1,33	1,37	1,69	1,7	1,05
двоокис сірки	36,9	37,7	38,9	38,5	37,4	39,2	40,4
оксид вуглецю	2,2	2,0	2,15	2,11	2,09	2,17	2,22
двоокис азоту	1,71	1,74	1,65	1,69	1,5	1,57	1,52

продовження табл. 8.4

Значення показників	Варіанти						
	8	9	10	11	12	13	14
4. Чисельність населення, тис. осіб	1150	890	1094	221	427	845	1407
5. Коефіцієнт $K_ф$	1,25	1,25	1,65	1,65	1,25	1,65	1,65
6. Ступінь очищення забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря понад нормативу, запропонованими очисними спорудами, %							
I варіант							
тверді часточки (пил)	40,09	20,36	31,17	38,99	42,02	31,41	40,0
сажа	38,99	43,28	46,06	40,09	36,58	40,66	43,61
двоокис сірки	39,99	36,79	30,42	41,75	40,93	35,02	15,48
оксид вуглецю	40,33	46,26	40,19	42,26	40,97	42,39	39,99
двоокис азоту	41,66	41,01	40,98	45,85	47,34	38,44	40,76
II варіант							
тверді часточки (пил)	37,21	32,93	37,71	29,92	37,78	33,39	34,29
сажа	45,35	40,57	40,32	46,06	40,91	44,26	37,75
двоокис сірки	35,05	32,61	20,45	33,43	35,65	30,22	22,72
оксид вуглецю	44,29	41,44	44,49	44,62	44,71	35,79	44,16
двоокис азоту	36,76	45,55	34,74	40,34	41,21	42,32	43,04
7. Капітальні вкладення в будівництво основних фондів природоохоронного призначення, що викликають повний економічний ефект, тис. грн.	I варіант						
	2121	2742	2355	1707	3000	2274	2855
	II варіант						
	1824	2493	2659	1973	2697	2932	1847
8. Річні експлуатаційні витрати на обслуговування та утримання основних фондів природоохоронного призначення, що викликають повний економічний ефект, тис. грн.	I варіант						
	286	665	322	225	716	435	677
	II варіант						
	250	471	387	294	626	691	409

продовження табл. 8.4

Значення показників	Варіанти					
	15	16	17	18	19	20
1. V_i, млн. м^3/рік	350	295	360	285	370	275
2. Концентрація забруднюючих речовин у газопилових викидах, C_i,г/м^3:						
тверді часточки (пил)	14,7	15,3	15,9	16,1	17,7	17,1
сажа	0,3	0,37	0,44	0,55	0,38	0,46
двоокис сірки	7,6	8,22	8,53	9,1	6,9	7,2
оксид вуглецю	0,7	0,81	0,74	0,62	0,77	0,69
двоокис азоту	0,45	0,42	0,56	0,51	0,49	0,54
3. Потужність дозволеного викиду (Mq_i) забруднюючої речовини за даним джерелом, г/с						
тверді часточки (пил)	85,7	84,3	81,9	82,7	80,5	83,7
сажа	0,9	1,4	1,45	1,61	1,57	1,59
двоокис сірки	41,0	37,6	38,2	39,5	40,5	42,4
оксид вуглецю	2,5	2,35	2,39	2,41	2,4	2,3
двоокис азоту	1,9	1,7	1,75	1,8	1,86	2,0
4. Чисельність населення, тис. осіб	1250	750	340	240	98	400
5. Коефіцієнт $K_ф$	1,25	1,25	1,65	1,65	1,25	1,65

закінчення табл. 8.4

Значення показників	Варіанти					
	15	16	17	18	19	20
6. Ступінь очищення забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря понад нормативу, запропонованими очисними спорудами, %						
I варіант						
тверді часточки (пил)	10,1	37,3	20,41	29,75	39,99	35,65
сажа	45,0	41,7	37,35	32,48	40,72	40,91
двоокис сірки	22,7	38,4	40,68	40,31	19,11	25,63
оксид вуглецю	38,4	35,5	43,79	44,63	44,66	34,26
двоокис азоту	20,5	31,8	45,4	39,39	39,96	39,76
II варіант						
тверді часточки (пил)	10,9	21,5	35,37	36,67	27,67	29,72
сажа	29,9	36,3	42,64	43,33	32,33	36,29
двоокис сірки	30,4	42,3	38,22	36,88	15,29	20,08
оксид вуглецю	43,1	41,6	36,93	40,07	40,08	41,48
двоокис азоту	39,4	40,7	40,77	44,27	44,36	43,85
7. Капітальні вкладення в будівництво основних фондів природоохоронного призначення, що викликають повний економічний ефект, тис. грн.	I варіант					
	2500	1900	1950	2050	2160	2491
	II варіант					
	1800	2750	2390	2345	2487	2627
8. Річні експлуатаційні витрати на обслуговування та утримання основних фондів природоохоронного призначення, що викликають повний економічний ефект, тис. грн.	I варіант					
	400	300	285	250	477	560
	II варіант					
	340	420	376	276	536	644

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які заходи належать до природоохоронних?
2. Назвіть дві умови, які повинні забезпечувати природоохоронні заходи.
3. Перерахуйте ознаки природоохоронних заходів.
4. Що можна віднести до заходів з охорони атмосферного повітря?
5. Надати характеристику соціального результату природоохоронних заходів.
6. Надати характеристику економічного результату природоохоронних заходів.
7. Надати характеристику екологічного результату природоохоронних заходів.
8. В чому полягає економічне обґрунтування екологічних програм?
9. Які показники необхідно дослідити для визначення економічної ефективності природоохоронних заходів?
10. Які витрати відносяться до капітальних вкладень природоохоронного призначення?
11. Які витрати природоохоронного призначення відносяться до експлуатаційних?
12. Надати характеристику найважливішим складовим екологічних витрат.
13. Назвіть основних реципієнтів забруднення навколишнього природного середовища.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Навчальні досягнення здобувачів вищої освіти за результатами вивчення курсу оцінюватимуться за шкалою, що наведена нижче:

Рейтингова шкала	Інституційна шкала
90-100	відмінно / Excellent
75-89	добре / Good
60-74	задовільно / Satisfactory
0-59	незадовільно / Fail

Здобувачі вищої освіти можуть отримати **підсумкову оцінку** з навчальної дисципліни на підставі поточного оцінювання знань за умови, якщо набрана кількість балів складатиме не менше 60 балів.

Максимальне оцінювання:

Теоретична частина	Практична частина		**Разом**
	при своєчасному складанні	при несвоєчасному складанні	
60	40	32	**100**

Практичні роботи приймаються за контрольними запитаннями до кожної з роботи. Оцінювання практичних робіт здійснюється шляхом підсумовування балів за кожну складену практичну роботу.

Критерії оцінювання практичної роботи

За кожну практичну роботу здобувач вищої освіти може отримати наступну кількість балів:

5 балів: отримано правильну відповідь (згідно з еталоном), використано формулу з поясненням змісту окремих її складових, зазначено одиниці виміру.

4 бали: отримано правильну відповідь з незначними неточностями згідно з еталоном, відсутня формула та/або пояснення змісту окремих складових, або не зазначено одиниці виміру.

3 бали: отримано неправильну відповідь, проте використано формулу з поясненням змісту окремих її складових, зазначено одиниці виміру.

2 бали: отримано неправильну відповідь, проте не використано формулу з поясненням змісту окремих її складових та/або не зазначено одиниці виміру.

1 бал: наведено неправильну відповідь, до якої не надано жодних пояснень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до виконання практичних та самостійних робіт з дисципліни «Технології очистки та утилізації промислових стоків та викидів» (Частина ІІ) для здобувачів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія, 162 – Біотехнології та біоінженерія; укладач: Бєлянська О.Р. – Кам'янське: ДДТУ, 2022. – 43 с.

2. Караїм О.А. Промислова екологія: методичні вказівки до практичних робіт. – Луцьк: Вежа-Друк, 2022. – 80 с.

3. Сарапіна М.В. Процеси та апарати пилогазоочищення: курс лекцій. Х.: НУЦУ, 2018. 125 с.

4. Гумницький Я.М., Петрушка І.М. Інженерна екологія. Загальний курс: Навчальний посібник. Ч. 2. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. 348 с.

5. Процеси та апарати природоохоронних технологій [Текст]: підручник в 2-х т. Т.1 / Л.Д. Пляцук, Р.А. Васькін, В.П. Шапорев [та ін.]. – Суми: СумДУ, 2017. – 435 с.

6. Технології захисту навколишнього середовища. Ч.1. Захист атмосфери: підручник / Петрук В.Г., Васильківський І.В., Петрук Р.В. та ін. – Херсон: Олді+, 2019. – 432 с.

7. Зацерклянний М.М. Процеси захисту навколишнього середовища: підруч. / М.М. Зацерклянний, Т.Б. Столевич, О.М. Зацерклянний. – К.: Фенікс, 2017. 454 с.

8. Герасимов, О.І. (2018). Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища: Навчальний посібник. ТЕС, Одеса. 228 с.

ДОДАТОК А

Значення встановлених коефіцієнтів комбінованої дії хімічних речовин ($К_{к.д.}$)

1. Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект сумації біологічної дії з $К_{к.д.}$ рівним 1,0.

1. Ацетон, акролеїн, фталевий ангідрид;
2. Ацетон і фенол;
3. Ацетон і ацетофенон;
4. Ацетон, фурфурол, формальдегід і фенол;
5. Аерозолі п'ятиоксиду ванадію та оксидів марганцю;
6. Ацетальдегід і вінілацетат;
7. Аерозолі п'ятиоксиду ванадію і сірчистий ангідрид;
8. Аерозолі п'ятиоксиду ванадію і триоксиду хрому;
9. Азоту диоксид, гексен, сірчистий ангідрид, оксид вуглецю;
10. Акрилова і метакрилова кислоти;
11. Акрилова і метакрилова кислоти, бутилакрилат, бутилметакрилат, метилакрилат, метилметакрилат;
12. Ацетон, трикрезол, фенол;
13. Аміак, сірководень;
14. Аміак, сірководень, формальдегід;
15. Аміак, формальдегід;
16. Азоту диоксид і оксид, мазутна зола, сірки диоксид;
17. Бензол і ацетофенон;
18. Валеріанова, капронова і масляна кислоти;
19. Вольфрамовий і сірчистий ангідриди;
20. Гексахлоран і фазолон;
21. 2,3-Дихлор-1,4-нафтахінон і 1,4-нафтахінон;
22. 1,2-Дихлорпропан, 1,2,3-трихлорпропан, і тетрахлоретилен;
23. Ізопропілбензол і гідроперекис ізопропілбензолу;
24. Ізобутенілкарбінол і диметилвінілкарбінол;
25. Метилдигідропіран і метилентетрагідропіран;
26. Миш'яковистий ангідрид і свинцю ацетат;
27. Миш'яковистий ангідрид і германій;
28. Моно-, ди- і пропіламіни;
29. Озон, диоксид азоту, формальдегід;
30. Оксид вуглецю, диоксид азоту, формальдегід, гексан;
31. Оксид вуглецю і пил цементного виробництва;
32. Оцтова кислота і оцтовий ангідрид;
33. Пропіонова кислота і пропіоновий альдегід;
34. Свинцю оксид і сірки диоксид;
35. Сірководень і формальдегід;
36. Сірчистий ангідрид і аерозоль сірчаної кислоти;
37. Сірчистий ангідрид і нікель металевий;

38. Сірчистий ангідрид і сірководень;
39. Сірчистий ангідрид і диоксид азоту;
40. Сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, фенол і пил конверторного виробництва;
41. Сірчистий ангідрид, оксид вуглецю, диоксид азоту і фенол;
42. Сірчистий ангідрид і фенол;
43. Сірчистий ангідрид і фтористий водень;
44. Сірчаний і сірчистий ангідриди, аміак і оксиди азоту;
45. Сірководень і дініл;
46. Сильні мінеральні кислоти (сірчана, соляна і азотна);
47. Сірчанокислі мідь, кобальт, нікель і сірчистий ангідрид;
48. Фенол і ацетофенон;
49. Фурфурол, метиловий і етиловий спирти;
50. Циклогексан і бензол;
51. Етилен, пропілен, бутилен і амілен.

Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект неповної сумації біологічної дії

а) з $K_{к.д.}$ 1,6:

52. Вольфрамат натрію, парамолібдат амонію, свинцю ацетат;

б) з $K_{к.д.}$ 2,0:

53. Вольфрамат натрію, миш'яковистий ангідрид, парамолібдат амонію, свинцю ацетат;

в) з $K_{к.д.}$ 2,5:

54. Вольфрамат натрію, германію діоксид, миш'яковистий ангідрид, парамолібдат амонію, свинцю ацетат.

Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект посилення (потенціювання) біологічної дії з $K_{к.д.}$ рівним 0,8:

55. Бутилакрилат і метилакрилат;
56. Фтористий водень і фториді солі.

Перелік речовин, для яких при сумісній присутності в атмосферному повітрі встановлено ефект незалежної біологічної дії (зберігається ГДК кожної речовини):

57. Гексиловий, октиловий спирти ($K_{к.д.}$=2);
58. Сірки діоксид, цинку оксид ($K_{к.д.}$=2).

Навчальне видання

КОВРОВ Олександр Станіславович
КУЛІКОВА Дар'я Володимирівна

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Методичні рекомендації до виконання практичних робіт
для здобувачів ступеня бакалавра освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»
зі спеціальності 183 Технології захисту навколишнього середовища

Видано в авторській редакції.

Електронний ресурс.
Підписано до видання 05.09.2024. Авт. арк. 9,2.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».
49005, м. Дніпро, просп. Дмитра Яворницького, 19.