

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

На правах рукопису

Басов Микола Вікторович



*Принятим
до змісту дисертації і даною
вчений секретар*



УДК 502.3:621.74

*Холмич В.Р.
07.11.14р.*

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ
ЛИВАРНО-МЕХАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ**

21.06.01 – Екологічна безпека

Дисертація

на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

**Науковий керівник – доктор
технічних наук, професор
Мальований М.С.**

НТБ
ІФНТУНГ



d537

Львів - 2014

d 537

З М І С Т

	стор.
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	12
1.1. Загальна характеристика ливарних виробництв	12
1.2. Санітарно-гігієнічна характеристика шкідливих виділень у ливарних цехах	14
1.3. Аналіз існуючих конструкцій апаратів для сухого очищення повітря від пилу	16
1.4. Аналіз конструкцій стендів, які використовуються для випробувань апаратів очищення повітря від пилу	23
1.4.1. Схема стенду за ГОСТ 8002-74	23
1.4.2. Схеми стендів, рекомендовані стандартами інших країн	24
1.5. Технології формувальних сумішей на основі рідкого скла	25
1.6. Регенерація формувальних сумішей	31
1.7. Цілі та завдання досліджень	34
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
2.1. Загальна характеристика об'єкту, методу та методології досліджень	36
2.2. Загальна характеристика матеріалів, які використовувались у дослідженнях	41
2.2.1. Матеріали, які використовувались для дослідження формувальних сумішей	41
2.2.2. Матеріали, які використовувались для дослідження процесу пиловловлювання	42
2.3. Характеристика пилу в аспіраційному газоповітряному потоці ливарного виробництва ТзОВ ЛМЗ «ВЕСТА»	43
2.4. Методика проведення досліджень властивостей формувальних сумішей та виготовлених із них зразків	45

	стор.
2.4.1. Методика визначення залишкової міцності формувальних сумішей	45
2.4.2. Методика визначення вологості формувальних сумішей	48
2.4.3. Методика визначення газопроникності формувальних сумішей	49
2.5. Методика проведення досліджень властивостей пилоочисного обладнання	50
2.5.1. Розробка, виготовлення та вдосконалення стенду для випробувань пиловловлювачів	51
2.5.2. Методика визначення дисперсного складу пилу	53
2.5.3. Методика для досліджень пиловловлювачів на ефективність очищення	58
2.5.4. Випробування пиловловлювачів на стенді	58
2.6. Опис програмного комплексу FlowVision, який використовувався для побудови твердостінної моделі пиловловлювача із рухомим відокремлювачем	60
2.7. Висновки з розділу 2	61
3. СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ УТВОРЕННЯ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ ЛИВАРНИХ ФОРМ	62
3.1 Вибір стратегії мінімізації утворення твердих відходів формувальних сумішей	62
3.2 Дослідження механізму утворення формувальних сумішей із композицій, у склад яких входить рідке скло та шамотно-каоліновий пил	63
3.3 Дослідження кінетики структуроутворення у формувальних сумішах із на основі рідкого скла та ШКП	67
3.4 Встановлення оптимального складу композиції на основі рідкого скла та ШКП	71

3.5	Розроблення технологічної схеми отримання та регенерації формувальних сумішей на основі рідкого скла та ШКП	72
3.6	Висновки з розділу 3	74
4.	МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗАПИЛЕНОГО ПОТОКУ В ВІДЦЕНТРОВО-ІНЕРЦІЙНИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧАХ ІЗ РУХОМИМ ЖАЛЮЗІЙНИМ ВІДОКРЕМЛЮВАЧЕМ	76
4.1.	Прийняті допущення, граничні та початкові умови	78
4.2.	Моделювання руху повітряних потоків у відцентрово-інерційних пиловловлювачах	79
4.3.	Аналіз результатів моделювання руху пилоповітряного потоку	88
4.4.	Висновки з розділу 4	95
5.	РОЗРОБЛЕННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО ВІДЦЕНТРОВО-ІНЕРЦІЙНИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ	96
5.1	Фізична модель руху пилогазового потоку у відцентрово-жалюзійних пиловловлювачах	96
5.2	Розроблення нових конструкцій відцентрово-інерційних пиловловлювачів з рухомим жалюзійним відокремлювачем	99
	5.2.1. Апарат типу 1	99
	5.2.2. Апарат типу 2	103
	5.2.3. Апарат типу 3	107
5.3	Експериментальні дослідження пиловловлювачів	111
5.4.	Аспекти впровадження результатів дисертаційних досліджень	119
5.5.	Висновки з розділу 5	121
	ВИСНОВКИ	124
	ЛІТЕРАТУРА	126
	ДОДАТКИ	141

ВСТУП

Актуальність теми. Основоположні постулати концепції сталого розвитку людства ґрунтуються на розумінні тісного взаємозв'язку екологічних, економічних та соціальних проблем, що, своєю чергою, змушує до об'єднання наукових доробків провідних фахівців, зокрема, проблем ринку та економіко-екологічних досліджень. З огляду на проблеми сьогодення таке завдання є і вкрай необхідним, і надзвичайно важким. Сучасний стан розвитку суспільства характеризується значним загостренням ситуації в галузі охорони навколишнього середовища, посиленням екологічної небезпеки внаслідок антропогенної діяльності, у зв'язку із цими прогресуючими явищами значною деградацією всіх компонентів довкілля, що створює загрозу для сталого розвитку людства та ризику у продовженні існування людини взагалі. У ряді небезпечних для навколишнього середовища виробництв чільне місце займають і ливарно-механічні виробництва, які часто є потужними забрудниками навколишнього середовища в регіоні їх розміщення.

У виникненні екологічних проблем, пов'язаних із антропогенною діяльністю, значну роль відіграють підприємства, які викидають у навколишнє середовище значну кількість шкідливих речовин, створюють тверді відходи, які не утилізуються, а нагромаджуються. Тому питання розроблення ефективних заходів щодо утилізації твердих відходів та очищення повітря від пилу є одним із важливих завдань екологічної безпеки. Головну роль у вирішенні проблем екологічної безпеки стосовно атмосферного повітря відводять розробці заходів, які забезпечили б можливість вискоєфективного вловлювання дрібнодисперсного пилу за умови зменшення гідравлічного опору та розмірів установок. Що стосується твердих відходів, зокрема, твердих відходів виготовлення ливарних форм, то тут важливе значення має розроблення та впровадження таких технологій виробництва ливарних форм і застосування таких матеріалів для цих форм, які дозволили б надалі їх повторно використовувати чи регенерувати. Проблемі зменшення екологічної

небезпеки ливарно-механічних виробництв шляхом впровадження серії ефективних технічних рішень щодо захисту атмосфери та літосфери присвячена ця дисертація.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано згідно з планом науково-дослідницької роботи Національного університету “Львівська політехніка” з проблеми “Нові методи очистки повітря від пилу”. Основні положення дисертаційної роботи виконано відповідно до науково-технічної програми Міністерства освіти і науки України «Нові напрямки очистки повітря від пилу» (№держреєстрації 0107U010240).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є забезпечення екологічної безпеки ливарно-механічних виробництв шляхом впровадження екологічно безпечних формувальних сумішей легкої регенерації для зменшення кількості твердих відходів та впровадження пиловловлювачів із жалюзійним відокремлювачем, який обертається, для зменшення забруднення атмосфери дрібнодисперсним пилом.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз джерел екологічної небезпеки ливарних виробництв та перспективних шляхів мінімізації їх негативного впливу на довкілля;
- запропонувати стратегію створення екологічно безпечних та економічно виправданих формувальних сумішей, здатних до регенерації та повторного використання;
- встановити оптимальний склад формувальних сумішей легкої регенерації та раціональну технологію їх використання й регенерації;
- побудувати математичну модель руху потоків пилу в пиловловлювачі з жалюзійним відокремлювачем, який обертається, проаналізувати картину руху потоків у процесі обертання за і проти руху потоку, визначити оптимальні параметри роботи апаратів;
- створити комплекс високоефективного пиловловлюючого обладнання для очищення повітря від дрібнодисперсного пилу в ливарно-механічних виробництвах;

- провести комплексні експериментальні дослідження для визначення раціональних параметрів роботи пиловловлювачів із відокремлювачем, який обертається;

- провести апробацію пропонованих заходів щодо зменшення екологічної небезпеки ливарно-механічних виробництв у реальних умовах.

Об'єкт дослідження – процеси мінімізації негативного впливу джерел екологічної небезпеки ливарних виробництв на довкілля (процес створення ливарних форм, здатних до регенерації та процес пиловловлювання дрібнодисперсного пилю із використанням нових конструкцій апаратів для пиловловлювання).

Предмет дослідження – екологічна небезпека ливарних виробництв.

Методи досліджень включають у себе аналітичні та експериментальні дослідження з використанням сучасної контрольно-вимірювальної апаратури та провідних методик у галузях фізико-механічних процесів та їх математичного моделювання. Дослідження ґрунтувались на основних положеннях механіки суцільного середовища, математичного аналізу та моделювання аеро- та гідродинаміки. Застосовувались методи статистичної обробки експериментальних даних та планування експерименту. Зокрема, для дослідження гідродинаміки запиленних потоків у пилоочисних апаратах використовувався експериментальний стенд, обладнаний сучасною контрольно-вимірювальною апаратурою. У роботі застосовані такі методи: гідродинамічний – для визначення швидкостей і витрат потоків та втрат тиску; ваговий – для визначення ступеня очищення; дисперсний та рентгенофлуоресцентний – для визначення дисперсного та елементного складу пилю, метод роздавлювання зразків на пресі – для визначення меж міцності, рентгенофазовий – для визначення фазового складу формувальних сумішей та форм.

Достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і результатів підтверджена коректним використанням сучасних методів математичної фізики, теорії ймовірності у теоретичних дослідженнях та моделюванні динамічних процесів, значним обсягом дослідних даних, отриманих у реальних умовах роботи обладнання; застосуванням сучасних засобів вимірювань і

методів експериментальних досліджень; експериментальним підтвердженням моделей та методик розрахунків. Для обробки експериментальних результатів досліджень застосовані основні методи математичної статистики. Порівняння результатів експериментальних та теоретичних досліджень проводилось за допомогою методів розрахунку похибок відхилень показів.

Наукова новизна одержаних результатів. Працюючи над забезпеченням екологічної безпеки ливарно-механічних виробництв, дисертант отримав такі найбільш важливі наукові результати:

1. Уперше теоретично та експериментально доведено, що використання шамотно-каолінового пилу в складі формувальних сумішей дозволяє отримати ливарні форми легкої регенерації, використання яких забезпечує дотримання норм екологічної безпеки.

2. Уперше розроблено наукові засади створення математичної моделі процесу руху твердих частинок в двох взаємопротилежних та односторонніх рухомих потоках, що надає можливість визначити сепараційну здатність відцентрово-інерційних пиловловлювачів із жалюзійним відокремлювачем (який обертається) у системі забезпечення екологічної безпеки.

3. Уперше побудовано твердостінну модель пиловловлювача із рухомих відокремлювачем на основі рівнянь Нав'є-Стокса та методів кінцевих елементів, використання якої надає можливість встановити розподіл швидкостей повітряного потоку та значення статичного тиску в плоскому перерізі апарату.

4. Отримало подальший розвиток встановлення закономірностей руху пилоповітряної суміші в корпусі відцентрово-інерційного пиловловлювача, яке полягає у врахуванні обертання жалюзійного відокремлювача, що дало можливість встановити оптимальні режими пиловловлювання для забезпечення екологічної безпеки ливарно-механічних виробництв.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Запропоновано склад екологічно безпечних формувальних сумішей легкої регенерації на основі рідкого скла та шамотно-каолінового пилу і

технологічну схему для формування та регенерації цих сумішей дає можливість мінімізувати кількість твердих відходів від відпрацьованих ливарних форм.

2. Розроблені принципово нові конструкції пиловловлювачів із рухомим відокремлювачем (захищені трьома патентами України), їх використання на практиці дає можливість досягнути високого ступеня вловлювання дрібнодисперсного пилю ливарно-механічних виробництв.

3. Розроблені дослідні зразки відцентрово-інерційного пиловловлювача з рухомим жалюзійним відокремлювачем, які пройшли промислову перевірку на ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА», котра підтвердила ефективність розроблених конструкцій (до 98,9% вловлювання пилю з одночасним зменшенням енерговитрат у 1,5 рази в процесах виробництва литва під тиском).

4. Наукові й практичні результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес у лекційних курсах і практичних роботах з дисциплін «Технології та устаткування для очищення газових викидів» на кафедрі екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка» для студентів спеціальності 7.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища».

Особистий внесок здобувача. Здобувач особисто опрацював літературні джерела за темою дисертації, розробив методологію дослідження, провів лабораторні дослідження, систематизував й узагальнив експериментальний матеріал, сформулював науково обґрунтовані висновки, отримав патенти України на корисну модель. Практично повний зміст теоретичних та експериментальних досліджень, пов'язаних із пиловловлюванням та розробленням нових конструкцій пилоочисних апаратів виконано під керівництвом сьогодні покійної д.т.н., проф. В. А. Батлук. На завершальному етапі дисертаційних досліджень постановка завдань та їх обговорення проводились під керівництвом д.т.н., проф. М. С. Мальованого.

У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачем особисто створені моделі та досліджена динаміка процесу руху пилоповітряного потоку в криволінійних лекалах [118, 119, 120 - 123], проведене комп'ютерне моделювання процесів, які досліджувались [140], обґрунтовані та вибрані методи проведення лабораторних

досліджень і промислових випробувань [100, 101, 107, 110 - 112, 115, 117], розроблена технічна документація на лабораторне обладнання [102, 103, 104, 105, 107], дослідно-промислові [108, 109] та промислові зразки [114, 125, 126, 133 - 135] відцентрово-інерційних пиловловлювачів із рухомим відокремлювачем [108, 128, 129, 132, 138, 141], забезпечений розрахунок та аналіз аеродисперсних потоків [130, 131, 137, 138]. У патентах [142 - 144] вклад здобувача визначений у встановленому порядку.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на таких міжнародних та українських конференціях: Науково-методичній конференції «Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика» (м. Миколаїв; 2008 р., м. Львів, 2010 р.); IX Міжнародній конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» (Кременчук, 2008 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Прогресивна техніка та технологія» (Севастополь, 2008 р., 2009 р., 2013 р.); Міжнародній науковій конференції «Охорона праці та соціальний захист працівників» (Київ, 2008 р.); Міжнародній науково-технічній студентській конференції (Донецьк, 2008 р.); XII Міжнародній конференції з проблем видавничо-поліграфічної галузі (Київ, 2009 р.); V З'їзді радіобіологічного товариства України (Ужгород, 2009 р.), II Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (Херсон, 2010 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми енергозбереження в агропромисловій та природоохоронній сферах» (Київ, 2010 р.); Motrol. Motoryzacja I energetyka rolnictwa (м. Люблін, Польща, 2010 р., 2011 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (Херсон, 2011 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Київ, 2013 р.), Навчально-методичному семінарі «Сучасний стан навчально-методичного забезпечення підготовки екологів» (м. Херсон, 2014).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 38 друкованих наукових праць, у тому числі, 5 статей у наукових періодичних виданнях інших держав з

напряму, з якого підготовлено дисертацію, 12 статей у фахових виданнях із технічних наук, 18 доповідей на міжнародних і національних наукових конференціях та отримано 3 патенти України.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 151 сторінці машинописного тексту, ілюстровано 33 рисунками, текст містить 15 таблиць, у бібліографії наведено 145 літературних джерел, дисертація містить 9 додатків.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Загальна характеристика ливарних виробництв

Ливарне виробництво характеризується дешевизною процесів, виготовленням деталей складних форм. Суть його полягає в отриманні заготовок шляхом заливання розплавленого металу або сплаву у ливарну форму. Це найбільш простий та дешевий спосіб отримання виробів. Маса деталей коливається від декількох грамів до декількох сотень тонн. Посудину з порожниною певної форми, призначеною для заповнювання її рідким металом, називають ливарною формою. Після охолодження метал твердіє і з форми отримують виливку – деталь, або заготовку деталі.

Способи виготовлення виливків класифікують за (табл.1.1):

Таблиця 1.1 - Класифікація способів виготовлення виливків.

Стійкість форм	Спосіб виготовлення	Найбільша маса, кг	Назва матеріалу
1	2	3	4
Разові	Ручне формування:		Чавун, сталь, кольорові метали, сплави
	- у ґрунті		
	- за шаблоном,	300000	
	- в опоках	100000	
	- зі стержнями	2000	
Машинне формування (оболонкові форми):			
- піщано-смоляна	150		
- хімічно – твердіюча	40000		
- із рідкого скла	100		
	Лиття за виплавленими, розчинними та заморожуваними моделями	150	Сталь легована, титан

1	2	3	4
Багато-разові	<ul style="list-style-type: none"> - Гіпсові - Піщано-цементні - Цегляні - Шамотно-кварцові - Глиняні - Графітові та кам'яні - Металокерамічні - Металеві форми (кокіль) 	<ul style="list-style-type: none"> 100 70000 200000 100000 50000 150 30 7000 	<ul style="list-style-type: none"> Чавун, сталь, кольорові метали Чавун
	Облицьований кокіль	250	Сталь
	Під тиском	100	Кольорові метали
	Відцентрове лиття	1000	Чавун, сталь, кольорові метали
	Штампуння рідких металів	300	Кольорові метали

Розплав, тобто рідкий метал для заливання у ливарні форми, одержують плавленням чорних металів та сплавів у вагранках, полум'яних печах, електропечах, конверторах та тиглях. Чавун для виливків звичайно плавлять у печах-вагранках або шахтних печах, зовні оперезаних сталевим кожухом, а всередині викладених вогнетривкою цеглою. Для плавлення чавуну в дуплекс-процесі застосовують дугові трифазні печі за схемою вагранки – електропіч. Для плавлення міді застосовують полум'яні печі (стаціонарні та барабанні), електричні печі (трифазні та однофазні), а для плавлення алюмінієвих та магнієвих сплавів – ванни, електропечі опору. Для плавлення титанових сплавів використовують електронно-променеві вакуумні електропечі.

У серійному та масовому виробництві застосовують спеціальні види лиття, які забезпечують високу якість та точність виливків, внаслідок чого значна їх частина – готові деталі. Залежно від матеріалу, способу виготовлення та заливання металу розрізняють лиття: у металеві форми, відцентрове, під тиском, в оболонкові форми (кіркові), точне за виплавленими моделями. Широко застосовується лиття в металеві форми (кокілі), оскільки у цьому випадку досягається висока точність розмірів, знижується шорсткість, поліпшується якість поверхні деталі. Немає потреби готувати формувальну суміш, є можливість багаторазово використовувати форми і виготовлення до кількох тисяч виробів з легкоплавких сплавів, 1500 – 5000 чавунних і 400 – 700 дрібних сталевих виливків.

1.2. Санітарно-гігієнічна характеристика шкідливих виділень у ливарних цехах

Існування в технології ливарного виробництва неперервних циклів зумовлює навіть за зменшеної потужності виробництва постійне забруднення повітряного басейну. Концентрацію пилу в промислових газах ливарного виробництва наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Концентрація пилу в промислових газах ливарного виробництва.

Джерело пилоутворення	Середня концентрація пилу, 10^{-3} кг/м ³	Вміст пилу в % (мас.) в готовому продукті	Середній розмір частинок, 10^{-6} м
а) кисневі конвертори для виплавлення сталі	20–40	1–5	1–3
б) доменні печі	10–40	4–16	5–10
в) печі виплавлення свинцю та олова	3–20	3–12	1,1–1,8
г) печі виплавлення латуні	1–5	2–4	6–12
д) електропечі виплавлення алюмінію	0,7–1,6	0,5–1,5	5–15

Загалом спостерігається тенденція до зростання екологічного ризику внаслідок збільшення у виробничих процесах частки застарілих технологій та обладнання, зниження темпів відновлення та модернізації виробництва. У середньому зношеність основних виробничих фондів усіх галузей господарства України становить близько 50 %, причому темпи оновлення фондів не відповідають темпам їхнього спрацювання. Незадовільний стан і основних фондів ливарного виробництва – 70–75 % машинно-тракторного парку відпрацювали свій амортизаційний термін. Не краща ситуація з рівнем технічного стану автопарку легких та вантажних автомобілів, середній термін перебування в експлуатації яких перевищує 8–10 років (зокрема, й за рахунок зростання автопарку старих іномарок). Усе це збільшує рівень забрудненості повітря та техногенного навантаження на інші компоненти довкілля.

Здорове навколишнє середовище – необхідна умова існування людини [1 - 5]. Надмірна концентрація сільського господарства та промисловості зумовила катастрофічне забруднення повітря, води та ґрунту.

Стан здоров'я населення є одним із основних критеріїв якості навколишнього середовища [6, 7]. У структурі загальної захворюваності населення все більшої питомої ваги набувають хвороби, які є наслідком техногенного забруднення довкілля, зокрема атмосферного повітря [8]. Об'єктивні медичні дані свідчать про все зростаючий вплив екологічних чинників на фізичний потенціал нашого суспільства. Звертають на себе увагу зміни в структурі хвороб за останні десятиріччя. Спостерігається зростання випадків захворювань, які спричинені вживанням неякісної питної води та продуктів харчування, забрудненим повітрям (гепатит, легеневі, онкологічні хвороби, гіпертонічна хвороба, алергічний дерматит, гострі респіраторні захворювання з астматичним компонентом, набряк Квінке, бронхіальна астма [9]).

Спеціальні дослідження показали, що в носоглотці людини затримується 25 – 40% аерозолів, які містять частинки розміром $(3,0 - 5,0) \cdot 10^{-6}$ м. До легенів

потрапляє 20 – 25 % аерозольних часток розміром $1 \cdot 10^{-6}$ м. Самоочищення органів дихання від твердих частинок може тривати від кількох днів до кількох років.

Екологічним маркером легеневої патології є і металевий пил, який містить субмікроскопічні частинки свинцю, цинку, кадмію. Метали порушують метаболічні процеси у фагоцитах, що призводить до загибелі клітин, зниження захисної функції легень і розвитку місцевого та загального токсичного ефекту. Пилова патологія легень, перш за все пневмокніоз та хронічний пиловий бронхіт, традиційно посідають перші місця в структурі професійної захворюваності населення протягом багатьох десятиріч [10, 11, 12].

Безпека людини та стан природного навколишнього середовища – одна з найважливіших характеристик якості життя, науково-технічного та економічного розвитку держави. Розвиток науки і техніки, зумовлений потребами економіки, підвищуючи соціально-економічну безпеку суспільства, водночас призвів до появи небезпеки для здоров'я людини та навколишнього середовища [13, - 16].

Перевищення допустимих антропогенних навантажень на природне середовище, перевищення ГДК шкідливих хімічних сполук знижує рівень екологічної безпеки [17, 18].

1.3. Аналіз існуючих конструкцій апаратів для сухого очищення повітря від пилу

П'ята частина шкідливих речовин, що викидається зі стаціонарних джерел, потрапляє в атмосферне повітря. Тому однією із основних проблем вдосконалення виробничих процесів є усунення або різке зменшення пиловиділення.

На даний час особливо гостро стоїть проблема уловлення дрібнодисперсного пилу, який завдяки малій густині розсіюється на великі відстані потоками атмосферного повітря.

На підставі аналізу літературних джерел та патентних досліджень розглянемо найбільш поширені в даний час у ливарних виробництвах апарати обезпилювання сухим способом. Відповідно до ДСТУ 12.2.043–80 "Обладнання пиловловлююче.

Класифікація" пиловловлювачі діляться на дві категорії: апарати без застосування рідини та з її застосуванням.

Класифікація пиловловлювачів за ефективністю роботи наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Класифікація пиловловлювачів за ефективністю.

Клас апарату	Розміри ефективно вловлюючих частинок, мкм	Ефективність за масою пилу, для групи дисперсності пилу				
		I	II	III	IV	V
I	понад 0,3-0,5	-	-	-	99,9-80	<80
II	понад 2	-	-	99,9-92	92-45	-
III	понад 4	-	99,9-99	99-80	-	-
IV	понад 8	>99,9	99-95		-	-
V	понад 20	>99	-		-	-

*Границі ефективності відповідають границям зон класифікації груп пилу.

Пиловловлювачі, як правило, застосовують для вловлювання пилу II, III, та IV груп дисперсності. Пил V групи пиловловлювачами, як правило, ефективно не вловлюється внаслідок його високої дисперсності. Наприклад, для очищення конденсаційного аерозолу свинцю (V група дисперсності) з ефективністю $E = 99\%$ необхідно повністю вловлювати частинки, більші за $0,1 \cdot 10^{-6}$ м. Такою ефективністю вловлювання характеризуються лише повітряні фільтри I класу.

У відцентрових пиловловлювачах для осадження частинок пилу використовується відцентрова сила (циклони, жалюзійні, ротаційні, вихрові та динамічні апарати) і вони, завдяки простоті конструкції та обслуговування, невисокій вартості, порівняно невеликому опору та високій продуктивності, є найпоширенішими типами сухого пиловловлювання.

На рис. 1.1 схематично наведено основні види конструкцій циклонних пиловловлювачів, які відрізняються за способом підведення аеросуміші в апарат: із

спіральним (рис. 1.1, а), тангенціальним звичайним (рис. 1.1, б), гвинтоподібним (рис. 1.1, в) і осьовим (рис. 1.2, г, д) вводом. Циклони з осьовим (розетковим) підведенням аеросуміші працюють як з поверненням аеросуміші у верхню частину апарата, так і без нього (рис. 1.1, д). Останній тип (рис. 1.1, е) апаратів (прямоточні циклони) відрізняється низьким гідравлічним опором і меншою у порівнянні з циклонами інших типів ефективністю пиловловлювання, а також необхідністю відсосу частини аеросуміші через бункер, що сприяє його абразивному зношуванню. Найдоцільнішим із погляду аеродинаміки є підведення аеросуміші по спіралі, однак на практиці всі способи підведення можуть застосовуватися з однаковою ефективністю [19, 20].

Рух аеросуміші в циклоні має досить складний характер і, незважаючи на велику кількість теоретичних робіт, вивчений ще недостатньо. Циклонні пиловловлювачі мають такі переваги: відсутність рухомих частин в апараті; простота виготовлення; майже постійний гідравлічний опір; можливе вловлювання абразивних матеріалів після захисту внутрішніх поверхонь спеціальними покриттями; успішно працюють за високих тисків [21, 22]. Поряд із цим слід мати на увазі, що гідравлічний опір високоефективних циклонів досягає 1250 – 1500 Па, а частинки розміром меншими за $10 \cdot 10^{-6}$ м вловлюються недостатньо.

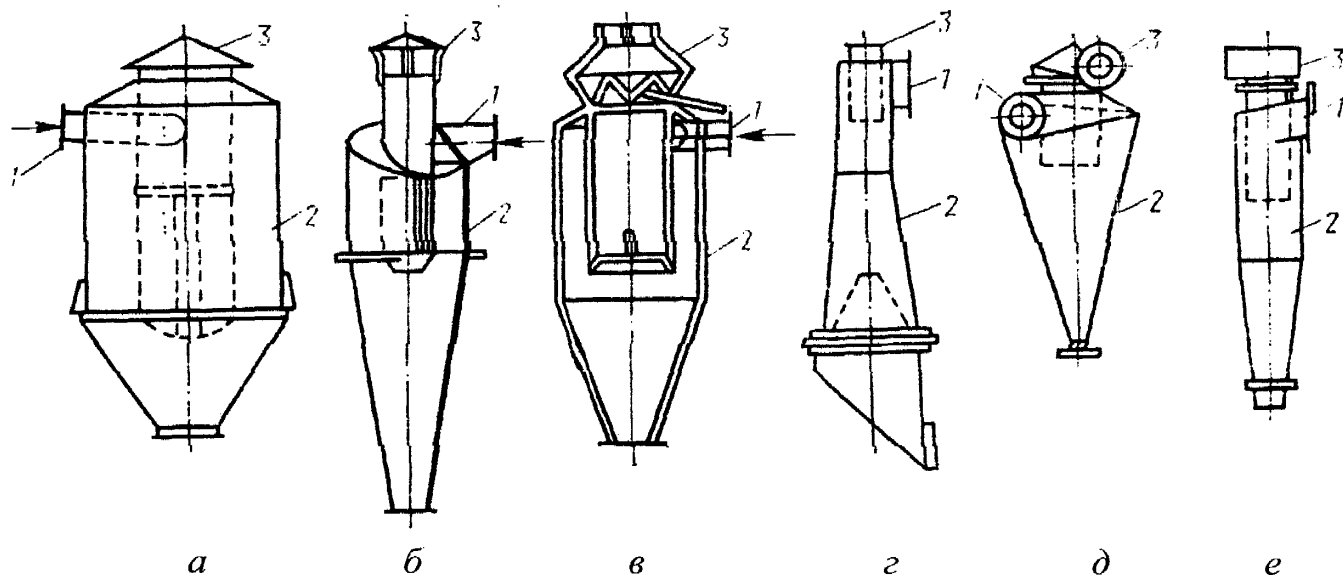


Рисунок 1.1 - Відцентрові пиловловлювачі:

а – „Гіпродрева“; б – „Гіпродревпрома“; в – типу „К“; г – „ВНДЮПа“; д – „СЮПа“; е – „НДЮгазу“; 1 – вхідний патрубков; 2 – корпус; 3 – вихідний патрубков.

Найбільше поширення в системах газоочищення та аспірації на металургійних підприємствах одержали циклони НДЮгазу й СЮП. Циклони НДЮгазу підрозділяються на підгрупи: циліндричні й конічні (рис. 1.2).

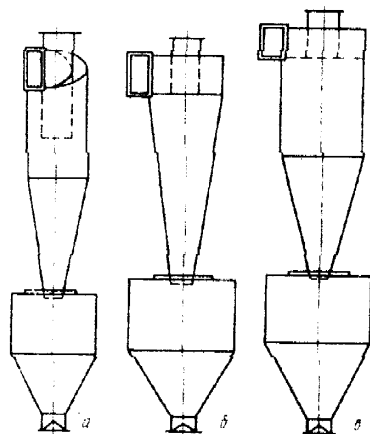


Рисунок 1.2 - Конструкції циклонів: а) ЦН, б) СДК - ЦН-33, в) СЦН-40

Циліндричні (рис. 1.2, а) високопродуктивні циклони залежно від кута нахилу гвинтової кришки корпусу до горизонталі бувають чотирьох типів: ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15В, ЦН-24 (ЦН – циклон НДЮгазу, цифра – кут нахилу в градусах, В – вкорочений). Чим менший кут нахилу кришки, тим вищий ступінь очищення та гідравлічний опір циклона, тому циклони ЦН-24, зазвичай, застосовуються для попереднього очищення або уловлення грубих частинок, циклони ЦН-11 придатні для ефективного уловлення більш дрібних частинок, але за підвищеного в порівнянні з ЦН-24 опору.

Таблиця 1.4 - Порівняльні характеристики циклонів.

	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15В	ЦН-24
1	2	3	4	5
d_{50} , мкм	3,65	4,50	6,00	8,50
ξ	245	155	65	75

Більш конкретну оцінку для порівняння циклонів ЦН можна одержати шляхом розгляду їх розрахункових характеристик [23 - 26], до яких відносяться експериментальні величини: d_{50} – розмір частинок, що вловлюються в циклоні даного типу з ефективністю 50%; ξ – коефіцієнт гідравлічного опору циклону без додаткових пристроїв (табл. 1.4).

Конічні, або високоефективні циклони, поділяються на: СК-ЦН-34 і СК-ЦН-22, де С – наявність спірального вхідного патрубку («равлика»),

Д – довгоконічні, К – конічні, цифра – відношення діаметру вихлопної труби до діаметру циліндричної частини корпусу. Порівняння їх характеристик показує, що найбільш ефективним є циклон СК–ЦН–22, але втрати тиску в ньому надзвичайно великі. Так, у випадку вловлювання дрібнодисперсного пилу шихти ступінь очищення в циклоні СК–ЦН–22 діаметром 0,2 м становить 97,9 – 99,7%, однак втрати тиску досягають 8,1 – 8,9 кПа. Недоліком такого варіанту є деяке збільшення габаритів та металоемності циклона.

Таблиця 1.5 - Порівняльні характеристики конічних циклонів НДЦОгазу.

	СДК–ЦН–33	СК–ЦН–34	СК–ЦН–22
$d_{50}, 10^{-6}\text{м}$	2,31	1,95	1,13
ξ	520	1050	7ЛОП

Циклон СДК–ЦН–33 діаметром 2 м у випадку вловлювання пилу шихти ($d_{ш} = 120 \cdot 10^{-6}$ м) має ступінь очищення 92,5 – 93,8 %, за опору 1,8 кПа. Останнім часом у промисловості почали застосовувати нові високоефективні циклони, що відрізняються від конічних наявністю циліндричної частини корпусу. Одна із таких конструкцій – циклон СЦН-40 (рис. 1.2, в) у випадку вловлювання пилу щільністю 27000 кг/м³ і $d_m \sim 20 \cdot 10^{-6}$ м з газів має ступінь очищення 93% і гідравлічний опір 1,1 – 1,9 кПа. За даними НДЦОгазу, у цього циклону $d_{50} = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м, $\xi = 1150$.

Циклони типу ЦН піддаються абразивному зношуванню, тому у випадку вловлювання, наприклад, пилу шихти, їх необхідно футерувати. Конічні циклони більш стійкі до абразивного зношування, оскільки швидкості пилогазового потоку в 1,5 – 2,0 рази менші, ніж у ЦН. З урахуванням того, що величина абразивного зношування залежить від швидкості частинок, абразивне зношування конічних циклонів у 3,5 – 8,0 рази менше, ніж у ЦН.

Особливістю застосування конічних циклонів є складність їх компонування в групи, що пов'язано з підвищеним гідравлічним опором цих апаратів і зумовленою цим неможливістю рівномірного розподілу пилогазового потоку елементами групи

[27, 28]. Виходячи із цього, навіть за великої продуктивності за повітрям ці циклони застосовують в одиночному виконанні.

Останнім часом стереотипний підхід до залежності ступеня очищення від діаметру циклону змінився. Відомо, що чим більший діаметр циліндричної частини циклону, тим більший шлях повинна пройти частинка в процесі її виділення з газу, тим менша величина відцентрової сили, яка відкидає частинку пилу до стінок циклона, і, отже, меншою буде ступінь очищення. Однак недоліки групового виконання, які пов'язані з нерівномірним розподілом газу елементами, наявністю перетікань газу між елементами через загальний бункер, здатні значно зменшити ступінь очищення.

З урахуванням підвищеної металоємності, трудомісткості виготовлення та більшої площі, яку займають групові циклони, за практично однакового ступеня очищення перевага повинна бути віддана одиночним циклонам великого діаметру, проте це пов'язане з певними труднощами забезпечення міцності корпусу за дії значних перепадів тиску.

Для вловлювання пилу дільниць монтажу ливарних форм успішно використовуються одиночні циклони типу ЦП-1 і ЦП-2, ступінь очищення в яких досягає 85 % за початкової запиленості $\sim 200 \text{ г/м}^3$. Таким чином, принциповий підхід до застосування одиночних циклонів великого діаметру отримує все більше поширення. Батарейні циклони, які в основному застосовуються на заводах Донбасу, малоефективні, а ступінь очищення в них не перевищує 35 – 55 %. Ступінь очищення аспіраційного повітря від пилу шихти в апараті БПР-75 становить 98 %.

Перспективним є застосування для пилоочищення апаратів, де поєднується уловлення пилу під впливом відцентрових сил та інерційних сил. Такий ефект досягається шляхом встановлення в циклонах жалюзійних відокремлювачів. Значною мірою розвитку цього напрямку присвячені роботи В.А. Батлук та її учнів [32-34, 80, 85-86, 92-93, 103-145]. У таблиці приведено інформацію останніх років щодо розвитку конструкцій апаратів та застосування їх для очищення пилогазових середовищ від пилу різної природи у працях учнів В.А. Батлук.

Таблиця 1.6 – Розвиток теорії та практики жалюзійних пилоочисних апаратів
ученими школи В.А.Батлук

№ п. п.	ГПП дослідника, назва дисертаційної роботи	Досліджуваний пил	Особливості пропонованих конструкцій	Захищені патенти
1	2	3	4	5
1.	Шелюх Ю.Є. "Зниження антропогенного навантаження на довкілля від пилових викидів деревообробної промисловості"	Деревний пил деревообробної промисловості	Встановлення жалюзійного відокремлювача нижче патрубку подачі вторинного повітряного потоку або в окремому корпусі	<p>1. Деклараційний патент 54119А Україна В01Д45/00. Вихровий пиловловлювач. /Батлук В.А., Шелюх Ю.Є., Батлук В.К. Опубл. від 17.02.03, Бюл. №2.</p> <p>2. Деклараційний патент 53864А Україна В01Д45/00. Вихровий пиловловлювач. /Батлук В.А., Шелюх Ю.Є. Батлук В.К. .Опубл. 17.02.03, Бюл. №2.</p> <p>3. Деклараційний патент 62071А Україна В01Д45/00. Високоєфективний пиловловлювач. /Батлук В.А., Шелюх Ю.Є. Опубл. 15.02.2003, Бюл №12.</p> <p>4. Деклараційний патент 55787 Україна В01Д45/00. Прямотечійний пиловловлювач. /Батлук В.А., Шелюх Ю.Є. Опубл. 15.04.03, Бюл. №4.</p> <p>5. Патент 62071А Україна В01Д45/00. Високоєфективний пиловловлювач. /Батлук В.А., Шелюх Ю.Є. Опубл. 17.01.2005, Бюл №1.</p>
2.	Азарський К.І. "Локалізація екологічної загрози забруднення атмосфери від пилу спалювання вугілля на ТЕС"	Зола спалювання вугілля	Циліндричний, конічний та циліндрично - конічний тип жалюзійного відокремлювача	<p>1. Пат. 30603 А Україна. Пиловловлювач / В.А.Батлук, К.І.Азарський, Г.Р.Стеців (Україна); Заявл. 29.12.97; Опубл. 07.06.99; Бюл. № 3.</p> <p>2. Пат. 30164 А Україна. Пиловловлювач / В.А.Батлук, К.І.Азарський, Г.Р.Стеців, Занько Р.Б. (Україна); Заявл. 8.01.98; Опубл. 29.12.1999; Бюл. № 8.</p> <p>3. Пат. 35690 А Україна. Золовловлювач / В.А.Батлук, К.І.Азарський, Г.Р.Стеців, В.В.Батлук (Україна); Заявл. 05.01.98; Опубл. 16.04.2001; Бюл. № 3. -</p> <p>4. Пат. 32673 А Україна. Пиловловлювач / В.А.Батлук, К.І.Азарський, Г.Р.Стеців (Україна); Заявл. 29.12.97; Опубл. 07.06.1999; Бюл. № 3. - Пат. 30170 А Україна. Пиловловлювач / В.А.Батлук, Г.Р.Стеців, К.І.Азарський, Р.Б.Занько (Україна); Заявл. 8.01.98; Опубл. 15.11.2000; Бюл. № 6-П.</p> <p>5. Патент на винахід, В 01D 45/00 № 52792 Україна. Пиловловлювач / В.А.Батлук, К.І.Азарський, Мельников О.В. (Україна); Заявл 01.06.2000; Опубл. 15.01.2003; Бюл. № 1.</p> <p>6. Патент на винахід, В 01D 45/00 № 57117 Україна. Пиловловлювач / В.А.Батлук, К.І.Азарський, Мельников О.В. (Україна); Заявл 15.06.2000; Опубл. 16.06.2003; Бюл. № 6.</p>

1	2	3	4	5
3.	Проскуріна І.В. "Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище від пилових викидів агломераційного виробництва металургійної промисловості"	Вугільний пил	Змочуваний водою жалюзійний відокремлювач із спеціальною формою жалюзі	1. Патент на корисну модель № 21264. Пиловловлювач зі змоченими жалюзі /Батлук В. А., Проскуріна І.В., від 21.07. 2006. В01D45/00, опубл. 15.03.2007, бюл.№ 3. 2. Патент на корисну модель № 22086. Мокрий пиловловлювач /Батлук В. А, Проскуріна І.В., від 30.11. 2006. В01D45/00, опубл. 10.04.2007, бюл. № 4. 3. Патент на корисну модель № 29965. Мокрий пиловловлювач із спеціальною формою жалюзі / Батлук В.А., Проскуріна І.В., Мельников О.В., від 08.05. 2007. В01D45/00, опубл. 11.02.2008, бюл. № 3.
4.	Макарчук В.Г. "Удосконалення газоочисного устаткування для зменшення забруднення довкілля неорганічним пилом"	Кварцево-металічний пил піско-струйної установки	Конічне закрите дно жалюзійного відокремлювача, жалюзі із зміною кута атаки по усій висоті жалюзійного відокремлювача	1. Патент № 50404 Україна. Секційний пиловловлювач / В.Г. Макарчук – 200912036, В01D45/00, заявл.23.11.2009, опубл. 10.06..2010, Бюл. № 11.
5.	Басов М.В. "Забезпечення екологічної безпеки ливарно - механічних виробництв"	Дрібнодисперсний пил сконденсованих оксидів металів	жалюзійний відокремлювач, який обертається	1. Пат. 34669 Україна. Пиловловлювач із рухомим відокремлювачем / Батлук В.А., Басов М.В. – заявка а 2007 14019 В01D 45/00 від 13.12.07; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 23. 2. Пат. 92023 Україна. Пиловловлювач / В.А. Батлук, В.В. Батлук, М.В. Басов – заявка а 2008 02013 В01D 45/00 від 18.02.08; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 18. 3. Пат. 56737 Україна. Пиловловлювач із відокремлювачем, що обертається /Батлук В.А., Басов М.В. – заявка и 2010 08335 В01D45/12 від 05.07.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. №2.

1.4. Аналіз конструкцій стендів, які використовуються для випробувань апаратів очищення повітря від пилу

1.4.1. Схема стенду за ГОСТ 8002-74. Стенд включає такі вузли, агрегати та прилади [29]: пилову камеру, трубопровід, вентилялі для грубого та тонкого регулювання витрат повітря, вакуум-насос, або вентилятор для забезпечення необхідних витрат повітря через повітреочишувач, що випробовується, сопло, або діафрагму з водяними пьезометрами для виміру витрат повітря пиловловлювача, що випробовується, трубку для відбору проб повітря за пиловловлювачем, що

випробовується, фільтруючий патрон з абсолютним фільтром для уловлювання пилу з проб повітря, водяний п'єзометр для заміру опору пиловловлювача, дозатор пилу.

Для випробування мультициклонних пиловловлювачів із ежекційним відсмоктуванням стенд обладнується додатковим трубопроводом для відсмоктування повітря, мірної діафрагмою з водяним п'єзометром, регулювальним вентиляем, фільтруючим патроном з абсолютним фільтром для уловлювання пилу на лінії відсмоктування повітря.

Конструкція та габарити агрегатів і вузлів ГОСТом 8002-74 не встановлюються. Допускається запиленість повітря за пиловловлювачем визначати шляхом фільтрації усього потоку повітря через фільтр, встановлений за пиловловлювачем.

1.4.2. Схеми стендів, рекомендовані стандартами інших країн. Схема стенду, рекомендована британським стандартом [30] принципово не відрізняється від вище описаної конструкції. Тільки в пиловій камері у її дна встановлені патрубки для здування осілого пилу з дна стисненим повітрям.

Вказується також, що пристосування для регулювання витрати повітря має бути не складним і забезпечувати точність виміру витрати $\pm 1\%$.

Стандарт [30] передбачає також випробування пиловловлювача проводити без пилової камери з подачею пилу прямо у впускний трубопровід пиловловлювача. Проте розміри трубопроводу не наводяться.

Американський стандарт [31] тільки перераховує агрегати і вузли, що входять у схему стенду. Однак у схемі передбачений механізм для струшування пиловловлювача, що випробовується.

Особливістю стенду, рекомендованого французьким автомобільним інститутом [32] є велика пилова камера, в якій підтримується постійна запиленість повітря. Камера оснащена перфорованою перегородкою для вирівнювання потоку повітря, вентилятором, що перешкоджає осадження пилу внизу камери і вібратором, закріпленим до стелі камери, що перешкоджає налипанню пилу до стелі камери та її стінок. В іншому відмінностей немає.

Особливістю стенду, рекомендованого пражьким науково-дослідним автомобільним інститутом, є розміщення витратомірів до пилової камери [33].

Витратоміри (діафрагми) розміщені в трубках, які під'єднанні до загального ресиверу. Таких труб п'ять. Оператор відкриває трубу з діафрагмою, розрахованою на необхідну витрату повітря, решта труб закриті.

Особливістю стенду, рекомендованого стандартом Румунії, є наявність забірних трубок для відбору проб запиленого повітря після пиловловлювача [34]. У іншому відмінностей немає.

Принципова схема стенду для випробування пиловловлювача, передбачена японським промисловим стандартом JIS D1612, не відрізняється від раніше розглянутих. Ефективність очищення пиловловлювача визначається гравіметричним методом з фільтрацією повного потоку повітря абсолютним фільтром.

Особливістю стенду, рекомендованого польським стандартом, є замір витрати запиленого повітря до пиловловлювача і відбір проб повітря після пиловловлювача пиловідбірними трубками [12].

У розглянутих схемах є багато спільного: вакуум-насоси, вентилятори, трубопроводи з вимірювальними діафрагмами, дозатори пилу, пилові камери та ін.

1.5. Технології формувальних сумішей на основі рідкого скла

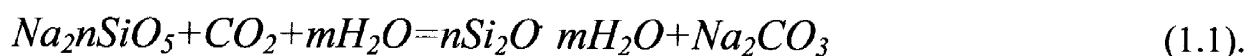
У зв'язку з санітарно-гігієнічними та екологічними проблемами, викликаними розширеним застосуванням у формоутворенні синтетичних смол та органічного в'язучого, знову збільшується використання як в'язучого рідкого скла, що дозволяє витримувати найжорсткіші санітарно-гігієнічні норми.

У порівнянні з сумішами на рідкому склі, піщано-смоляні суміші мають ряд переваг: більш легке вибивання стержневих відливок, необхідна міцність у затверділому стані за умови менших витрат в'язучого [35]. Однак широке впровадження піщано-смоляних сумішей стримується низьким ступенем їх регенерації, токсичністю, а також високою собівартістю та дефіцитністю [35]. Застосування ж сумішей на основі рідкого скла підвищує продуктивність праці, покращує якість литва та екологічну обстановку в цехах. Однак подальшому розповсюдженню означених сумішей перешкоджає погана здатність до вибивання стрижнів із відливок [36].

Для рішення цих проблем необхідно розкрити сутність фізико-хімічних взаємодій, що протікають в процесі нагріву та охолодження зразків, виготовлених із сумішей із рідким склом.

В'яжучою основою таких сумішей є рідке скло-водний розчин силікату натрію (натрієве скло) або силікату калію (калієве скло). У ливарному виробництві в основному використовується натрієве рідке скло, як більш дешеве та менш дефіцитне. Рідке скло – неорганічний полімер, властивості якого визначаються складністю та розгалуженістю полімерних кремнекисневих аніонів, рухливістю і гідратацією катіонів [37 - 41]. Це зв'язано з тим, що силікати натрію є солями дуже слабкої кремнієвої кислоти, остання повинна витіснятися з цих солей всіма розчинними у воді органічними та неорганічними кислотами. У процесі реакцій утворюється гель кремнієвої кислоти, який має в'язучі властивості. В роботі А. М. Лясса [42] встановлено, що твердіння сумішей з рідким склом протікає по-різному, залежно від методу їхнього утворення.

У процесі продування CO₂ твердіння іде за рахунок розкладу силікату натрію з утворенням гелю кремнієвої кислоти та бікарбонату натрію:



Гель, що утворився, має тривимірну структуру з сферичних частинок полі-кремнієвої кислоти, зчеплених силоксановими містками Si-O-Si, у результаті чого утворюється тривкий скелет формувальної суміші. Вода, що міститься в суміші (4-5%), знаходиться в структурі гелю. Гель кремнієвої кислоти може утримувати до 330 молекул води на одну молекулу SiO₂ [43].

У процесі теплового сушіння, що супроводжується випаровуванням води, відбувається полімеризація силікатів натрію. Утворюється більш щільна, а внаслідок цього і більш тривка структура скловидної плівки силікатів натрію [42], ніж у процесі продування CO₂. Оптимальна температура сушіння 423 - 473 К. Тривалість теплового сушіння складає 0,5 – 1 год. У частково обезводнених

розчинах ортосилікати, що утворилися, поліконденсуються, структуруючи рідку фазу та переводячи систему в твердий стан [44, 45]:

За даними А. М. Лясса і І. В. Валісовського [46], здатність зразків до вибивання в сумішах на основі рідкого скла залежать від температури, що відображається кривою з двома максимумами та двома мінімумами. Перший мінімум пояснюється термічною дегідратацією рідкого скла в інтервалі температур 473-873 К, що призводить до спучування і утворення в плівці в'язучого каверн та порожнин округлої форми. Міцність суміші падає з 3 - 6 МПа за 473 К до 0,1 - 0,2 МПа за 673 - 873К [47]. У процесі нагрівання суміші до температур 1073 - 1173К відбувається розм'ягчення рідкого скла і силікат натрію переходить у рідкий стан. Розплав силікату натрію "заліковує" порожнини, що залишилися, тріщини та пошкодження на плівці. Водночас послаблюються сили зчеплення між глобулами, що формуються в плівковій структурі скловидного в'язучого. В інтервалі температур 1173 - 1373К глобули розплавляються і утворюється аморфна структура, що фіксується в процесі швидкого охолодження. За умови повільного охолодження в плівці повторно формуються глобулярні структури, причому їхні розміри та форма зв'язані з первинною структурою, газові дефекти та тріщини відсутні. Вище температури склування (> 973 К) глобули можуть розм'ягчуватися, і тоді тіло набуває високоеластичних властивостей, і якщо полімер складається з глобул однакового розміру, то здійснюється щільна, правильна упаковка їх і міцність суміші досягає 6 - 8 МПа [47]. Як наслідок, скорочення енергозатрат на руйнування суміші не спостерігається. Уява про підвищення температури плавлення силікату натрію за умови включення в склад суміші оксидів двох-трьохвалентних металів найбільш переконлива. Однак не всі оксиди здатні зменшувати міцність суміші на основі рідкого скла в процесі нагріву. Так, за умови введення в суміш магнезитового порошку залишкова міцність ($\sigma_{зал}$) суміші після нагріву до 1073-1273 К підвищується в 1,5 – 1,8 разів, оскільки оксид магнію вступає в хімічну взаємодію з кремнеземом силікатного розплаву, утворюючи високотемпературний форстерит, а розплав силікату натрію, що залишився, має низький модуль і підвищену здатність

до змочування поверхні кварцових зерен наповнювача [48]. У роботах [49, 50] викладаються результати дослідження додатків фосфорних солей натрію, що відрізняються підвищеним вмістом P_2O_5 , високою розчинністю у воді, які підвищують тугоплавкість силікатного скла. Ці процеси і покращують здатність сумішей з додатком триполіфосфату до вибивання [49]. Звертають на себе увагу дані авторів, які свідчать про нестабільність впливу триполіфосфатів на здатність до вибивання. Як додаток, що спричиняє пониження залишкової міцності формувальних сумішей, пропонувався також піровуглець [51] та ферохромовий шлак [52]. У числі переваг такої формувальної суміші автори [52] називають її нетоксичність, що суперечить думці інших авторів, які відносять ферохромовий шлак до матеріалів токсичних [53].

В останні роки для поліпшення сумішей на основі рідкого скла до вибивання застосовується фосфатна сполука антипірен: $a[(NH_4)_2O \cdot x Al_2O_3 \cdot cP_2O_5] \cdot nH_2O$. Антипірен одержують у процесі взаємодії кислих фосфатів з сечовиною або аміаком і застосовують як вогнетривкий додаток у виробництві пластиків, теплоізоляційних матеріалів та ін. [54].

Із робіт [55 - 57] випливає, що для поліпшення здатності до вибивання в суміші необхідно додавати комбіновані додатки, що складаються з речовин, які зміцнюють другий максимум роботи вибивання в зону високих температур, і речовин органічного походження, які не впливають на міцність, але збільшують загальну податливість суміші. Як додатки, що покращують здатність до вибивання сумішей на основі рідкого скла, пропонується велика група речовин, які містять алюмосилікати (каолін, боксит, різноманітні сорти глини, відходи електрофільтрів виробництва шамотних порошоків, гідроалюмосилікатні додатки і ін.) [58]. Відомо [59], що в сумішах з додатками каолінових глини залишкова міцність ($\sigma_{зал}$) залежить від дисперсності, хімічного та мінералогічного складу додатку.

Алюмосилікати (різноманітні види глини) як додатки, що знижують залишкову міцність, вивчали багато дослідників, однак вони не враховували склад глини, що

використаються (зокрема, процентний вміст в глинах каолініту) і протягом тривалого часу одержували суперечливі результати [58].

Встановлено, що значний вплив на зниження міцності формових сумішей після прогріву їх вище 873 К виявляють каоліни сухого збагачування Глухівського і Турбівського родовищ. Дослідження Шадріна Н. І., Жуковського С. С. [48] показали, що істотний вплив на зменшення залишкової міцності прокалених сумішей виявляють глини, що містять 82... 87% каолініту. Як глиномісний матеріал, що застосовується для регулювання характеристик міцності сумішей на основі рідкого скла, які використовуються в ливарному виробництві, використовують речовини, що є відходами виробництв переробки глини. Як алюміній-оксидвмісні добавки такого типу використовують такі матеріали: червоний шлам – відхід виробництва глинозему (Al_2O_3 - 10... 12%; Fe_2O_3 - 61.2... 74.0%); пил електрофільтрів – продукт пиловинесення у виробництві шамоту (температура обпалу кускового шамоту – 1723-2023 К) [60]. Побічний продукт пиловинесення, що утворюється в процесі обпалу вогнетривких глин на шамот в печах, що обертаються - це суміш пилевидних часточок глини різного ступеня обпалу (Al_2O_3 - 35.0... 45%; SiO_2 - 40... 52%) [58]. За умови введення в суміш оксидів речовин, що містять Al, реєструється утворення тугоплавких сполук типу $a\text{Na}_2\text{O} \times b\text{Al}_2\text{O}_3 \times c\text{SiO}_2$, які підвищують температуру плавлення рідкого скла і знижують залишкову міцність суміші $\sigma_{\text{при}}$ стандартних зразків, прокалених у температурному інтервалі 1073-1173 К і охолоджених на повітрі до 297 К [61].

Основними складовими компонентами як у глинах, так і в відходах вогнетривкої промисловості є каолініт. Він є водним алюмосилікатом із хімічною формулою $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Мінерал каолініт володіє малою здатністю до набухання, оскільки вода не може проникати в простір між шарами. Адсорбція води і зв'язування катіонів проявляються у каолінітів лише на зовнішніх поверхнях пакетів, головним чином на краях, де є розірвані молекулярні зв'язки [62, 63]. За умови нагріву понад 773 К відбувається дегідратація каолініту. Основна частина кристалізаційної води втрачається в інтервалі 723 - 873 К. Питома поверхня спо-

чатку різко збільшується, а після цього зменшується. Втрата глинястими мінералами кристалізаційної води супроводжується їх аморфізацією та підвищенням активності [64]. У сировинній суміші температура перетворення глинястих мінералів дещо знижується.

Глина на початковій стадії нагріву не виявляє істотного впливу на величину розширення піщано-глинястої суміші аж до температур, що відповідають початку розмягчення глинистого в'язучого. Розширення суміші повністю визначається характером термічного розширення кварцу [65]. Глина виявляє помітний вплив на зміну питомого об'єму. Це зв'язано із фазовими перетвореннями каолініту в процесі нагріву і напруженнями, що виникають внаслідок цього, які призводять до руйнування плівки гелю кремнієвої кислоти [66].

Утворення рідкої фази в системі відбувається в умовах більш високих температур (після 1473 К) і суміш в процесі її прогріву до 1473 К не спікається, що зумовлює її низьку залишкову міцність. Дослідження [67] показали, що найбільш імовірним є утворення в системі $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ лужних алюмосилікатів-аналогів природних мінералів типу цеолітів та фельдшпатоїдів, які є неорганічними полімерами, в основному з тривимірною каркасною структурою. Під впливом високих температур для них характерні фазові перетворення до безводних новоутворень (типу нефелін), які переміщують температуру спікання в системі в'язуче-пісок до більш високих температур. У роботі [48] розглянутий механізм втрати залишкової міцності форм та стрижнів, що містять каолінові глини з вмістом каолініту (75 - 85%).

Зниження залишкової міцності залежить від спроможності суміші розширюватися в процесі нагріву до високих температур. Для сумішей з підвищеним вмістом каолініту чим більше в глині каолініту, тим більший показник збільшення об'єму. Отже, суміші, що містять каолініт, мають підвищене об'ємне розширення і меншу залишкову міцність, а значить, легше вибиваються з відливків. Одним з недоліків способу втрати залишкової міцності сумішей на основі рідкого скла з допомогою додатку глини є зниження "робочої" міцності суміші після продування вуглекислотою. Таке зниження залишкової міцності зумовлене тим, що

каолініт має велику питому вологоємність і на його насичення витрачається частина рідкого скла [68]. Аналіз даних досліджень впливу на технологічні властивості сумішей з каоліновими глинами спеціального додатку – триполіфосфату натрію, дозволив зробити такі висновки. Введення цього додатку в суміш на основі рідкого скла, твердіння якої здійснюється з допомогою продування CO_2 , забезпечує підвищення її загальної міцності, зниження здатності до осипання і поліпшення здатності до вибивання [68]. Однак слід відзначити, що спосіб з використанням у складі формувальної суміші каолінових глин з додатком триполіфосфату натрію дозволяє досягнути двох ефектів:

1. Втрати залишкової міцності суміші на основі рідкого скла.
2. Поліпшення в'язучих властивостей рідкого скла.

Відомо [49, 50], що впливом тільки триполіфосфату можна знизити в суміші вміст рідкого скла і підвищити здатність до вибивання форм і стрижнів.

1.6. Регенерація формувальних сумішей

Через дефіцит формувальних пісків та необхідності різкого зниження нераціональних транспортних видатків постала необхідність створення системи регенерації сумішей на основі рідкого скла.

Для смоляних сумішей найчастіше використовують пневматичну або термічну регенерацію. Відпрацьовані суміші заздалегідь проходять через систему дробіння з послідовно встановленими щоківими, секторними та валковими дробарками, систему вібросит та електромагнітних сепараторів. Установа для пневморегенерації складається з батареї послідовно з'єднаних однотипних камер. Відбувається подрібнення окремих конгломератів та відділення плівок в'язучого від зерен наповнювача. Пилевидні частинки відсосуються і спрямовуються в осаджувальне обладнання. Пісок після обробки надходить у наступну камеру для подальшої обробки. Після такої обробки регенерат суміші на основі рідкого скла частково зберігає оболонку в'язучого на зернах піску. Крім того, самі зерна подрібнюються, а водневий показник суміші зростає до 9 - 10. Використання цього регенерату можливе для виготовлення форм відливків масою до 1,5 – 2,0 т. Для

отримання більших відливків спостерігається пригар, та інші поверхневі дефекти [69].

Термічна регенерація застосовується тільки для смоляних сумішей. Основним елементом цієї системи є установка для прокалювання суміші за 1073 К і наступного охолодження регенерату. Для цієї мети використовують барабанні печі або установки киплячого шару.

Регенерат використовують для повторного приготування сумішей для форм та стрижнів масою відливків до 1 т. Газотворність сумішей, приготованих на цьому регенераті, зростає в середньому на 20%, здатність до осипання на 5-10% за умови одночасного скорочення витрати в'язучого на 10-15%. Збільшення міцності зумовлене більш концентрованим зерновим складом.

Мокра регенерація сумішей забезпечує більш якісне відновлення зерен піску. Така система працює в комплексі з гідроочисними камерами. Піски після мокрої регенерації відрізняються більш концентрованим зерновим складом і можуть бути використані для приготування форм і стрижнів для відливків масою до 5 т [70].

Відпрацьовані суміші можна відновлювати також сухим засобом. В Англії та Японії для сухої регенерації суміші на основі рідкого скла застосовують установки, принцип роботи яких оснований на подрібненні шматків відпрацьованих сумішей в молоткових дробарках з наступною повітряною класифікацією. Такий регенерат можна вводити в суміш в кількості до 65%. Установка для сухої регенерації, створена ВНДІбудполімером за технічним завданням ЦНДІТмаш [71, 72], працює за принципом віброподрібнення шматків у вібромлині (без мелючих тіл) з наступною повітряною класифікацією.

Відомий пневматичний спосіб сухої регенерації [73], який полягає в тому, що зважені зерна відпрацьованої суміші, яка підлягає регенерації, розганяють до швидкості 30-40 м/сек у розгінній трубці, над верхнім кінцем якої розміщений зносостійкий металевий екран, що сприймає енергію потоку зерен. У результаті удару та тертя зерен суміші, яка підлягає регенерації, до екрану, відбувається їхнє очищення від домішок. Середнє зниження вмісту глинястих біля 0,13% на 1 цикл за умови залишкового вмісту глинястих у регенераті 3,5%. Цей спосіб має ряд

недоліків: низьку циклову ступінь очищення від домішок, високу енергоємність процесу (за 60 квт/т регенерату), підвищений знос екранів та значні витрати на забезпечення високих швидкостей повітря.

Відомий також механічний спосіб сухої регенерації [74], у якому суміш розганяють обертовим барабаном і порціями спрямовують на чашу, наповнену сумішшю, яка підлягає регенерації. У цьому способі вся накопичена енергія порції суміші передається масі суміші екрану, що супроводжується підвищеним зносом лопаток імPELLера. Для способу характерний низький цикловий ступінь очищення суміші від домішок, оскільки після удару порції суміші до екрану суміш практично повністю виходить з активної зони обробки, що вимагає до 9-10 раз повторення циклу, знижує продуктивність і збільшує енергоємність способу.

Відомий спосіб сухої регенерації [75], у якому рівномірний потік відпрацьованої суміші орієнтують у горизонтальній площині і спрямовують на кільцевий металевий екран, покритий захисною зносостійкою оболонкою з гуми. Частинки, що вилітають із ротора, відбиваючись від кільця екрану, співударяються між собою, завдяки чому проходять очищення. У цьому способі нераціонально використовується накопичена в роторі енергія (в процесі удару суміші до екрану), що викликає підвищений знос екрану і знижує надійність у роботі.

Близьким до названого вище є спосіб, оснований на тому, що відпрацьовану формову суміш розганяють за допомогою відцентрових сил у роторі, що обертається, орієнтують у горизонтальній площині й спрямовують на кільцевий відкіс (відбивач) із суміші, яка регенерується. У результаті співударів зерен потоку з відкосом суміші вони переміщуються вгору по ньому (кут відкосу стає більше кута природного відкосу), після цього відбиваючись від віткосу і вертаючись, зустрічаються як з наступними відбитими частинками, так і з частинками потоку ротора. Цей спосіб не є особливо ефективним, тому що в процесі співударянь зерен формової суміші між собою значно слабше іде відтирка від плівок в'язучого матеріалу, ніж в процесі удару до металевих екранів [76].

Відомий спосіб сухої регенерації сумішей на основі рідкого скла [77, 78], у якому відпрацьовану суміш після дробіння, магнітної сепарації подають у конусну

інерційну дробарку з підсиленням стиску і з одночасним зсувом, рівним здебільшого 1000-2000 кг і частоті взаємодії робочих тіл 15-20 Гц з наступною повітряною сепарацією за умови швидкості потоку повітря 1,2 - 1,5 м/с. Така обробка відпрацьованої формової суміші забезпечує високу якість відділення кварцових зерен від плівок в'язучого, однак призводить до великого вмісту глинястої складової, а отже, низького виходу регенерату.

Таким чином, тривають дослідження в напрямку розроблення ефективних способів регенерації сумішей на основі рідкого скла, для яких вирішення проблем регенерації повинне мати компромісний характер, оскільки в процесі вилучення плівок рідкого скла внаслідок великої адгезії до поверхні піщинок, починається їхнє руйнування. Ця обставина вимагає раціонального вибору механічних та фізико-хімічних засобів регенерації [79].

1.7. Цілі та завдання досліджень

У результаті аналізу літературних даних встановлено, що серед існуючих технічних рішень, які могли б бути застосовані у ливарно-механічному виробництві з ціллю зниження рівня екологічної небезпеки, слід виділити процеси регенерації формувальних сумішей із ціллю їх повторного використання, а також очищення від дрібнодисперсного пилу, що створюється в процесі роботи печей та вагранок ливарних виробництв. Проте існуючий на сьогоднішній день технічні рішення не можуть бути безпосередньо застосовані у виробництві без проведення додаткових теоретичних, експериментальних та конструкторських досліджень.

Тому основними завданнями досліджень є:

- проведення аналізу джерел екологічної небезпеки ливарних виробництв та перспективних шляхів мінімізації їх негативного впливу на довкілля;
- розроблення стратегії створення екологічно безпечних та економічно оправданих формувальних сумішей, здатних до регенерації та повторного використання;
- встановлення оптимального складу формувальних сумішей легкої регенерації та розроблення раціональної технології їх використання та регенерації;

- побудова математичної моделі руху потоків пилу в пиловловлювачі з жалюзійним відокремлювачем, який обертається, аналіз картини руху потоків у процесі обертання за і навпроти руху потоку, визначення оптимальних параметрів роботи апаратів;

- створення комплекту високоефективного пиловловлюючого обладнання для очищення повітря від дрібнодисперсного пилу в ливарно-механічних виробництвах;

- проведення комплексних експериментальних досліджень щодо визначення раціональних параметрів роботи пиловловлювачів із відокремлювачем, який обертається;

- проведення апробації пропонованих заходів щодо зменшення екологічної небезпеки ливарно-механічних виробництв в реальних умовах.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальна характеристика об'єкту, методу та методології досліджень

Предметом дослідження є екологічна небезпека ливарних виробництв. Ідентифікація джерел екологічної небезпеки відрізняється для різних типів ливарних виробництв залежно від технології виготовлення виливків, яка на цих виробництвах застосовується. У загальному для всіх способів литва можна виділити такі окремі стадії технології:

- 1) приготування формувальних та стержневих сумішей;
- 2) виготовлення стержнів та ливарних форм;
- 3) розплавлення металу;
- 4) заливання ливарних форм рідким металом;
- 5) кристалізація та твердіння розплаву;
- 6) вибивання затверділих виливків із форм;
- 7) відрубання та зачищення виливків із видаленням ливників.

Одна із найбільш поширених технологій – виготовлення литва із використанням піщаних форм (цим способом виготовляється біля 2/3 всієї кількості виливків). Для цієї технології литва характерні всі наведені вище стадії. У випадку застосування інших технологій литва (литво в кокіль, відцентрове, під тиском, в оболонкові форми, точне за виплавлюваними моделями і т.п.) деякі із стадій відсутні, оскільки, для литва в кокіль відсутні 1, 2 і 6 стадії і т.д. У цій роботі проводився аналіз всіх стадій технології з ціллю розроблення найбільш узагальнюючих рекомендацій щодо мінімізації екологічної небезпеки ливарних виробництв.

Аналізуючи приведені стадії ливарного виробництва, можна виділити такі основні типи джерел екологічної небезпеки (ЕН):

Джерело ЕН типу 1. Забруднення атмосфери механічним пилом – 1, 2 та 6 стадія.

Джерело ЕН типу 2. Забруднення атмосфери сконденсованими частинками розплавів та оксидів металів – 3 та 4 стадія.

Джерело ЕН типу 3. Утворення твердих відходів відпрацьованих ливарних форм – 6 стадія.

Джерело ЕН типу 4. Утворення твердих відходів металу – 7 стадія.

Об'єктом досліджень є процеси мінімізації негативного впливу джерел екологічної небезпеки ливарних виробництв на довкілля. Розглядаючи варіанти технічних заходів щодо мінімізації джерел екологічної небезпеки ливарного виробництва, можна виділити такі:

Для джерела ЕН типу 1, яке характеризується крупнодисперсним пилом, доцільно застосовувати відомі технології пилеочищення та пилевідділення: повітряні сепаратори, циклони. Відомі багаточисельні ефективні технологічні рішення для реалізації таких технологій пилеочищення, тому в дисертації удосконаленню пилеочищення для цього джерела екологічної небезпеки ливарних виробництв увага не приділялась.

Для джерела ЕН типу 2 необхідно розробити ефективні пиловловлювачі. У дисертації запропоновано як пиловловлювачі для мінімізації негативного впливу цього джерела екологічної небезпеки на довкілля використовувати високоефективні відцентрово-інерційні пиловловлювачі з рухомим жалюзійним відокремлювачем. Відмінною їх особливістю є: по-перше – відцентрове очищення пилоповітряного потоку після входу його в апарат проводиться під дією відцентрових сил відомим способом аналогічно циклону, по-друге – розташування жалюзійного відокремлювача коаксійно осі корпусу апарату, як другого ступеня очищення, по-третє – певна форма жалюзі відокремлювача, як третього ступеня очищення і по-четверте – додаткове доочищення повітря від дрібнодисперсного пилу за рахунок обертання певним чином жалюзійного відокремлювача. Отже, у таких апаратах здійснюється чотирьохступеневе очищення повітря від пилу.

Для джерела ЕН типу 3 доцільним є розроблення способу мінімізації кількості утворених твердих відходів за рахунок їх повторного використання. Цього можна досягти у випадку використання в складі формувальної суміші рідкого скла та

шамотно-каолінового пилю. Процес регенерації формувальних сумішей із використанням як в'язучого рідкого скла заснований на сухій регенерації відпрацьованих форм. Відпрацьована формувальна суміш може в подальшому використовуватись як наповнювач у складі будівельних матеріалів.

Для джерела ЕН типу 4 мінімізація екологічної небезпеки пов'язана із повторним використанням відходів металу. Технологічні рішення такого використання відходів металу відомі, їх промислове застосування не потребує додаткових досліджень.

Відповідність джерел екологічної небезпеки шляхам мінімізації їх негативного впливу на довкілля представлена на рис.2.1.

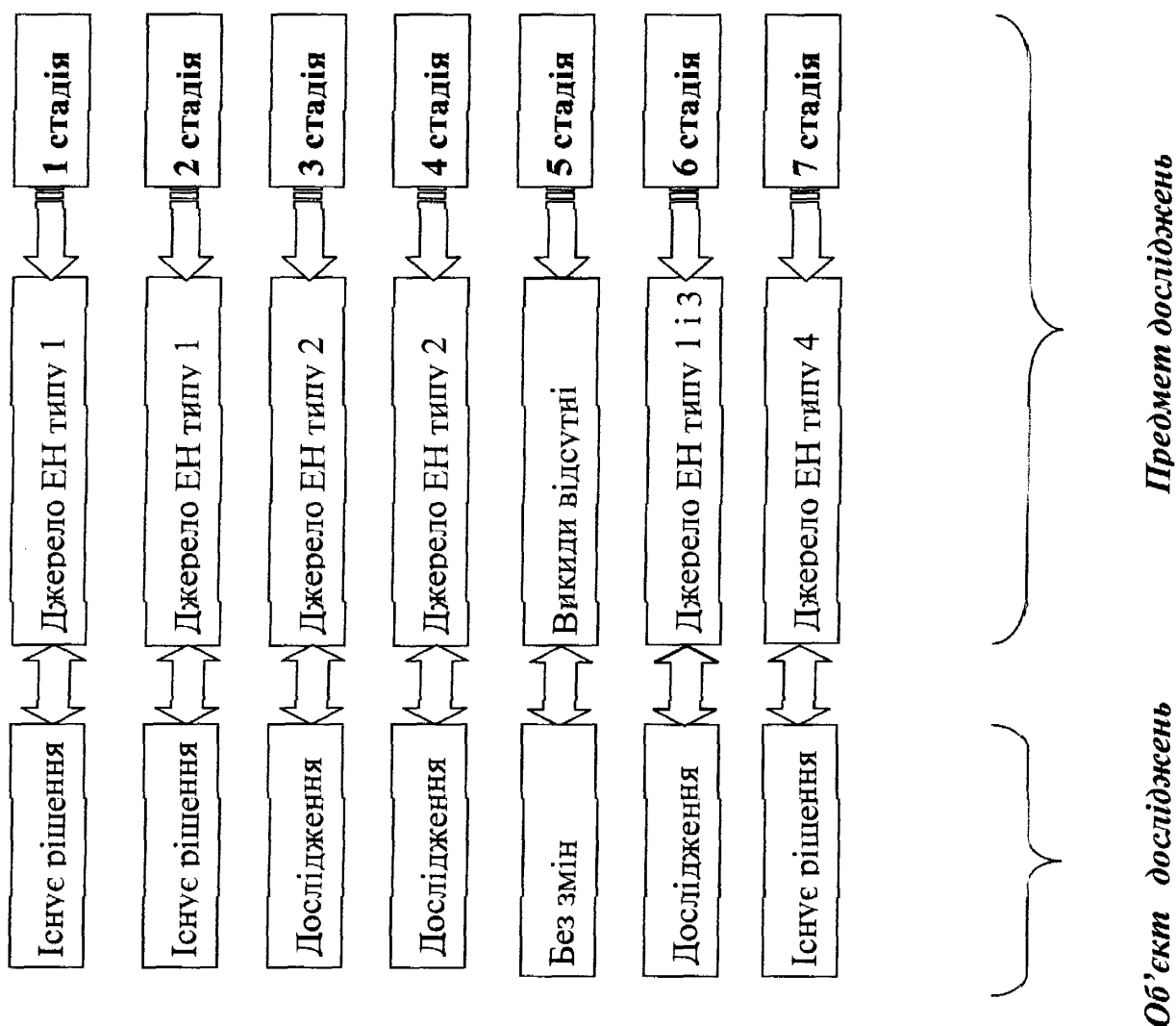


Рисунок 2.1 - Відповідність джерел екологічної небезпеки ливарних виробництв шляхам мінімізації їх негативного впливу на довкілля.

Дані описаного вище аналізу будуть у подальшому використані нами для розроблення та впровадження комплексної управлінської стратегії, яка дозволить мінімізувати екологічну небезпеку ливарного виробництва.

Методологія дослідження базується на застосуванні системного аналізу процесу формування екологічної небезпеки, у рамках якого загальне завдання структурується на ряд завдань дослідження окремих чинників.

Методологічно дисертаційне дослідження структуроване на декілька етапів (рис. 2.2). Перший із них передбачає логічний аналіз сучасного стану вивченості проблем екологічної безпеки. Шляхом логічної дедукції встановлюється ступінь опрацювання наукових аспектів та визначаються основні завдання дослідження.

На другому етапі проводиться аналіз екологічної небезпеки ливарного виробництва, встановлюються джерела екологічної небезпеки ливарних виробництв та шляхи мінімізації впливу цих джерел на довкілля.

На третьому етапі (складається із 2 підетапів) розробляються технічні рішення для мінімізації впливу джерел ЕН ливарних виробництв на довкілля.

На першому підетапі розробляється система технологічних рішень, яка б дозволила утилізувати тверді відходи ливарних форм.

На другому підетапі розробляються технологічні рішення для вловлювання дрібнодисперсного пилу, яким забруднюються відходячі гази на стадіях розплавлення металу та заливання ливарних форм рідким металом технології ливарних виробництв. Складовими цього етапу є розроблення теоретичної моделі ефективного пиловловлювача, проведення експериментальних досліджень на стенді та розроблення конструкцій пиловловлювачів, застосування яких дозволить мінімізувати екологічну небезпеку на вказаних вище стадіях технології ливарного виробництва.

Розроблення теоретичної моделі ефективного пиловловлювача проводилась із використанням програмного комплексу FlowVision, обробка експериментальних даних проводиться за допомогою статистичних методів із використанням математичного програмування в пакеті MS Excel.

На четвертому етапі проводились дослідження щодо апробації розроблених

технічних рішень на реальних ливарних виробництвах, визначення організаційно-технічних заходів зниження рівня екологічної небезпеки ливарних виробництв та перевірки ефективності впровадження розроблених рішень.

Етап 1. Аналітичний огляд літературних джерел, встановлення наукових передумов дисертаційного дослідження

Етап 2. Аналіз екологічної небезпеки ливарного виробництва, встановлення джерел екологічної небезпеки ливарних виробництв

Етап 3а. Система технологічних рішень, для утилізації твердих відходів ливарних форм.

Етап 3б. Технологічні рішення для вловлювання дрібнодисперсного пилю, яким забруднюються відходячі гази на стадіях розплавлення металу

Розроблення теоретичної моделі ефективного пиловловлювача

Проведення експериментальних досліджень на стенді

Розроблення конструкцій пиловловлювачів

Етап 4. Розробка практичних заходів з управління екологічною безпекою ливарних виробництв

Рисунок 2.2 - Структурно-логічна схема дисертаційного дослідження.

2.2. Загальна характеристика матеріалів, які використовувались в дослідженнях

2.2.1. Матеріали, які використовувались для дослідження формувальних сумішей. Як наповнювач в формувальних сумішах використовувався кварцовий пісок фракцій 0,14...0,315 мкм, марки К031АБ, К027, К02Б у відповідності з ГОСТ 2138-84. Характеристика кварцових пісків наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Характеристика кварцових пісків

Група	Гл, %, не більше	Група	Si, %, не більше	Група	К _о , %	Група	Середній розмір зерна, мм
1	0,2	К ₁	99,0	О ₁	>80,0	01	до 0,14
2	0,5	К ₂	98,0	О ₂	70,0 - 80,0	016	0,14 - 0,18
3	1,0	К ₃	97,0	О ₃	60,0 - 70,0	02	0,19 - 0,23
4	1,5	К ₄	95,0	О ₄	50,0 - 60,0	025	0,24 - 0,28
5	2,0	К ₅	93,0	О ₅	до 50,0	03	>0,28

* Гл - масова частка глинистої складової; Si - масова частка діоксиду кремнію; К_о - коефіцієнт однорідності.

Як в'язуче для формувальних сумішей використовувалось рідке скло ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MSiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) з модулем (М) = 2,7 - 2,8 і густиною 1,47 - 1,52 г/см³ у відповідності з ГОСТ 13078-81. Основні фізико-хімічні характеристики рідкого скла наведені в таблиці 2.2.

Як структуроутворюючий компонент, який сприяє легкій регенерації відпрацьованої формувальної суміші, використовували шамот-каоліновий пил з електрофільтрів обертових печей Володимирського заводу вогнетривів (Донецька обл.), отриманий у процесі обпалювання шамоту марки ШКВ-2, хімічний склад якого був таким: (масова частка в %) SiO₂ - 54,1; Al₂O₃ - 36,2; Fe₂O₃ - 1,6; CaO - 0,72; Mg - 0,14; nnn - 5,8.

Таблиця 2.2 - Основні фізико-хімічні характеристики рідкого скла

Найменування показників	Норма для рідкого скла		
	А	Б	Для ливарного виробництва,
1. Зовнішній вигляд	Густа рідина жовтого або сірого кольору без механічних домішок і включень видимих неозброєним поглядом		
2. Масова частка диоксиду кремнія, %	22,7 - 29,6	24,3 - 31,9	29,5 - 36,0
3. Масова частка оксиду заліза і оксиду алюмінію, %, не більше	0,25	0,25	0,25
в тому числі оксиду заліза	Не регламентується		-
4. Масова частка оксиду кальція, %, не більше	0,20	0,20	0,20
5. Масова частка сірчаного ангідриду, %, не більше	0,15	0,15	0,15
6. Масова частка оксиду натрію, %	9,3 - 12,8	8,7 - 12,2	10,9 - 13,8
7. Силікатний модуль	2,3 - 2,6	2,6 - 3,0	2,6 - 3,0
8. Густина, г/см ³	1,36 - 1,45	1,36 - 1,45	1,47 - 1,52

2.2.2. Матеріали, які використовувались для дослідження процесу пиловловлювання. Для випробувань застосовувалася кварцовий пил, виготовлений в НАТИ. За даними аналізу на турбідиметрі, він повинен мати дисперсний склад, наведений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Вимоги стандарту до дисперсного складу пилу, який використовується для випробувань процесу пиловловлювання

Інтервал діаметра частинок, 10^{-6} м	0-5	0-10	0-15	0-20	0-25	0-30	понад 30
Вміст часток за масою, %	15	41	63	75	83	88	інше

Аналіз дисперсного складу пилу, який використовувався нами для випробувань, був виконаний на піпеточному приладі ПП-1. За даними аналізу він мав дисперсний склад, наведений у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Дисперсний склад пилу, що використовувався нами для випробувань

Інтервал діаметра частинок, 10^{-6} м	0-4	0-6,3	0-10	0-16	0-25	0-40	понад 40
Вміст часток за масою, %	19,8	31,2	40,5	52,9	66,7	95,9	4,1

Була визначена також питома поверхня цього пилу методом повітряної проникності на приладі ПСХ-2. Вона дорівнює $0,569 \text{ м}^2/\text{г}$ і відповідає вимогам ГОСТ 8002-74, згідно з якими вона повинна дорівнювати $(0,56) \text{ м}^2/\text{г}$.

Випробування на стандартному пилу дозволяють виконувати порівняльний аналіз результатів випробувань, отриманих в інших організаціях і навіть в інших країнах, що є позитивним для випробування пиловловлювачів у зібраному стані.

2.3. Характеристика пилу в аспіраційному газоповітряному потоці ливарного виробництва ТзОВ ЛМЗ «ВЕСТА»

Для встановлення хімічного та дисперсного складу пилу в аспіраційному газоповітряному потоці ливарних виробництв проводились відбори пилу, вловленого пилоочисним обладнанням. Було відібрано і проаналізовано 16 проб

пилу. Дисперсний склад пилу для 16 відібраних проб досліджувався на піпеточному приладі ПП-1. Усереднені результати представлені на рис. 2.3

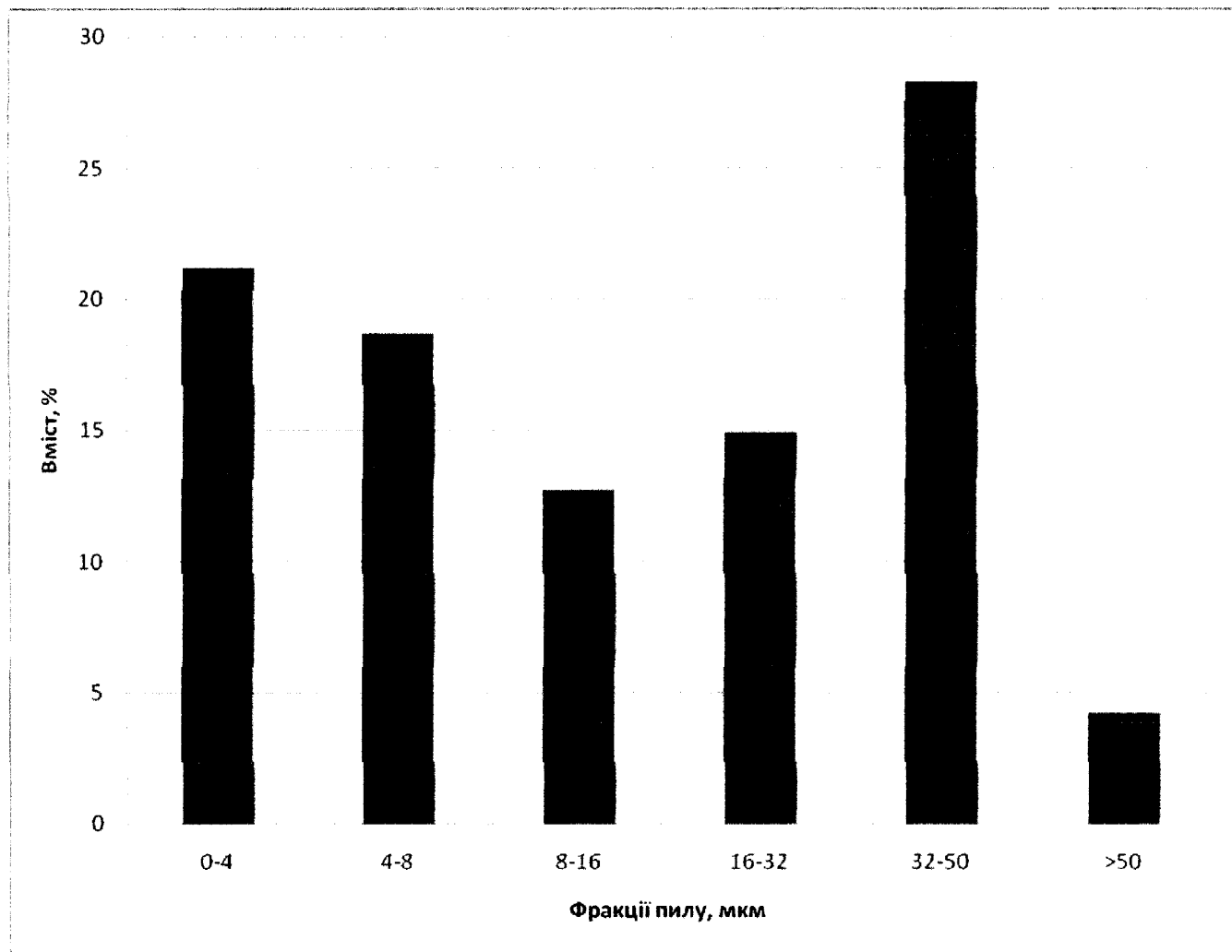


Рисунок 2.3 - Дисперсний склад пилу в аспіраційному газоповітряному потоці ливарного виробництва ТзОВ ЛМЗ «ВЕСТА»

Оскільки джерелами викидів на ТзОВ ЛМЗ «ВЕСТА», де впроваджувались досліджувані конструкції пилоочисного обладнання були плавильні печі та ливарні машини лиття латуні під тиском, то в першу чергу досліджувався вміст у пробах пилу складових компонентів латуні – міді, свинцю та цинку. Ці елементи у вигляді парів потрапляють в аспіраційну систему, частково окислюються, конденсуються у міру зниження температури газової суміші, утворюючи дрібнодисперсний пил, від якого і необхідно було проводити очищення з ціллю попередження забруднення навколишнього середовища. Повернення цього пилу в склад шихти ефективно з

урахуванням економії ресурсів. Аналіз на вміст хімічних елементів проводився на рентгенофлуоресцентному аналізаторі «EXPERT-3L». Середній склад пилу за результатом аналізу цих проб наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Середній склад пилу в аспіраційному газоповітряному потоці ливарного виробництва ТзОВ ЛМЗ «ВЕСТА»

Цинк	Мідь	Свинець	Інші елементи
10,6	45,3	2,4	32,7

2.4. Методика проведення досліджень властивостей формувальних сумішей та виготовлених із них зразків

2.4.1. Методика визначення залишкової міцності формувальних сумішей.

Залишкову міцність формувальних сумішей на стиск визначали згідно ГОСТ 23409.7-78 на приладі МИП-100-2. Метод заснований на визначенні опору зразка в процесі накладання до нього відповідного навантаження.

Для проведення дослідів застосовують:

- копер лабораторний з масою падаючого вантажу ($6,35 \pm 0,015$) кг і висотою падіння ($50 \pm 0,25$) мм;
- прес гідравлічний лабораторний з зусиллям до 4 т;
- шафу сушильну з терморегулятором, що забезпечує температуру нагрівання до 300°C ;
- ваги лабораторні 2-го класу точності за ГОСТ 24104-80;
- стенд піскодувний для виготовлення зразків, які набирають міцність в гарячому стані;
- гільзу сталеву шліфовану нероз'ємну або роз'ємну з внутрішнім діаметром ($50 \pm 0,025$) мм з поверхневою твердістю 48-50 одиниць по Роквеллу, шорсткістю поверхні Ra 0,012-0,025 мкм і висотою 120 мм;

- гільзу сталеву шліфовану роз'ємну з внутрішнім діаметром $(50\pm 0,02)$ мм, висотою $(50\pm 0,02)$ мм поверхневою твердістю 48-50 одиниць за Роквеллом, шорсткістю поверхні Ra 0,012-0,025 мкм;
- гільзу сталеву шліфовану спеціальну з внутрішнім діаметром $(50\pm 0,025)$ мм і висотою 100 мм поверхневою твердістю 48-50 одиниць за Роквеллом, шорсткістю поверхні Ra 0,012-0,025 мкм;
- піддон для гільзи сталевий шліфований з внутрішнім діаметром $(60\pm 0,3)$ мм і висотою $(10\pm 0,3)$ мм;
- ящик стрижневий сталевий шліфований роз'ємний поверхневою твердістю 48-50 одиниць за Роквеллом і шорсткістю поверхні Ra 0,012-0,025 мкм з внутрішніми розмірами, що забезпечують отримання зразка з розмірами на рис. 2;
- ящик стрижневий з внутрішніми розмірами: 20X25X25 мм поверхневою твердістю 48-50 одиниць за Роквеллом;
- прилад для визначення міцності вологих зразків на вигин, що забезпечує швидкість руху стрічки в горизонтальній площині 850 мм/хв.;
- прилад із пристосуваннями для визначення міцності при стисканні в сирому стані, зрізі, стисканні і розтягуванні в сухому або затверділому стані, вигині.

Прилад повинен забезпечувати відносну похибку вимірювання не більше $\pm 2\%$ від вимірюваної величини, діапазон вимірювань міцності: 0,06-0,30; 0,60-3,00; 1,40-70,0 кгс/см², швидкість навантаження в секунду не більше 5% від верхньої межі вимірюваної величини.

Для визначення межі міцності в процесі стиснення і розтягуванню вологих формувальних сумішей зразки готували за допомогою лабораторного преса під тиском 10-40 кгс/см² у нероз'ємній гільзі. Для визначення межі міцності в процесі розтягування сухих формувальних і стрижневих сумішей зразки готували так: суміш насипали в стрижневий ящик, на неї поміщали трамбувальну головку масою (750 ± 10) г і встановлювали під лабораторний копер. Суміш ущільнювали триразовим ударом вантажу, що падає з висоти $(50\pm 0,25)$ мм. Після ущільнення допускалось зрізання надлишкового шару висотою не більше 3 мм без

загладжування. Зразки сушили у відповідності з вимогами нормативно-технічної документації на конкретні сполучні матеріали і суміші. Потім зразки охолоджували на повітрі.

Для визначення межі міцності формувальних і стрижневих сумішей в процесі розтягування в затверділому стані зразки готували в стержневому ящику. Для цього суміш насипали в стрижневий ящик і ущільнювали рукою. Надлишок суміші зрізали. Затвердіння зразка проводили в стержневому ящику відповідно до вимог, передбачених нормативно-технічною документацією на конкретні сполучні матеріали та суміші. Допускалось застосування багатогніздового ящика, що забезпечував отримання зразків з відповідними розмірами.

Перед визначенням меж міцності в процесі стиснення, розтягування, вигину та зрізу зразки поміщали у відповідний пристрій приладу для визначення міцності та результати фіксували за показаннями приладу. Випробування проводили паралельно на трьох зразках.

Межу міцності в процесі вигину вологих зразків (σ_w) в Па обчислювали за формулою:

$$\sigma_w = \frac{m \cdot l}{4W} \quad (2.1),$$

де m – маса відламаної частини зразка, кг;

l – довжина відламаної частини зразка, см;

W – момент опору, см^3 , який обчислюється за формулою

$$W = \frac{a^3}{6} \quad (2.2),$$

де a – сторона перерізу зразка, см.

За результат випробування приймали середнє арифметичне результатів трьох паралельних визначень. Якщо результати визначення одного зразка відрізнявся від

середнього арифметичного більше, ніж на 10%, визначення повторювали. За остаточний результат випробування приймали середнє арифметичне результатів трьох останніх визначень.

2.4.2. Методика визначення вологості формувальних сумішей. Вологість формувальних сумішей встановлювали згідно з ГОСТ 23409.5-78. Метод заснований на визначенні втрати маси наважки піску, формувальної або стрижневої суміші після висушування за 105-110°C до постійної маси.

Для проведення випробувань застосовували:

- шафа сушильна, що забезпечує температуру нагріву 105-110°C, з терморегулятором або лампу потужністю 500 Вт із внутрішнім дзеркальним рефлектором;
- ваги лабораторні 2-го класу точності за ГОСТ 24104-80;
- ексикатор за ГОСТ 25336-82;
- стаканчики для зважування (бюкси) за ГОСТ 25336-82;
- чаші випарювальні за ГОСТ 9147-80;
- кальцій хлористий технічний за ГОСТ 450-77.

Від проби піску або суміші, відібраних для випробування за ГОСТ 2189-78 і ГОСТ 23408-78, методом вичерпування виділяли наважку масою 50 г, поміщали в попередньо висушену до постійної маси і зважену чашу або бюксу, сушили в сушильній шафі за 105-110°C протягом 30 хв. і зважували. Кожне наступне зважування проводили після висушування протягом 15 хв. до постійної маси.

Маса піску або суміші вважалась постійною, якщо різниця результатів двох наступних зважувань не перевищувала 0,02 г. Після остаточного висушування наважку піску або суміші охолоджували в ексикаторі і зважували. Випробування проводили паралельно на двох наважках.

Масову частку води (X) у відсотках обчислювали за формулою:

$$X = 2(m_1 - m_2) \quad (2.3),$$

де m_1 – маса чаші з наважкою піску або суміші до висушування, г;

m_2 – маса чаші з наважкою піску або суміші після висушування, г

Допустимі розбіжності між результатами паралельних визначень не перевищували:

0,1% – при масовій частці вологи до 1%;

0,15% – при масовій частці вологи понад 1 до 5%;

0,18% – при масовій частці вологи понад 5%.

Якщо розбіжність між результатами паралельних визначень перевищувала наведені значення величин, визначення повторювали. За остаточний результат випробування приймали середнє арифметичне результатів двох останніх визначень.

2.4.3. Методика визначення газопроникності формувальних сумішей.

Газопроникність визначали з використанням стандартної методики згідно ГОСТ 23409.6-78. Метод заснований на визначенні здатності зразка пропускати через себе повітря.

Для проведення випробувань застосовували:

- прилад для визначення газопроникності, клас точності 5, межі вимірювання 30-300 одиниць;
- ваги лабораторні 2-го класу точності за ГОСТ 24104-80;
- шафа сушильна, яка забезпечує температуру нагрівання до 300°C з терморегулятором;
- гільзу нероз'ємну сталеву шліфовану з поверхневою твердістю 48-50 одиниць за Роквеллом, внутрішнім діаметром $(50 \pm 0,025)$ мм
- гільзу роз'ємну сталеву шліфовану з поверхневою твердістю 48-50 одиниць за Роквеллом, внутрішнім діаметром $(50 \pm 0,025)$ мм,
- гільзу металеву спеціальну з еластичною прокладкою, що забезпечує герметичне прилягання зразка до стінок гільзи;
- копер лабораторний з масою падаючого вантажу $(6,35 \pm 0,015)$ кг і висотою падіння вантажу $(50 \pm 0,25)$ мм;
- деко металевий або чашку випарювальну за ГОСТ 9147-80;
- сито з сіткою № 2,5 за ГОСТ 6613-73.

Газопроникність визначали за природної вологості. З вологої суміші готували зразки в нероз'ємній металевій гільзі, ущільнюючи її за допомогою лабораторного копра триразовим ударом вантажу. Для досягнення оптимальної вологості пробу масою 700 г поміщали в деко або чашку і додавали воду 2,5 або 4,5% від маси наважки або відповідно 17,5 або 31,5 см³ і ретельно перемішували вручну до рівномірного розподілу вологи. Зі зволоженої таким чином суміші готували зразки і проводили повторне визначення.

Для визначення газопроникності сухого зразка суміші зразки сушили в умовах, відповідно до вимог, передбачених нормативно-технічною документацією на конкретні сполучні матеріали та суміші, потім охолоджували на повітрі. Зразки мали висоту (50±0,8) мм. Висота зразків контролювалась трьома рисками, нанесеними на станині та штоці копра. Випробування проводили на трьох зразках.

У процесі визначення газопроникності вологого зразка на прилад для випробування встановлювали зразок у нероз'ємній гільзі. Для визначення газопроникності сухого або затверділого зразка його поміщали в спеціальну гільзу і встановлювали на прилад для випробування. Через зразок пропускали 2000 см³ повітря під тиском 980,7 Па (10 см вод. ст.). Для випробування суміші газопроникністю понад 49 одиниць застосовували ніпель з отвором діаметром 1,5мм. Для випробування суміші газопроникністю менше 49 одиниць застосовували ніпель з отвором діаметром 0,5 мм. Величину газопроникності зразка фіксували за показником приладу.

За результат випробування приймали середнє арифметичне результатів трьох паралельних визначень. Якщо результати визначення одного зразка відрізнялись від середнього арифметичного більше, ніж на 10%, визначення повторювали на нових зразках. За остаточний результат випробування приймали середнє арифметичне результатів трьох останніх визначень.

2.5. Методика досліджень властивостей пилоочисного обладнання

Існують два види випробувань пиловловлювачів: на експериментальному стенді та у промислових умовах, або в умовах експлуатації.

Основними агрегатами експериментального стенду повинен бути вентилятор, що створює необхідний потік пилогазової суміші через апарат. Конструкція стенду повинна забезпечувати плавність зміни витрати повітря в даному діапазоні випробувань. Стенд повинен мати пилову камеру, у якій встановлюють пиловловлювач, що випробовується, з тим, щоб втрати пилу на стінках пилової камери були мінімальні. Стенд обладнується дозатором пилу, що дозволяє регулювати запиленість повітря в необхідних межах для кожного апарату. Стенд повинен бути обладнаний витратоміром повітря та п'єзометрами для вимірювання опору повітрю пиловловлювачів.

Найпростішим із погляду техніки проведення є метод випробування, який імітує промислову установку для очищення повітря. Цей метод був удосконалений і поряд із візуальним спостереженням результати вимірювань тиску під апаратом і витрати повітря над апаратом надходять із датчиків у вигляді електричних сигналів на графобудівник залежностей $y = f(x)$, на якому відразу викреслюються криві розподілу. У результаті запропоновано новий графоаналітичний метод оцінки ефективності роботи пилоочисного обладнання.

Хоча метод імітації промислової установки є відтворюваним, він все ж не дає можливості отримати «істинне» значення ефективності роботи установки. Однак користуючись цим експрес-методом, можна контролювати якість та сертифікувати апарати для уловлення пилу, а також вживати термінових заходів щодо вдосконалення конструкцій апаратів, наближаючи результати випробувань виробничих зразків до лабораторних зразків. Для отримання істинних величин ефективності та гідравлічного опору можуть допомогти тільки прямі способи пропускання реальних частинок через зразок пиловловлювача, який випробовується. Як випробувальні частинки застосовують стандартний полідисперсний кварцовий пил, характеристики якого детально описані в розділі 2.1.2.

2.5.1. Розробка, виготовлення та вдосконалення стенду для випробувань пиловловлювачів. Практика показує, що найбільш надійні результати випробувань фільтрів на ефективність та пилоємкість отримують на стендах, де використовується

гравіметричний метод вимірювання (хоча він теж не стандартизований). Тому в процесі розробки стенду були враховані вимоги ГОСТ 8002-74 щодо випробувань пиловловлювачів. Схема розробленого стенду наведена на рис. 2.4.

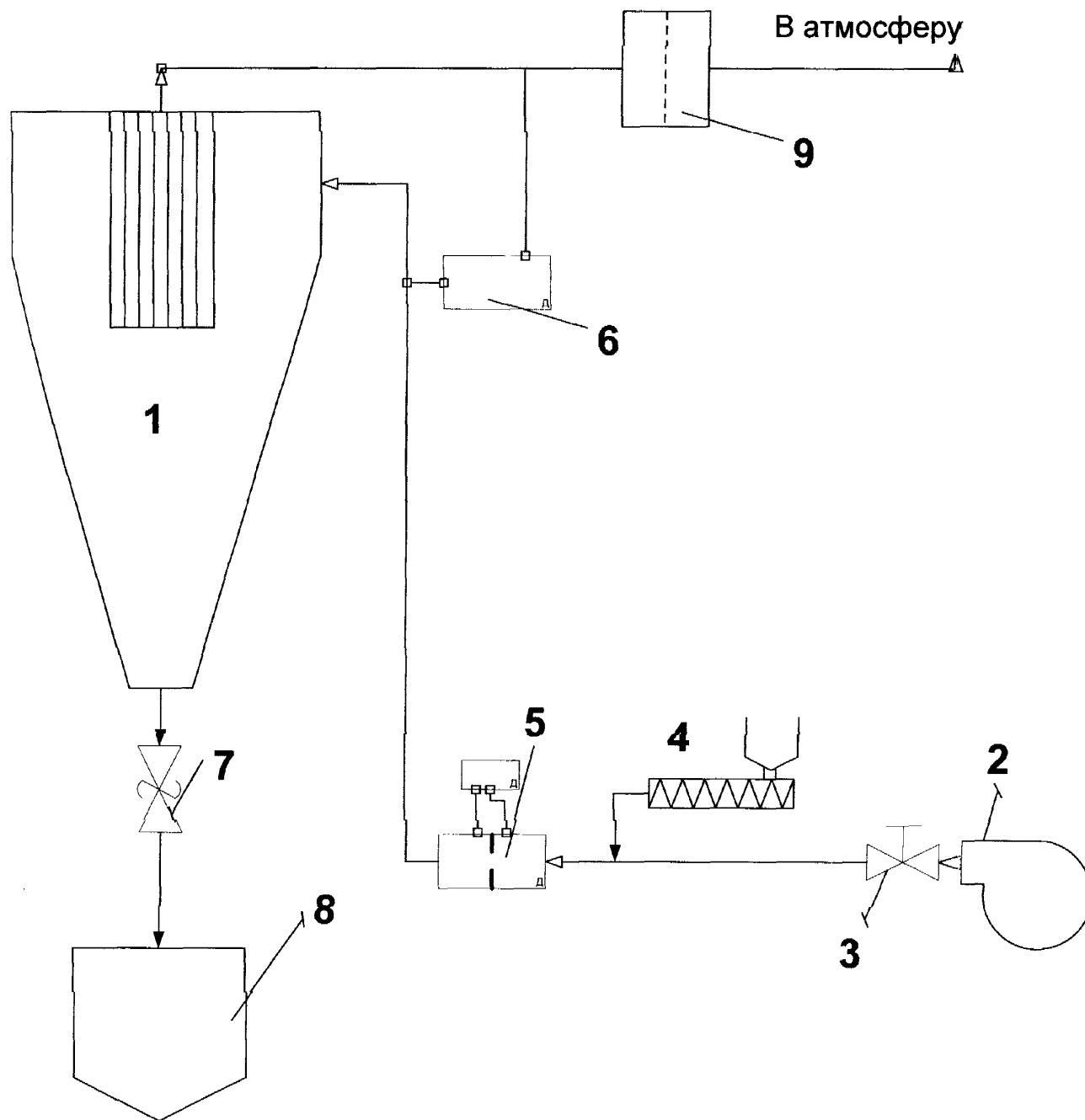


Рисунок 2.4 - Схема стенду, який використовувався для досліджень ефективності роботи пиловловлювачів: 1 – пиловловлювач; 2 – вентилятор; 3 - дросель; 4 – дозатор пилу; 5 - витратомір повітря – діафрагма; 6 – водяний п'єзометр; 7 – розвантажувальний клапан; 8 – бункер пилу, 9 – фільтр.

Стенд складається з пиловловлювача 1, вентилятора 2, дроселя 3, дозатора пилу 4, витратоміра повітря – діафрагми 5, водяного п'єзометра 6, розвантажувального клапана 7, бункера пилу 8 та фільтру 9. [80].

Нормальна діафрагма 5, попередньо розрахована за методикою [8], була виготовлена і зібрана відповідно до Правил [81]. Для більшої надійності вона була прокалібрована газовим лічильником прямо в установці, який підтвердив правильність її виготовлення та монтажу.

Конструкція стенду давала можливість встановлювати всередині пиловловлювача коаксійно рухомі жалюзійні відокремлювачі різних конструкцій, рух яких створювався шляхом передачі крутного моменту на відокремлювач через систему механічного приводу. Це давало можливість міняти конструкції відокремлювачів, які досліджувались на ефективність, згідно із програмою досліджень, описаною нижче.

У літературі [82] вказується на значний вплив дозаторів пилу на стабільність отримання результатів випробувань і одним із шляхів вирішення проблеми рекомендується стандартизація цього обладнання, оскільки різні конструкції по різному впливають на результати. Як відомо, основною вимогою, що ставиться до дозаторів пилу, є рівномірна подача пилу в строго необхідній кількості. Оскільки для досліджень величини разових зважувань складають $(2 - 7) \times 10^{-3}$ кг, довелося сконструювати спеціальний дозатор пилу.

2.5.2 Методика визначення дисперсного складу пилу. Існують різні методи дисперсного аналізу порошків [83 - 92] і приладів для проведення аналізів, з якими вдалося ознайомитися, однак вони не завжди доступні і частіше рекомендуються для аналізу крупнодисперсного пилу. До найбільш перспективних відносяться кондуктометричні прилади як кращі за точністю, так і за швидкодією. Був виконаний теоретичний аналіз вимірювальних можливостей такого приладу, який підтвердив це [92]. Для описаних у роботі досліджень нами прийнятий седиментометричний метод аналізу отриманого пилу як найбільш універсальний і доступний за обладнанням [93].

Седиментаційний аналіз заснований на залежності швидкості осадження однорідних частинок у в'язкому середовищі від їх розмірів [85]. Сила опору середовища залежить від розмірів частинки, швидкості руху, в'язкості середовища і визначається числом Рейнольдса R_e . В'язкий опір середовища виражається законом Стокса для $R_e < 0,2$.

У процесі руху частинки з постійною швидкістю сила опору середовища дорівнює силі тяжіння:

$$6\pi\eta rV = \frac{4}{3}\pi r^3(\rho_r - \rho_b)g, \quad (2.4),$$

де η - динамічна в'язкість середовища,
 r - радіус сферичної частинки,
 V - швидкість падіння частки в рідині,
 g - прискорення сили тяжіння,
 ρ_r - щільність частинки,
 ρ_b - щільність середовища.

При $V = \frac{H}{\tau} = \text{const}$

$$r = \sqrt{\frac{9\eta H}{2(\rho_r - \rho_b)g\tau}}. \quad (2.5).$$

Створені різні конструкції приладів для виконання аналізів. Достатньо повне викладення всіх методів і апаратурного оформлення седиментаційного аналізу міститься в роботах дослідників із цього напрямку [83 - 88].

Найбільш широко застосовують методи накопичення осаду та відбору проб.

Метод накопичення осаду полягає в тому, що в суспензію з рівномірно розподіленими частинками всіх розмірів занурена чашечка спеціальних ваг, на яку

осідають тверді частинки з циліндричного стовпа суспензії з основою, рівною площі чашечки ваг, і висотою, що дорівнює висоті стовпа суспензії над чашечкою. Маса осаду, що осіла на чашечці ваг, безперервно реєструється візуально або за допомогою самописців [84]. Шляхом побудови дотичних до певних точок кривої накопичення осаду можна знаходити дисперсний склад пилу у відсотках за масою. Щоб уникнути операцій графічного диференціювання, які є основним джерелом помилок цього методу, було прийнято метод відбору проб.

Метод відбору проб мало висвітлений у літературі з пилеочистки в дизелях, тому пояснення його ведеться детально. Крім того, він не випробуваний для дрібнодисперсного пилу. Суть методу полягає в наступному. Після перемішування в скляному циліндрі наважки пилу M у перший момент частинки всіх розмірів рівномірно розподілені у всьому об'ємі V рідини. На деякій глибині h концентрація частинок в об'ємі відібраної проби V_0 складе $\frac{V_0}{V} \cdot M$, г. Візьмемо другу пробу такого ж об'єму V_0 з тієї ж глибини h , але через деякий відрізок часу τ . Припустимо, що за час τ , всі частинки розміром d_1 або встигли осісти з усього об'єму V , або не осіли, але спустилися нижче, ніж h . Частинки розміром d_2 , можуть за цей час опуститися з розглянутого шару, але на їх місце надійдуть інші частинки того ж розміру з вище розташованого шару рідини. Якщо позначити через M_1 масу твердих часток, що знаходяться в об'ємі V_0 на глибині h через відрізок часу τ , то різниця $\frac{V_0}{V} M - M_1$ буде зумовлена тим, що всі частинки розміром d_1 опустилися нижче шару, віддаленого на відстані h від верхнього рівня рідини і т.д. Використовуючи цей процес, можна визначити фракційний склад досліджуваного пилу.

Для різних моментів часу відбору проб розраховують відповідні їм діаметри d . Кількості твердої речовини, що містяться в об'ємах, відібраних піпеткою, визначають зважуванням залишків після випарювання на аналітичних вагах. Відношення M_1/M є часткою частинок з діаметром, меншим d_1 і т.д. Величина M може бути визначена, наприклад, розрахунком за середньою початковою концентрацією пилу.

Для дослідження розподілу часток за розмірами цим методом користуються різними седиментаційними піпетками. Найбільшого поширення в зарубіжній і вітчизняній практиці отримала піпетка Андреазена. Вона є каліброваним циліндром діаметром 6 см, що наповнюється седиментаційною рідиною (об'єм 550см^3). На пробці, що закриває циліндр, встановлена піпетка об'ємом 10см^3 , що дозволяє через певні розраховані проміжки часу відбирати проби з однієї і тієї ж глибини. Ми скористалися піпетковим приладом ПП-1 конструкції ЛІОТ, у якому проби відбираються з різних висот [88]. Це дозволяло вимірювати концентрації суспензії спочатку на великій глибині, найбільш сприятливій для вимірювання швидкості седиментації великих часток, а потім на середній і малій, що скорочує час седиментаційного аналізу самих дрібних частинок.

Калібрування приладу, підготовка проби до аналізу, розрахунок часу седиментації, порядок проведення аналізу наведені в описі приладу.

Розрахунковий час седиментації визначений нами для різних розмірів часток наведено в таблиці 2.6

Таблиця 2.6 Розрахунковий час седиментації

Прийнятий діаметр частинок, 10^{-6} м		40	25	16	10	6,3	4	2,5	1,6	1,0
Час седиментації	год.	0	0	0	0	0	1	2	3	6
	хв.	2	5	14	35	47	52	32	42	20
	сек.	23	56	7	12	57	59	13	58	31

Результати виконаного аналізу дрібнодисперсного пилу наведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Результати аналізу пилу

Маса чистих бюксів, 10^{-3} кг	Маса бюксів з пилом, 10^{-3} кг	Маса пилу, 10^{-3} кг	Інтервал діаметрів, 10^{-6} м	% вміст за масою
47,0322	47,1284	0,0962	понад 40	3,8
44,5209	44,6139	0,0930	0-40	96,2
44,3931	44,4836	0,0905	0-25	93
43,9117	43,9955	0,0838	0-16	90,5
44,6620	44,7344	0,0724	0-10	83,8
47,7186	44,7766	0,0580	0-6,3	72,4
44,5499	44,5911	0,0412	0-4	58,0
46,0531	46,0806	0,0275	0-2,5	41,2
45,6112	45,6236	0,0124	0-1,6	27,5

До переваг методу слід віднести простоту виконання аналізу, для визначень не потрібна висока кваліфікація лаборанта. До недоліків - відносно великий час аналізу дрібних частинок. Так, для частинок розміром $1 \cdot 10^{-6}$ м воно складає 6 год. 20 хвилин 31 сек. З розгляду таблиці 2,7. видно, що отриманий пил дійсно належить до дрібнодисперсного, оскільки він містить 83,8% за масою частинок розмірами до $10 \cdot 10^{-6}$ м. Крім цього, таблиця досить наочно ілюструє порядок вимірюваних величин та точність методу. Таким чином, встановлено, що седиментаційний метод відбору проб цілком придатний і для аналізу дрібнодисперсного пилу.

Була виміряна також і питома поверхня цього пилу методом повітропроникності на рекомендованому стандартом [29] приладі ПСХ-2. Вона становить $1,13 \text{ м}^2 / \text{г}$.

2.5.3. Методика досліджень пиловловлювачів на ефективність очищення

Ефективність очищення повітря пиловловлювачами характеризується ефективністю уловлення пилу. У разі визначення запиленості після фільтра методом фільтрації повного потоку повітря він визначається як відношення маси пропущеної пилу до маси поданої на пиловловлювач пилу і підраховується за формулою [80]:

$$\eta = \frac{G_3 - G_2}{G_1} \cdot 100\%, \quad (2.6),$$

де G_1 - маса поданого пилу, кг;

G_2 - маса чистого фільтру ФПП, кг;

G_3 - маса фільтру ФПП з пилом, кг.

Порядок проведення випробувань такий. Зважений пил $2,2 \cdot 10^{-3}$ кг подається дозатором на фільтр. Після цього установка вимикається і фільтр ФПП зважується на аналітичних вагах повторно. Оскільки в процесі демонтажу фільтра можливі руйнування пилового шару, другий досвід проводили на другому зразку цього виду фільтрувального паперу, але з подачею $4,4 \cdot 10^{-3}$ кг, а потім на третьому зразку з подачею на нього $6,6 \cdot 10^{-3}$ кг. При цьому фільтр ФПП зберігався той же.

2.5.4. Випробування пиловловлювачів на стенді. Ефективність роботи пиловловлювачів визначається трьома характеристиками, визнаними головними:

1) ефективністю пиловловлення ε - відношенням маси пилу, яка вловилася в пиловловлювачі, до маси пилу, яка подавалась на пиловловлювач, вираженим у%;

2) опором повітрю ΔP ;

3) пилоємкістю $G_{\text{п}}$.

Коефіцієнт ефективності пиловловлення визначають за різними формулами, залежно від способу його визначення:

$$\eta = \left(1 - \frac{G_2}{G_1}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{G_1 - G_3}{G_1}\right) \cdot 100\% =$$

$$= \left(1 - \frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right) \cdot 100\% = \frac{G_3}{G_1} \cdot 100\% , \quad (2.7)$$

де G_1 - маса поданого пилу, кг,

G_2 - маса затриманого пилу, кг,

G_3 - маса пропущеного пилу, кг,

φ_1 - запиленість повітря на вході в пиловловлювач,

φ_2 - запиленість повітря на виході з нього.

Другим важливим показником, що характеризує пиловловлювач, є опір повітрю (ΔP). Дослідження показують, що кожні 1000 Па опору знижують потужність установки на 1,3% і збільшують питому витрату електроенергії на (0,3-0,5)%.

Пилоємкість пиловловлювача характеризує час роботи очищувача до обслуговування. Її визначають масою пилу, затриманої пиловловлювачем до граничного опору 7000 Па.

Зазначені характеристики не є величинами постійними. Вони є функціями таких параметрів:

- гранулометричного складу пилу - α_x ;
- швидкості руху повітря через пиловловлювач - V ;
- запиленості повітря, що надходить на пиловловлювач - φ ;
- роду пилу (хімічного складу, поверхні, електростатичних властивостей, форми частинок та ін) - S ;
- температури повітря - t^0 ;
- вологості повітря - W ;
- тиску повітря - P ;
- пульсацій повітря - h ;
- вібрацій пиловловлювача - f ;

Визначення в комплексі впливу кожного фактора достатньо складне. Тому для спрощення завдання ведуть випробування фільтрів на стендах на стандартних пилах і постійних умовах вологості й температури повітря.

2.6. Опис програмного комплексу FlowVision, який використовувався для побудови твердостійної моделі пиловловлювача із рухомим відокремлювачем

Програмний комплекс FlowVision вирішує тривимірні рівняння динаміки рідини і газу: рівняння Нав'є-Стокса (закони збереження маси та імпульсу) та рівняння переносу ентальпії (закон збереження енергії). Для розрахунку складних течій, супроводжуваних додатковими фізичними процесами (турбулентність, горіння, рух контактних кордонів, і т. д.), розв'язуються додаткові рівняння, що описують ці процеси. Сукупність усіх диференціальних рівнянь, рівнянь стану, початкових та граничних умов називається математичною моделлю.

Диференціальні рівняння апроксимуються на розрахунковій сітці із допущенням, що кожна клітинка є кінцевим об'ємом, у якому швидкості зміни фізичних величин збалансовані потоками цих величин через грані комірки. Рівняння Нав'є-Стокса вирішуються методом розщеплення на фізичні процеси, аналогічно проекційному методу MAC.

В основі FlowVision – новітні технології обчислювальної гідродинаміки та комп'ютерної графіки:

- прямокутна сітка з локальним подрібненням розрахункових осередків;
- апроксимація криволінійних границь розрахункової області методом підсіткової геометрії;
- імпорт геометрії з системи автоматизованого проектування або звичайно - елементної програми у вигляді поверхневої сітки (пов'язаних трикутників);
- мова програмування C ++;
- клієнт-серверна архітектура;
- досконалий користувальницький інтерфейс, написаний для операційних систем Windows і Linux;
- високоякісна графіка на основі OpenGL.

FlowVision є інтегрованою системою – препроцесор (частина програми, в якій створюється та редагується розрахунковий проект), блок розрахунку рівнянь і постпроцесор (частина програми, у якій аналізуються результати розрахунку), які

об'єднані і працюють одночасно. Це дозволяє користувачеві проводити моделювання і одночасно аналізувати результати, змінювати граничні умови і параметри математичної моделі. Цей комплекс був використаний нами для побудови твердостінної моделі пиловловлювача із рухомим відокремлювачем, яка детально описана у 4 розділі.

2.7. Висновки з розділу 2

Відповідно до мети дисертаційної роботи приведено загальну характеристику об'єкту та предмету досліджень. Проведено аналіз джерел екологічної небезпеки ливарного виробництва та розглянуто варіанти технічних заходів щодо мінімізації впливу цих джерел екологічної небезпеки ливарного виробництва на довкілля. Встановлено послідовність проведення теоретичних та експериментальних досліджень.

Наведено загальну характеристику матеріалів, які використовувались для дослідження формувальних сумішей та матеріалів, які використовувались для дослідження процесу пиловловлювання.

Наведено опис методики проведення досліджень властивостей формових сумішей та виготовлених із них зразків, зокрема, адаптованих до умов досліджень методик визначення залишкової міцності, вологості та газопроникності формувальних сумішей.

Детально описано методику проведення досліджень властивостей пилоочисного обладнання, зокрема, аспекти розробки, виготовлення та вдосконалення стенду для випробувань пиловловлювачів, методику визначення дисперсного складу пилу, методику досліджень пиловловлювачів на ефективність очищення. Детально описано порядок випробування пиловловлювачів на стенді.

Наведено опис програмного комплексу FlowVision, який використовувався для побудови твердостінної моделі пиловловлювача із рухомим відокремлювачем.

Результати, які наведені у цьому розділі, детально висвітлені в публікаціях [103, 105, 106, 108, 109, 116, 119 - 122, 124].

РОЗДІЛ 3

СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ УТВОРЕННЯ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ ЛИВАРНИХ ФОРМ

3.1. Вибір стратегії мінімізації утворення твердих відходів формувальних сумішей

Як впливає із літературного огляду, найбільш екологічно чистими, економічно вигідними та універсальними (застосовуються як для форм, так і для стрижнів, використовуються в процесі виробництва відливків з сталі, чавуну та кольорових сплавів і т. д.) сумішами є суміші на основі рідкого скла. Існуючі технології не дозволяють повною мірою одержувати екологічно чисті суміші на основі рідкого скла, які б легко вибивались та легко регенерувались. Застосування таких сумішей стримується їх поганою здатністю до вибивання з відливків та складністю регенерації. Введення ж в склад формувальних сумішей додаткових компонентів для регулювання їх властивостей пов'язано або із погіршенням екологічної обстановки, або із обмеженою ефективністю. Тому необхідний пошук нових рецептур формувальних сумішей із використанням у складі компонентів ефективних додатків, в тому числі відходів виробництв. Застосування для виготовлення формових та стрижневих сумішей додатку гідроалюмосилікатів із ступенем дегідратації (30 – 60)% [94], позитивно впливає на здатність до вибивання сумішей у процесі їх прогріву в широкому інтервалі температур (773... 1473 К) та виявляє позитивний вплив на екологічну обстановку в ливарних цехах. Завдяки хімічним реакціям, що протікають між додатком і рідким склом, утворюється кристалічна фаза, яка не спікається з зернами піску. Вона легко відділяється в пневмо-поличковому класифікаторі, забезпечуючи високу здатність до регенерації пісків, що використовуються [95].

У відомих композиціях на основі рідкого скла як структуроутворюючі компоненти застосовують термоактивований каолін або незначну частину доменного гранульованого шлаку, а в композиціях на основі алюмінату натрію – тонкомелений шамот. Однак термоактивований каолін потребує випалу за

температури 600-750°C і характеризується високою потребою у воді, що збільшує витрати рідкого скла, Na₂O і як наслідок вартість композиції. Отримані алюмосилікатні зразки на основі алюмінату натрію та тонкомеленого шамоту, а також кремнеземисті зразки на основі рідкого скла з низькою витратою доменного гранульованого шлаку (1-2% CaO - активного плавню) мають незначну міцність після твердіння за нормальних умов і в процесі пропарювання, що обмежує їх використання. Уникнути вказаних недоліків можна за умови використання як структуроутворюючого компонента шамот-каолінового пилу (ШКП) – пилу, який вловлюється електрофільтрами із вентиляційних газів обортових печей випалу кускового шамоту [96]. Саме цей компонент – шамот-каоліновий пил (ШКП) – і запропонований нами для використання в складі формувальної суміші як один із структуроутворюючих компонентів.

3.2. Дослідження механізму утворення формувальних сумішей із композицій, в склад яких входить рідке скло та шамот-каоліновий пил

Теоретичне та експериментальне обґрунтування механізму та кінетики процесів структуроутворення, які проходять за умови високотемпературного нагріву та охолодження піску та в'язучого на основі хімічно активних каолініту та рідкого скла, має важливе практичне значення в технології ливарного виробництва, де недостатньо вивченою залишається проблема зниження міцності відпрацьованих екологічно чистих формувальних сумішей на основі рідкого скла та кварцового піску [47, 97, 98]. Ми вивчали ефекти, які виникають у формовій суміші під дією ШКП, який містить каолініт і α -кварц із домішками муліту, гідрослюди та монтморилоніту. Економічні переваги введення в склад композиції ШКП у порівнянні з добавками такого ж типу (лужний цемент, каоліни сухого збагачення і т.п. [97, 98] полягають у тому, що ШКП – багатотонажний малоцінний відхід ряду українських виробництв.

Для встановлення термодинамічної ймовірності протікання хімічних процесів у досліджуваній системі використовували схему проведення розрахунку $\Delta G=f(\Delta T)$ реакцій методом інтегрування рівняння

$$\Delta G = \Delta H_p + \left(\frac{d\Delta G}{dT} \right) P \quad (3.1),$$

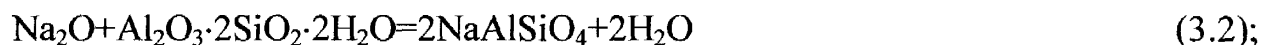
де G - ізобарно-ізотермічний потенціал, кДж/моль;

H - ентальпія, кДж/моль

T - температура, К;

P - тиск, МПа;

Аналізувались такі реакції, які можуть проходити в системі [95]:



На рис.3.1 представлені розраховані нами зміни ізобарно-ізотермічного потенціалу для реакцій, які протікають із утворенням нефеліну NaAlSiO_4 . Із цих залежностей випливає, що утворення в системі алюмосилікатів натрію можливе як через проміжний продукт – алюмінат натрію (реакції 3.3, 3.4), так і в результаті прямого синтезу із Na_2O і каолініту (реакція 3.2). Але ці реакції допускають вміст Na_2O як самостійної речовини без зв'язку із SiO_2 . В іншому випадку утворення нефеліну стає термодинамічно вигідним лише для температури, вище 1000 К (реакція 3.4).

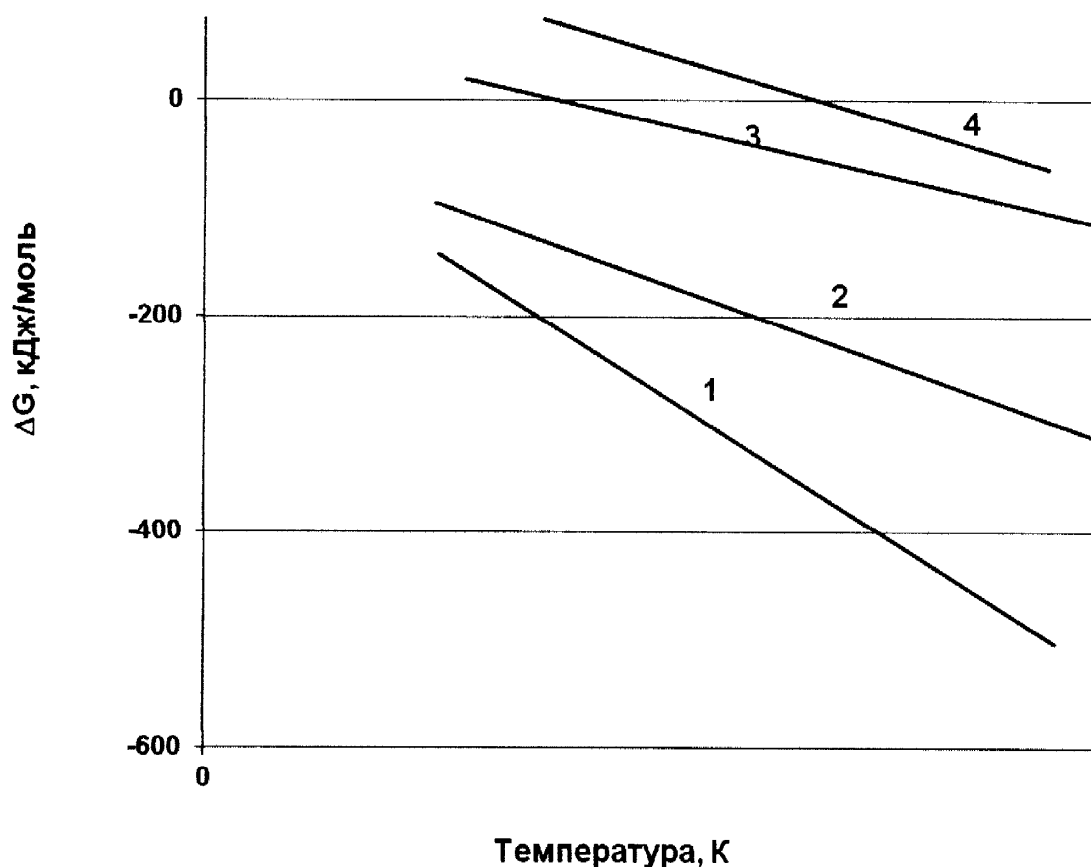
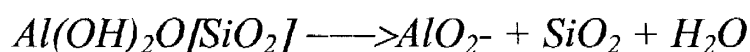
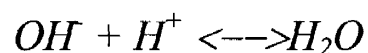
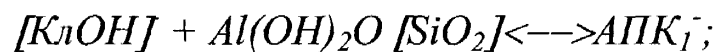
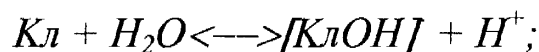
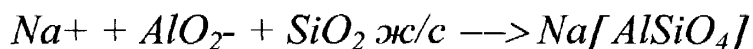
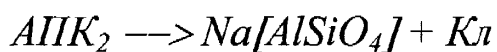
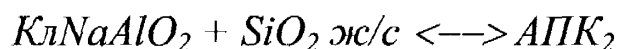
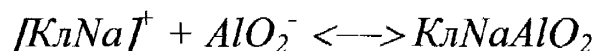
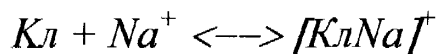


Рисунок 3.1 - Ізобарно-ізотермічний потенціал ΔG для реакцій 3.2 (1), 3.3 (2), 3.4 (3), 3.5 (4), які проходять в системі в залежності від температури.

Поверхні вихідних речовин (каолініт та рідке скло) реакційноздатні через присутність в них активних центрів. ОН-групи каолініту мають здатність рухатись через вміст на їх поверхні ненасиченого Al^{+3} у шестирній координації $[Al(O,OH)_6]$. Між частинками каолініту і гелем кремнієвої кислоти, який виділяється в процесі затвердіння суміші, утворюється активний проміжний комплекс $[-O-Al-O-]$, що зберігається в молекулах алюмінатів і алюмосилікатів натрію:



Іони Na^+ зв'язують AlO_2^- з утворенням алюмінатів натрію, а наявність у системі кремнегелю забезпечує можливість синтезу алюмосилікатів натрію типу нефеліну, що здійснюється за такою схемою:



Утворення в системі алюмосилікатів натрію (температура плавлення нефеліну - 1796 К), зсуває утворення рідкої фази в системі в область більш високих температур (більших 1500 К), і як наслідок спікання суміші не відбувається, зразок легко руйнується.

Таким чином, дія ШКП призводить до утворення тугоплавких сполук у досліджуваній структурі, які сприяють зниженню залишкової міцності формувальної суміші не тільки для температур синтезу алюмосилікатів натрію (більше 1073 К), але і в інтервалі температур (773...1073 К). Ця дія зумовлена дегідратацією каолініту та кремнегелю в інтервалі температур 723.....823 К, що

призводить до руйнування скловидних плівок контактних манжет. Залишкова міцність суміші дорівнює нулю в широкому інтервалі температур (773....1473 К).

3.3. Дослідження кінетики структуроутворення у формувальних сумішах на основі рідкого скла та ШКП

Експериментальну кінетику процесів спікання формувальних сумішей вивчали в інтервалі температур 293-1723 К протягом 10, 15, 20, 30 і 40 хв. згідно з методикою, детально описаною в розділі 2.2. Склад в'язучого брали з постійним мольним співвідношенням оксидів Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 і H_2O .

Залишкова міцність зразків формувальних сумішей на основі рідкого скла без вмісту ШКП залежно від температури їх попереднього прогріву відображається кривими з двома максимумами і двома мінімумами [97, 98]. Введення в склад формувальної суміші ШКП зміщує другий максимум в сторону більш високих температур (рис.3.2), що свідчить про значні зміни механізму структуроутворення, ймовірно, на всіх його стадіях, яких ми виділили чотири.

Стадія 1 – “холодне” формування (293-473 К). Кінетика твердіння формувальної суміші задовольняє вимогам технології ливарного виробництва. Важливим є те [97], що в присутності каолініту з його незначною здатністю до набухання, розмокання, малою пластичністю та деякою зв'язувальною здатністю в системі утворюються формоутворюючі гелі ренгеноаморфних висококремнеземистих алюмонатрієвих гідросилікатів $(\text{Al}_2\text{O}_3; m\text{SiO}_2; k\text{Na}_2\text{O})\text{H}_2\text{O}$. У результаті досліджень [95] встановлено, що між зернами піску та плівкою в'язучого утворюється щільна границя, хоч і спостерігаються одиночні пори розміром 10-50 мкм. У цілому початкова міцність сумішей, у склад яких входить ШКП, вища міцності “звичайних” формувальних сумішей (рис.3.2).

Стадія 2 – фізико-хімічне зниження міцності суміші (473-973 К). Зниження міцності суміші зумовлюється фазовими переходами кварцу (розклинююча дія на зерна піску) та дегідратацією новоутворень (руйнування вибухового характеру); скловидна плівка контактних манжет частково знижує міцність. Як впливає із даних ренгенофазового аналізу [95], β - α -кварц і α -кварц β -кристобаліт – переходи

відіграють певну роль у зниженні міцності зразків. За температури 746 К сумарний об'ємний ефект розширення суміші досягає +15,4%. Дослідні дані (рис.3.2) підтверджують також помітний вплив вільної води; міцність вологих стандартних зразків нижче міцності зразків, висушених до постійної маси. Висока специфічна властивість ШКП знижувати міцність зразків на цій стадії зумовлюється, мабуть, дегідратацією каолініту, яка отримує інтенсивний розвиток за 723-823 К, що призводить до практично повного руйнування зразків, які прожарюються.

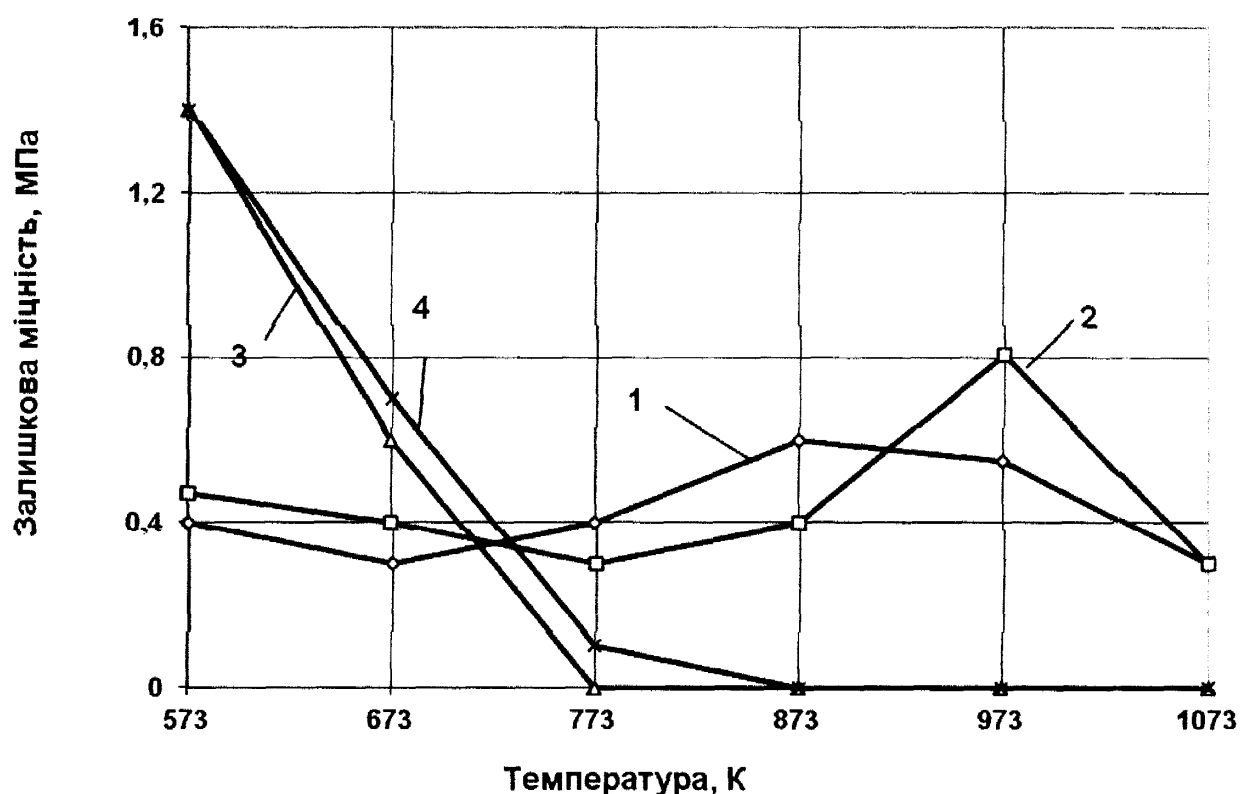


Рисунок 3.2 - Залишкова міцність швидко охолоджених зразків, прокалених на протязі 10 хв.: 1, 3-час сушіння 40 хв.; 2, 4-сушіння до постійної маси; 1, 2-суміш на основі рідкого скла; 3, 4-суміш на основі композиції рідкого скла та ШКП

Стадія 3 – "нефеліноутворення" (873-1527 К). Розплавлення силікатів натрію викликає звичайно "заліковування" пор та новоутворень (тріщин, каверн, глобул), які формуються на попередніх стадіях [97, 98]; появляється другий максимум міцності і до 1500-1600 К формується міцний моноліт із піску та силікатного скла.

За присутності ШКП “заліковування” мікроротріщин довго не проходить внаслідок витрати розплаву на синтез нефеліну [95]. Пластинчаті субмікрокристали, накладені один на один, які знайдені в розжарених зразках [95], можуть бути зв’язані своїм походженням або з нефеліном, або з алюмінатом натрію:

Утворення цих термодинамічно стійких сполук (для реакції (1) $\Delta Z = -440$ кДж/моль) і є додатковою причиною вторинної втрати міцності РСС (кристалізаційний тиск). Прямий синтез нефеліну кінетично неможливий через складності глибокої перебудови решіток реагентів [99]. Перетворення проходить через стадію активного проміжного комплексу (АПК) мостикового типу, де здійснюється досить ефективна протонна провідність.

Таким чином, проходить виділення структурного елемента $[O-Al-O]$, який зберігається в молекулах алюмінатів, нефеліну та AlO_2 . Остання представляє собою фрагмент молекули $Al_2O_2:Al^+[O-Al-O]$.

Стадія 4 – фазові перетворення продуктів реакції за умов нагріву і охолодження суміші (1200К-1700К і 1700К-500К). При високих температурах інтенсивність процесів структуроутворення визначається швидкістю зміни нефеліну та муліту, оскільки каолініт у певних кількостях витрачався на утворення саме цих продуктів. Вказані фазові переходи достатньо повно вивчені в [99] і супроводжуються частими змінами об’єму твердої фази, розвитком внутрішніх напружень та руйнуванням в’язучого композиції. Менш вивчена кінетика кристалізації та перекристалізації продуктів із розплавів (одна із причин зниження міцності лужно-алюмосилікатного каменю). Ця проблема важлива, оскільки встановлено [98], що ефективними є добавки, які знижують міцність, що містять як і нефелін безкінечні трьохмірні каркасні решітки. Щодо своєї надмолекулярної структури, то ці речовини подібні до неорганічних полімерів.

Для підтвердження висловлених припущень щодо утворення нової фази – нефеліну – для зразків суміші різного складу проводили рентгенофазовий аналіз. У склад суміші входили ШКП, рідке скло та кварцовий пісок. З ціллю більш детального вивчення структуроутворення проводили дифрактометричний аналіз

зразків суміші без наповнювача, але із збереженням співвідношення (1:1) між рідким склом та ШКП. Це було пов'язано із тим, що за значного вмісту в суміші кварцу його піки своєю інтенсивністю могли б заважати ідентифікації в системі незначної кількості нової фази. Перед дослідженням суміші прожарювали за температур 473К, 673К, 873К та 1073К, результати представлені на рис.3.3.

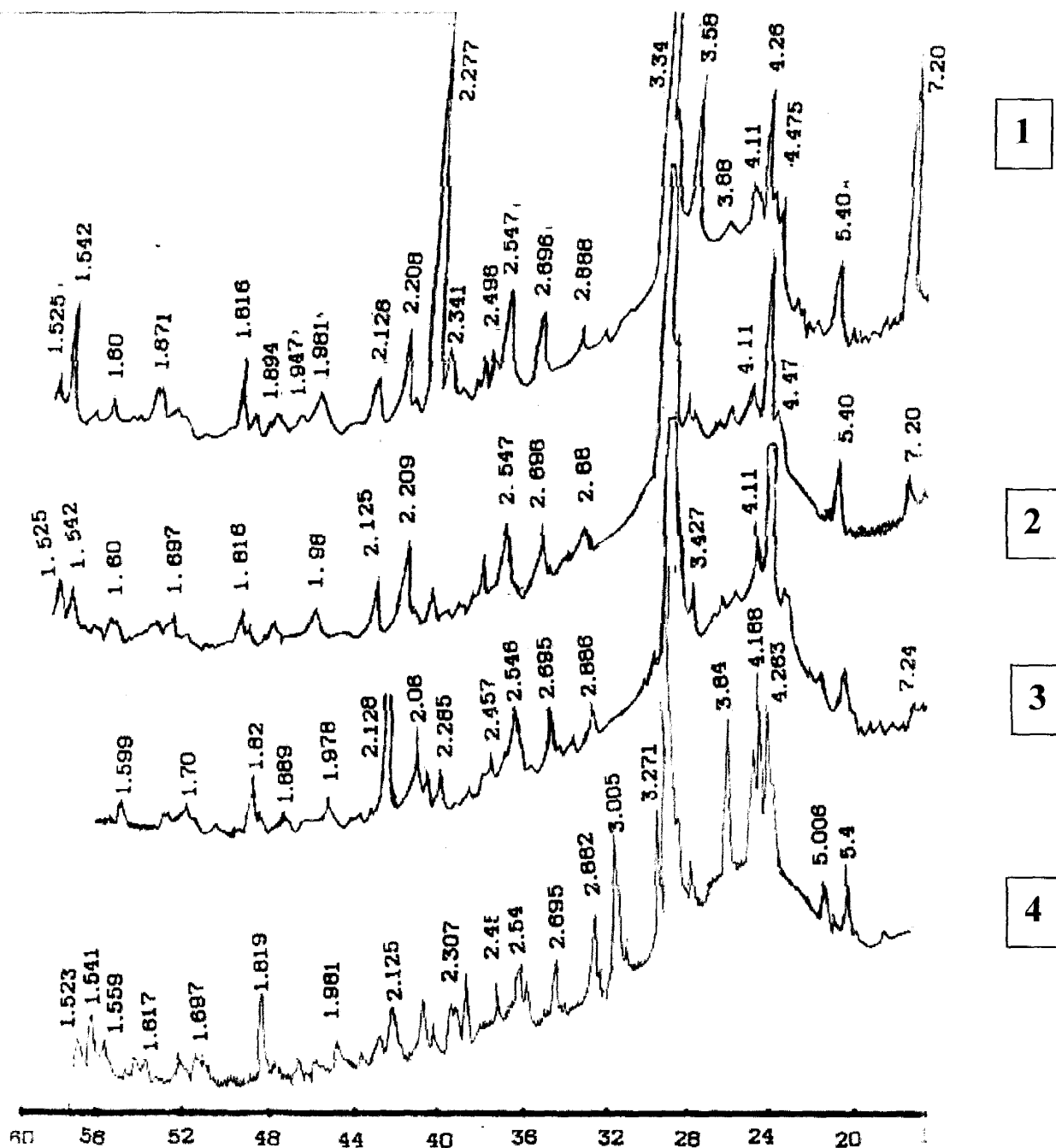


Рисунок 3.3 - Рентгенограми зразків суміші, що складається із рідкого скла та ШКП, прокалені за температури 473К (1); 673К (2); 873К (3) та 1073К (4).

На дифрактограмах, отриманих за температур 473К та 673К спостерігаються піки β - кварцу ($d/n = 4,26; 3,34; 2,27; 2,126; 1,98; 1,82; 1,67; 1,54; 1,38 \text{ \AA}$), каолініту ($d/n = 7,2; 4,47; 4,36; 4,10; 3,573; 3,343; 2,495; 2,341; 1,947; 1,894; 1,668; 1,54 \text{ \AA}$) та муліту ($d/n = 5,4; 3,34; 2,88; 2,696; 2,547; 2,28; 2,207; 2,129; 1,699; 1,54 \text{ \AA}$). Каолініт та муліт входять до складу ШКП. З підвищенням температури піки каолініту зникають, а при температурі 1073 К появляються піки нефеліну ($d/n = 5,006; 4,263; 4,168; 3,84; 3,271; 3,005; 2,882; 2,307; 1,981; 1,697; 1,617; 1,559 \text{ \AA}$).

3.4. Встановлення оптимального складу композиції на основі рідкого скла та ШКП

З ціллю встановлення оптимального складу формувальних сумішей на основі рідкого скла та ШКП проведено дослідження технологічних властивостей цих сумішей з ціллю досягнення низької залишкової міцності. У процесі цих досліджень згідно із методикою, описаною в п.2.2, вивчено вплив процентного вмісту ШКП та ступеня її дегідратації на технологічні характеристики суміші. Дані досліджень представлені в табл.3.1.

Таблиця 3.1 - Встановлення оптимального складу формової суміші

Властивості	Показникові вимоги	Вміст ШКП в суміші, %				
		4,0	5,0			6,5
			Ступінь дегідратації, %			
			15	30	60	
Вологість, %	3,5÷4,5	2,3	2,4	3,6	3,8	3,8
Газопроникнення, умовн.од.	>170	193	205	212	243	176
$\sigma_{\text{сух}}$	0,015÷0,025	0,013	0,027	0,024	0,017	0,023
$\sigma_{\text{прод}}$	0,5÷0,8	0,38	0,54	0,56	0,64	0,74
$\sigma_{\text{суш}}$	3÷6	2,04	3,12	3,82	5,12	5,84

* $\sigma_{\text{сух}}$ -міцність на стиск в сухому стані, МПа; $\sigma_{\text{прод}}$ -міцність на стиск після продувки CO_2 , МПа; $\sigma_{\text{суш}}$ -міцність на стиск після сушіння, МПа.

Аналізуючи таблицю 3.1 (зафарбованими є комірки, показники яких відповідають нормативним), можна зазначити, що комплексні нормативні показники можуть бути забезпечені у випадку використання ШКП у формувальній композиції в кількості 5% (ступінь дегідратації 30-60%) та в кількості 6,5%. Проте у випадку використання формувальної композиції, у якій вміст ШКП становить 6,5%, близькою до критичної є газопроникність, що викликає небезпеку зменшення її до значення нижче критичної за умови недотримання рецептури. Тому приймаємо за оптимальний вміст ШПК у формувальній суміші 5% із ступенем дегідратації 30-60%.

Параметром, який складно піддається регулюванню (що характерно для всіх типів промислових відходів), є ступінь дегідратації. Оскільки ШКП є сумішню пилу різного складу та різної морфології структурних перетворень, які проходять у процесі випалу шамоту, на нашу думку, регулювати необхідну ступінь дегідратації ШПК, який направляється на виготовлення ливарних форм, можна шляхом контролю ступеня дегідратації сформованої партії та дозування (у разі необхідності) у цю партію ШКП необхідної кількості шамотного пилу (ступінь дегідратації якого близький 100%) з ціллю досягнення необхідних показників дегідратації ШКП – 30-60%.

Позитивною властивістю досліджуваних сумішей є їх низька залишкова міцність і як наслідок зменшення трудозатрат на вибивку і гідровідмивку відпрацьованих форм і стержнів.

3.5. Розроблення технологічної схеми отримання та регенерації формувальних сумішей на основі рідкого скла та ШКП

Згідно з результатами описаних вище досліджень для виробництва ливарних форм рекомендується суміш такого складу: пісок – 89%; ШКП – 5% (ступінь дегідратації 30-60%); рідке скло – 5%; гідроксид натрію – 1%.

Принципова технологічна схема отримання та регенерації такої формувальної суміші приведена на рис.3.4. Відповідно до принципової технологічної схеми формувальна суміш підлягає попередньому дробленню кусків на валкових

дробарках 1, після чого поступає в бункер 2. Очищення від металічних включень проходить з допомогою магнітних сепараторів 3.

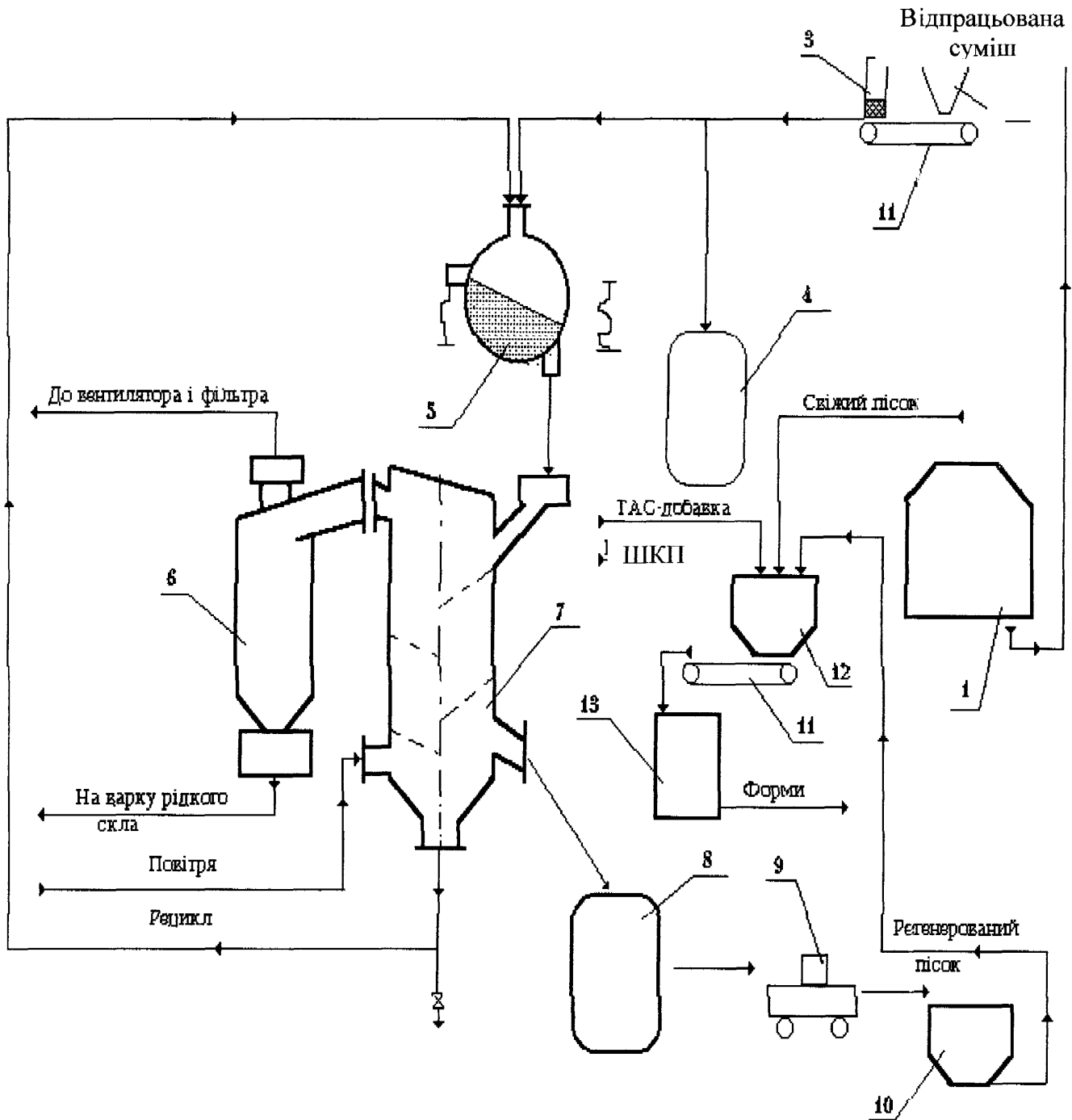


Рисунок 3.4 - Технологічна схема регенерації відпрацьованих ливарних форм: 1 – валкова дробарка, 2, 10, 12 – бункер, 3 – магнітний сепаратор, 4, 8 – площадка для зберігання сипучих матеріалів, 5 – вібромлин, 6, 7 – гравітаційний поличковий пневмокласифікатор, 9 – навантажувач, 11 – живильник, 13 – ділянка ливарних форм.

Після кінцевого подрібнення (до необхідного ступеня подрібнення) на вібромліні 5 суміш поступає в гравітаційний поличковий класифікатор 7, у якому проходить пневмокласифікація суміші, яка регенерується, на три фракції: складова рідкого скла (вертається на варку рідкого скла), основна фракція та рецикл. Очищений продукт поступає на площадку 8 для збереження сипучих матеріалів, звідки з допомогою навантажувача 9 через бункер 10 – на вузол приготування формових та стержневих сумішей 13. Розроблена схема має такі переваги:

- маловідходність;
- регенерація складової, яка містить рідке скло;
- різке зменшення енергозатрат на вибивку та подрібнення відпрацьованої суміші.

Розроблено технологічну схему отримання екологічно чистих формувальних сумішей, які містять у своєму складі рідке скло та ШКП, рецептуру формувальної суміші легкої регенерації, а також схему регенерації відпрацьованих форм передано для впровадження на ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА», (сmt Калинівка Васильківського р-ну Київської обл.).

3.5. Висновки з розділу 3

1. Розроблено технологію екологічно чистих формувальних сумішей з покращеною здатністю до вибивання та високою здатністю до регенерації з застосуванням як добавки відходів виробництв вогнетривів – шамот-каолінового пилу.
2. У результаті вивчення термодинаміки утворення алюмолісікатів натрію в формувальній суміші на основі рідкого скла та ШКП встановлено, що в інтервалі температур 1073-1473 К можливе утворення нефеліну, присутність нефеліну в системі після її прокалювання підтверджена даними рентгеноструктурного аналізу.
3. Обґрунтовано механізм структурних перетворень в досліджуваній суміші та впливу їх на характеристики міцності, що підтверджено даними термодинамічних розрахунків.

4. Встановлено оптимальний склад формувальної суміші на основі рідкого скла та ШКП: пісок – 89%; рідке скло – 5%; ШКП – 5% (ступінь дегідратації 30-60%); гідроксид натрію – 1%.
5. У результаті досліджень залишкової міцності та фізико-хімічних характеристик суміші, яка спікається, запропоновано механізм твердіння суміші, згідно із яким в інтервалі температур 833-873 К проходить дегідратація ШКП, а в інтервалі 1073-1473 К – утворення тугоплавкого алюмосилікату натрію – нефеліну, що призводить до зменшення міцності суміші в широкому інтервалі температур (833-1473 К).
6. Розроблено схему сухої регенерації формової суміші, що містить ШКП, яка дозволяє використовувати компоненти суміші в технологічних цілях.

Експериментальні та теоретичні результати, які наведені у цьому розділі, детально висвітлені в публікаціях [100 - 102].

РОЗДІЛ 4

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ЗАПИЛЕНОГО ПОТОКУ В ВІДЦЕНТРОВО-ІНЕРЦІЙНИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧАХ ІЗ РУХОМИМ ЖАЛЮЗІЙНИМ ВІДОКРЕМЛЮВАЧЕМ

Як випливає із розділів 1 та 2, забруднення відходячих газів ливарних виробництв характеризується великою кількістю дрібнодисперсних частинок сполук металів, які конденсуються у газовій фазі в процесі виготовлення литва. Від таких субмікронних частинок газу не можуть бути очищені у пилоочисних апаратах, які використовуються традиційно: ефективність очищення надто мала, а вплив субмікронних частинок металів на людину та навколишнє середовище значний. Для забезпечення екологічної безпеки ливарних виробництв необхідне розроблення і впровадження нового пилоочисного обладнання, яке б забезпечувало уловлення дрібнодисперсних частинок. Виходячи із проведеного аналізу, наведеного в 1 розділі, можна констатувати, що таким пилоочисним обладнанням можуть бути відцентрово-інерційні пиловловлювачі з рухомим жалюзійним відокремлювачем оскільки в таких апаратах практично може здійснюватись чотирьохступеневе очищення повітря від пилу:

1 Ступінь. Відцентрове очищення пилоповітряного потоку після входу його в апарат проводиться під дією відцентрових сил відомим способом аналогічно циклону.

2 Ступінь. Розташування жалюзійного відокремлювача коаксійно осі корпусу апарату, забезпечує додаткове очищення.

3 Ступінь. Додаткове очищення забезпечується певною формою жалюзі відокремлювача.

4 Ступінь. Додаткове доочищення повітря від дрібнодисперсного пилу забезпечується певним чином організованим обертанням жалюзійного відокремлювача.

На нашу думку, організація такого чотирьохступінчатого процесу очищення забезпечить уловлювання дрібнодисперсних частинок сконденсованих розплавів та

сполук металів і відповідно дозволить забезпечити екологічну безпеку ливарних виробництв.

Для встановлення особливостей апарату, у якому реалізувався б описаний вище спосіб очищення, встановлення характеру руху запилених потоків у ньому, вивчення особливостей пиловловлювання в різних зонах апарату, встановлення залежності зміни гідравлічного опору в апараті від його конструктивних особливостей та режимів роботи, необхідно було провести математичне моделювання роботи апарату. Тому було здійснено постановку завдання про рух двофазного потоку в пиловловлювачі нової конструкції і здійснено його числову реалізацію. Відомо, що числовий аналіз процесів динаміки можна здійснювати в тому випадку, коли закони, які описують процеси руху, виражені у математичній формі, як правило у вигляді диференціальних рівнянь. Кожне із таких рівнянь описує певний закон збереження, у якому змінною є деяка фізична величина, яка відображає баланс між різними факторами, що мають вплив на цю змінну. Зазвичай залежними змінними в таких диференціальних рівняннях є питомі властивості, тобто властивості, які відносяться до одиниці маси. Члени диференціального рівняння такого типу виражають дію на одиницю об'єму.

Постановка завдання про рух повітряного потоку в апараті включала такі основні кроки:

1. Опис загальних допущень, граничних та початкових умов.
2. Математичну модель руху повітряних потоків у апараті з урахуванням моделі турбуленції.
3. Математичну модель руху твердої фази (частинок пилу) в апараті.
4. Вибір методу розв'язування та його реалізацію.
5. Метод визначення ефективності процесу очищення потоку від частинок пилу.

4.1. Прийняті допущення, граничні та початкові умови

Для коректного опису процесу сепарації частинок пилу в пиловловлювачі запропонованої конструкції були прийняті певні допущення, які з одного боку

наближають математичну модель до конкретних умов функціонування апарату, а з іншого – запобігають надмірному ускладненню моделі.

Для дослідження двофазного потоку в розробленій конструкції пиловловлювача для розрахунку були прийняті такі допущення:

- частинки пилу є твердими і не взаємодіють між собою;
- на вході в апарат потік має рівномірне поле швидкості;
- опір рухові частинок у газовому середовищі описується законом Стокса;
- тангенціальна та осьова складові швидкості частинки співпадають із тангенціальною та осьовою складовими швидкості обертання газового потоку, відповідно радіальні швидкості внаслідок дії сил інерції є різними.

Для того, щоб розв'язок задачі про рух повітряних потоків був єдиним, потрібно задати початкові та граничні умови, які своєю чергою визначаються формою та конструктивними особливостями пиловловлювача та умовами його роботи, тобто для кожного типу пиловловлювача існує свій набір початкових та граничних умов.

Початковими умовами для досліджуваного типу апарату є характеристики повітряного середовища і характеристики пилу:

- атмосферний тиск за нормальних умов $p_0 = 101325$ Па;
- температура повітря за нормальних умов $T_0 = 293$ К;
- густина повітря $\rho_v = 1,293$ кг/м³;
- середній (медіанний) діаметр частинок пилу $d_{50} = (5-30) \cdot 10^{-6}$ м;
- максимальний діаметр частинок пилу $d_{\max} = 50 \cdot 10^{-6}$ м;
- густина частинок пилу $\rho_{\text{ч}} = 2000-4000$ кг/м³.

Граничні умови накладаються на розв'язок задачі про рух потоку і повинні виконуватися в кожен момент часу цього руху. Крім того, граничні умови визначаються характером руху повітря на граничній поверхні. Граничні умови задати важче, оскільки вони залежать від форми пиловловлювача, особливостей його функціонування, а також від густини газу. Газ великої густини „прилипає” до

стінок пиловловлювача в той час, як розріджений газ ковзає по граничних поверхнях.

Проте, незважаючи на особливості процесу, є певні закономірності, які дозволяють задати такі граничні умови моделі:

- швидкості на нерухомій твердій границі дорівнюють нулю;
- швидкість пилоповітряного потоку на вході в пиловловлювач стабільна і дорівнює 18 м/с.

4.2. Моделювання руху повітряних потоків у відцентрово-інерційних пиловловлювачах

Рух повітряних потоків у циклоні будемо розглядати на основі системи рівнянь в'язкої рідини, яка має вигляд:

$$\operatorname{div} \mathbf{v} = 0.$$

$$\frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \operatorname{grad} p + \nu \Delta \mathbf{v}.$$

Будемо вважати течію одномірною, якщо швидкості паралельні деякому напрямку в просторі, у точках площини, перпендикулярної цьому напрямку, гідродинамічні величини можуть приймати різні значення. Виберемо напрям руху за напрямом осі x . Тоді

$$v_y = v_z = 0. \tag{4.1}$$

Випишемо систему рівнянь в'язкої рідини, враховуючи (4.1):

$$\frac{dv_x}{dx} = 0 \tag{4.2},$$

$$\frac{dv_x}{dt} + v_x \frac{dv_x}{dx} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} + v \left(\frac{d^2 v_x}{dx^2} + \frac{d^2 v_x}{dy^2} + \frac{d^2 v_x}{dz^2} \right) \quad (4.3),$$

$$\frac{dp}{dy} = 0, \quad \frac{dp}{dz} = 0 \quad (4.4).$$

Залежність (4.2) свідчить, що v_x не залежить від x , а (4.4) – що p не залежить від y і z , тобто

$$v_x = v_x(y, z, t) \quad (4.5),$$

$$p = p(x, t) \quad (4.6).$$

Враховуючи (4.5), перепишемо рівняння (4.3) таким чином:

$$\frac{dv_x}{dt} - v \left(\frac{d^2 v_x}{dy^2} + \frac{d^2 v_x}{dz^2} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} \quad (4.7).$$

Ліва частина (4.7) не залежить від x , отже, dp/dx може залежати тільки від часу:

$$\frac{dp}{dx} = f(t), \quad p = f(t)x + f_1(t) \quad (4.8).$$

Таким чином, в одномірному русі тиск є лінійною функцією x . Функції $f(t)$ і $f_1(t)$ можуть бути знайдені, якщо в двох перетинах x_1 і x_2 задано тиск p , а точніше

$$p(x_1, t) = f_1(t), \quad p(x_2, t) = f_2(t).$$

Тоді

$$\frac{dp}{dx} = \frac{f_2(t) - f_1(t)}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (4.9).$$

Для заданого перепаду тисків швидкість знаходимо із рівняння (4.7):

$$p \frac{dv_x}{dt} = \mu \left(\frac{d^2 v_x}{dy^2} + \frac{d^2 v_x}{dz^2} \right) - \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (4.10).$$

Рівняння (4.10) за структурою аналогічне рівнянню теплопровідності. Неоднорідне рівняння (4.10) може бути зведене до однорідного заміною

$$v_x = \tilde{v}_x - \frac{1}{p_0} \int f(t) dt.$$

Для пошуку розв'язків рівняння (4.10) повинні бути задані початкові та граничні умови. Одномірні рухи можуть виконуватись у випадку течії потоку в циліндричних трубах (або поза ними). Тому граничні умови записуються на контурах l_k , які отримуємо січенням циліндра площиною $x = \text{const}$:

$$v_x|_{l_k} = u_k(t) \quad (4.11).$$

Тут $u_k(t)$ – швидкість точок контуру. Початкові умови мають вигляд

$$v_x|_{t=t_0} = F(y, z) \quad (4.12).$$

Задача спрощується, якщо течія усталена. У цьому випадку перепад тисків постійний і рівняння (4.10) зводиться до рівняння Пуассона

$$\mu \left(\frac{d^2 v_x}{dy^2} + \frac{d^2 v_x}{dz^2} \right) = \frac{\Delta p}{\Delta x} \quad (4.13).$$

Граничні умови мають вигляд:

$$v_x|_{l_k} = u_k \quad (4.14).$$

У найбільш загальному випадку швидкість $v_x|_{l_k}$ може залежати від точок контуру $v_x|_{l_k} = v_x(t, M)$.

Особливий випадок течії представляє безнапірний рух рідини, коли $\frac{dp}{dx} = 0$, $p = const$. У цьому випадку замість (4.10) маємо рівняння

$$\frac{dv_x}{dt} = \nu \left(\frac{d^2 v_x}{dy^2} + \frac{d^2 v_x}{dz^2} \right).$$

Якщо рух встановлений, швидкість знаходиться як вирішення рівняння Лапласа

$$\frac{d^2 v_x}{dy^2} + \frac{d^2 v_x}{dz^2} = 0 \quad (4.15),$$

задовольняючи граничні умови (4.14).

Задача (4.15), (4.14) (u_k постійні на контурах l_k) еквівалентна задачі про знаходження функції течії φ у плоских течіях ідеальної нестисливої рідини

$$\frac{d^2\varphi}{dy^2} + \frac{d^2\varphi}{dz^2} \quad \varphi|_{l_k} = u_k.$$

Звідси випливає, зокрема, що для вирішення задачі (4.15), (4.14) можна використовувати метод конформних відображень. Нескладно показати, що сила f_k , яка діє на контур l_k у в'язкій рідині, виражається через циркуляцію Γ відповідної течії ідеальної рідини.

$$f_k = \int_k \tau_{nx} dS = \mu \oint_{l_r} \frac{dv_x}{dn} dS = \mu \oint \frac{d\varphi}{dn} dS = \mu \Gamma.$$

Рух повітряного потоку в пиловловлювачі нової конструкції можна представити як рух потоку між двома нескінченно довгими круговими циліндрами зі спільною віссю з радіусами R_1 та R_2 за відсутності масових сил (рис. 4.1.)

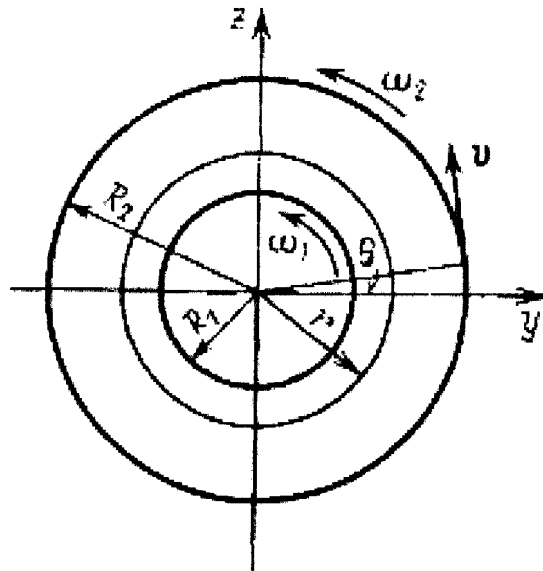


Рисунок 4.1 - Схема руху повітряного потоку в пиловловлювачі.

Спрямуємо вісь x вздовж осі циліндрів. Припустимо, що внутрішній циліндр обертається з кутовою швидкістю ω_1 , а зовнішній – зі швидкістю ω_2 . Для розв’язання задачі зручно ввести циліндричні координати r, θ, x і записати в цих координатах систему рівнянь в’язкої рідини. Для цього потрібно знайти вирази $\operatorname{div} v, \frac{dv}{dt}, \operatorname{grad} p, \Delta v$ у цій системі координат. Природно допускати, що швидкість спрямована дотичною до кола $r = \text{const}$ і залежить, так як і тиск, тільки від r , тобто $v_x = v_r = 0, v_\theta = v(r), p = p(r)$. Отримана система рівнянь може бути застосована до даної задачі, коли рух встановлений, приймає простий вигляд і дозволяє відразу отримати розв’язок задачі у вигляді

$$v_\theta = C_1 r + \frac{C_2}{r}, p = p_1 + \int_{R_1}^r \frac{v^2(r)}{r} dr$$

Сталі C_1 і C_2 визначаються з граничних умов. Але для розв’язання цієї задачі використаємо інший шлях.

Щоб знайти залежності $v = v(r)$ запишемо закон збереження моменту кількості руху в шарі $R_1^2 \leq y^2 + z^2 \leq r^2, r < R_2$ (рис. 4.1). Нехай M – момент сил, які діють на цей шар. Оскільки потік плоский, вектор M спрямований по осі x . Оскільки рух стаціонарний, маємо рівність $M=0$. Очевидно, що $M=M_I+M_r$, де M_I – момент сил, які діють на внутрішній циліндр, M_r – момент сил в’язкого тертя, які прикладені до циліндра радіуса r . Величина цього вектора

$$M_r = \int_0^{2\pi} r(\tau_{r\theta} r d\theta) = r^2 \int_0^{2\pi} \tau_{r\theta} r d\theta$$

Тут $\tau_{r\theta}$ – проекція на вісь θ (тобто на напрям v) напруги, що діє на частинку з нормаллю r . При наших допущеннях воно залежить тільки від r , тому $M_r = \tau_{r\theta} 2\pi r^2$.

Таким чином, закон збереження моменту дає рівність

$$\tau_{r\theta} 2\pi r^2 + M_r = 0 \quad (4.16).$$

Нехай кут θ відкладений від осі y . Очевидно, що $\tau_{r\theta}|_{\theta=0} = \tau_{yz}|_{z=0}$.

Оскільки $\tau_{r\theta}$ не залежить від θ останнє співвідношення справедливе для всіх θ . Таким чином,

$$\tau_{r\theta} = \tau_{yz}|_{z=0} = \mu \left(\frac{\partial v_y}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \right) \Bigg|_{z=0} \quad (4.17).$$

Звідси маємо $v_y = -v \sin \theta = -v \frac{z}{r}$, $v_z = v \cos \theta = v \frac{y}{r}$ і

$$\frac{\partial v_y}{\partial z} \Bigg|_{z=0} = \frac{\partial}{\partial z} \left(-v \frac{z}{r} \right) \Bigg|_{z=0} = -\frac{v}{r}, \quad (4.18).$$

$$\frac{\partial v_z}{\partial y} \Bigg|_{z=0} = \frac{v}{r} + \frac{d}{dr} \frac{y^2}{r} \Bigg|_{z=0} = \frac{v}{r} + r \left(\frac{dv}{dr} \frac{1}{r} \right).$$

Використовуючи ці рівності, на основі (4.18) отримаємо

$$\tau_{r\theta} = \mu r \frac{d}{dr} \left(\frac{v}{r} \right) \quad (4.19).$$

Підставляючи (4.19) в (4.16), отримаємо рівняння для знаходження v :

$$M_1 + 2\pi r^3 \mu \frac{d}{dr} \left(\frac{v}{r} \right) = 0 \quad (4.20).$$

Загальний розв'язок цього рівняння виражається формулою:

$$v = C_1 r + \frac{C_2}{r} \quad (4.21),$$

де $C_2 = \frac{M_1}{4\pi\mu}$. Сталі C_1 та C_2 визначаються з граничних умов

$$v|_{r=R_1} = \omega_1 R_1, \quad v|_{r=R_2} = \omega_2 R_2 \quad (4.22),$$

або більш точніше

$$C_1 R_1 + \frac{C_2}{R_1} = \omega_1 R_1, \quad C_1 R_2 + \frac{C_2}{R_2} = \omega_2 R_2 \quad (4.23).$$

Розв'язуючи систему (4.8), отримаємо

$$C_1 = \frac{\omega_1 R_1^2 - \omega_2 R_2^2}{R_1^2 - R_2^2}, \quad C_2 = \frac{R_1^2 R_2^2 (\omega_2 - \omega_1)}{R_1^2 - R_2^2} \quad (4.24).$$

Таким чином, розподіл швидкостей між циліндрами із спільною віссю задається формулою

$$v = \frac{\omega_1 R_1^2 - \omega_2 R_2^2}{R_1^2 - R_2^2} r + \frac{R_1^2 R_2^2 (\omega_2 - \omega_1)}{R_1^2 - R_2^2} \frac{1}{r} \quad (4.25).$$

Використовуючи формулу (4.25), легко обчислити $\tau_{r\theta}$ і M_r :

$$\tau_{r\theta} = \mu r \frac{d}{dr} \left(\frac{v}{r} \right) = -2\mu \frac{C_2}{r^2}, \quad M_r = \tau_{r\theta} 2\pi r^2 = -4\pi\mu C_2 \quad (4.26),$$

де C_2 має вигляд (4.24).

Зауважимо також, що, вимірюючи під час експерименту M_r , можна визначити в'язкість.

Часткові випадки потоку:

а) два циліндри обертаються з однаковою кутовою швидкістю:

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega,$$

для цього випадку із (4.25) отримуємо: $v = \omega r$.

б) газова фаза заповнює безмежний простір поза циліндром R_1 :

$$R_1 = R, \quad \omega_1 = \omega, \quad R_2 = \infty, \quad \omega_2 = 0.$$

У цьому випадку $v = R_1^2 \frac{\omega}{r}$

в) один із циліндрів нерухомий, наприклад $\omega_1 = 0, \omega_2 = \omega$,

Тоді

$$v = \frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \omega r - \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \frac{\omega}{r} \quad v = \frac{R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \omega r - \frac{R_1^2 R_2^2}{R_2^2 - R_1^2} \frac{\omega}{r}.$$

Далі будемо розглядати рух повітряного потоку у рухомій системі координат, яка обертається навколо осі циклона з кутовою швидкістю, яка дорівнює швидкості обертання потоку навколо вертикальної осі. Тоді ми будемо мати справу з випадком,

коли швидкість обертання зовнішньої стінки буде дорівнювати ω_2 , а внутрішня (інерційний сепаратор) – ω_1 .

4.3. Аналіз результатів моделювання руху пилоповітряного потоку

Для підготовки розрахунку в програмі твердотілого моделювання для вивчення фізичного змісту процесів, які відбуваються у досліджуваному апараті, та для обґрунтування вибору параметрів експериментальних досліджень нами була побудована трьохмірна кінцево-елементна модель пиловловлювача (рис. 4.2), для якої методом кінцевих елементів (МКЕ) вирішена система рівнянь Нав'є-Стокса для турбулентної течії повітря.

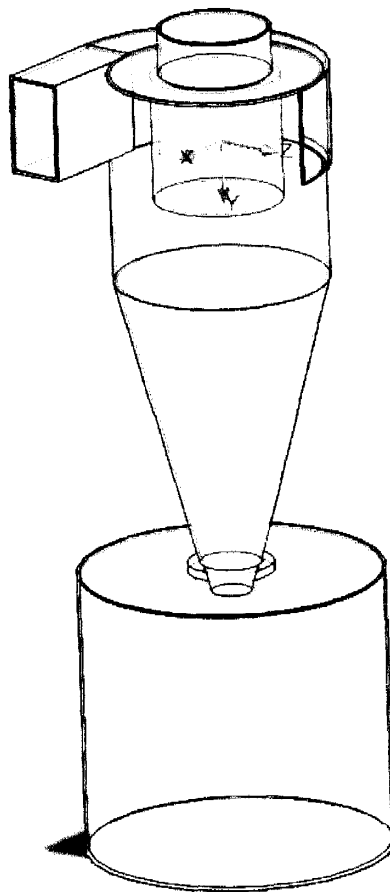


Рисунок 4.2 - Модель конструкції пиловловлювача нового типу.

З цією метою побудована геометрична модель із урахуванням тих геометричних параметрів апарату, які були нами визначені.

Геометричні розміри пиловловлювача та жалюзійного відокремлювача є такими:

1. Діаметр циліндричної частини циклона 0,7 м.
2. Висота циліндричної частини циклона 1,5 м.
3. Діаметр вихлопної труби 0,7 м.
4. Діаметр жалюзійного відокремлювача 0,75 м.
5. Висота циклона 3,2 м.
6. Розмір поперечного перерізу вхідного патрубку 0,40x0,70 м.

Дослідження проводили для різних напрямів та швидкостей обертання жалюзійного відокремлювача. Із використанням програмного комплексу FlowVision за методикою, описаною у 2 розділі дисертації, вивчався рух повітряних потоків, розподіл значення швидкостей повітряного потоку та значення статичного тиску в плоскому перерізі апарату, результати досліджень відображені на рис.4.3. – 4.7.

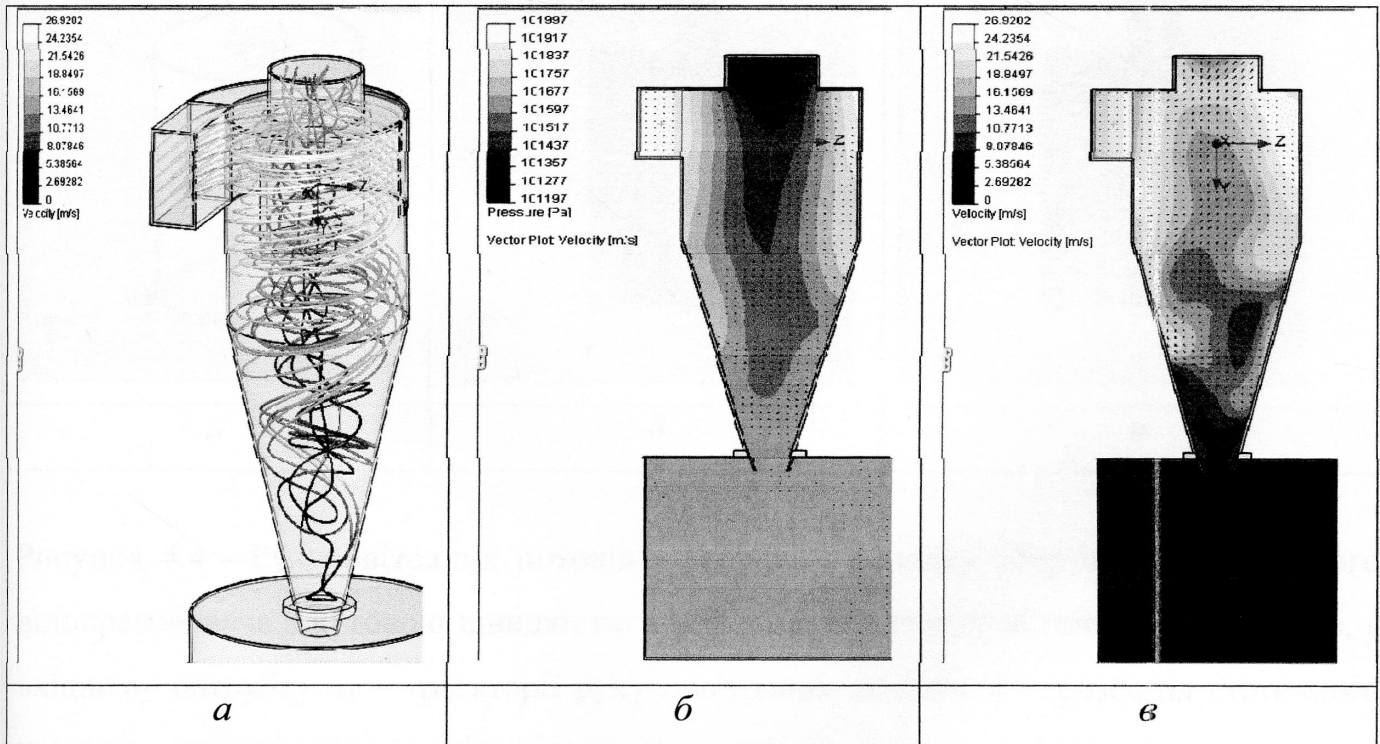


Рисунок 4.3 - Характеристики руху повітряних потоків у апараті за умови нерухомого жалюзійного відокремлювача: *a* – траєкторії руху повітряних потоків; *б* – розподіл статичного тиску; *в* – розподіл швидкості повітряного потоку.

На рис. 4.3 *a* зображені траєкторії руху повітряних потоків у запропонованому пиловловлювачі. Значення швидкості повітряного потоку відображено кольором

траєкторії. На рис. 4.3, в представлено розподіл швидкостей потоку повітря в горизонтальних перерізах пиловловлювача.

Гідравлічний опір апарату без обертання жалюзійного відокремлювача складає 651,2 Па.

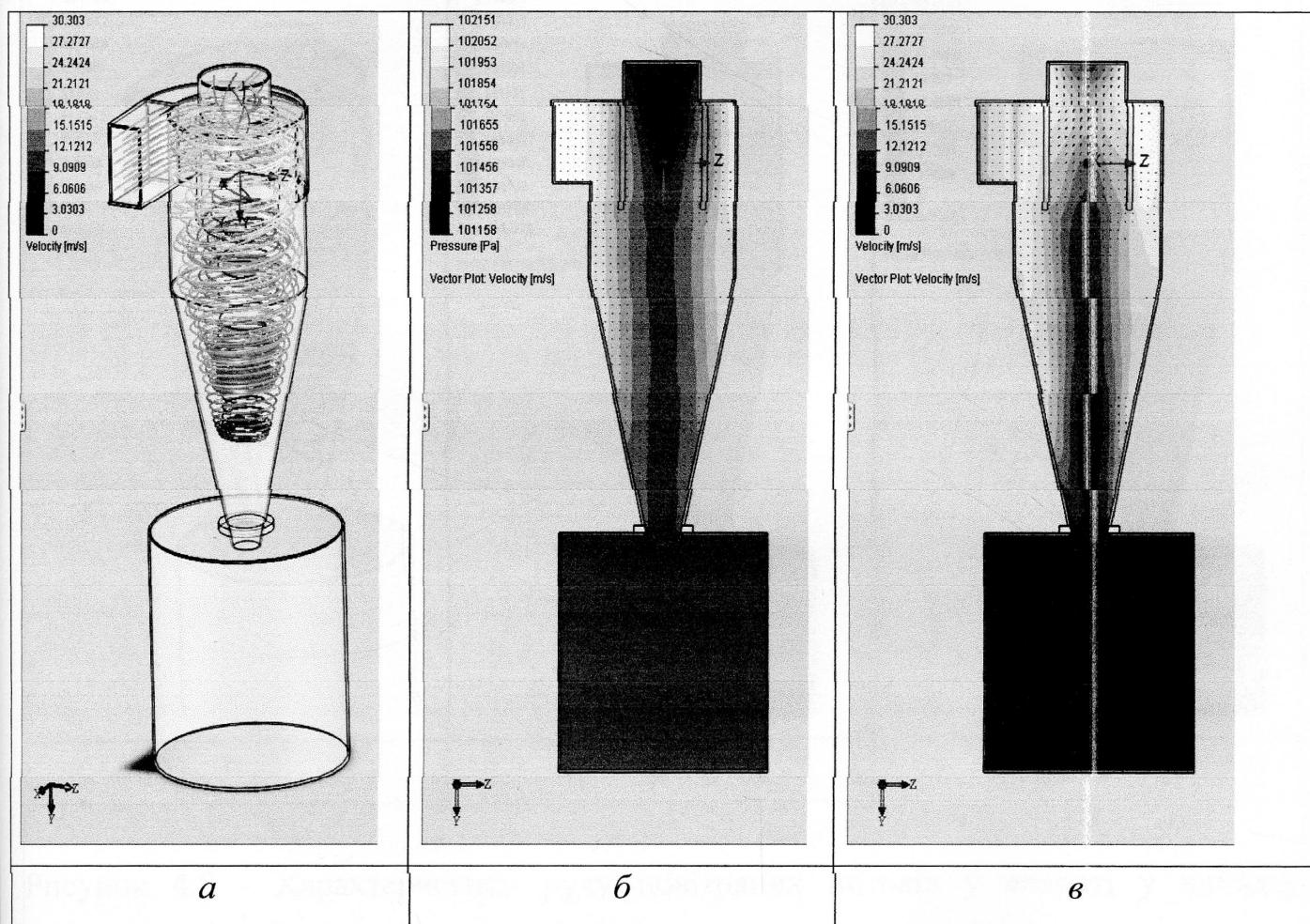


Рисунок 4.4 - Рух повітряних потоків у апараті у випадку обертання жалюзійного відокремлювача з кутовою швидкістю 1 рад/с назустріч рухові повітряних потоків, у вхідному патрубку: *a* – траєкторії руху повітряних потоків; *б* – розподіл статичного тиску; *в* – розподіл швидкості повітряного потоку.

У випадку обертання жалюзійного відокремлювача назустріч рухові повітряних потоків у вхідному патрубку з кутовою швидкістю 1 рад/с гідравлічний опір апарата складає 766,6 Па.

У випадку обертання жалюзійного відокремлювача назустріч рухові повітряних потоків у вхідному патрубку з кутовою швидкістю 3 рад/с – гідравлічний опір апарата складає 701,52 Па.

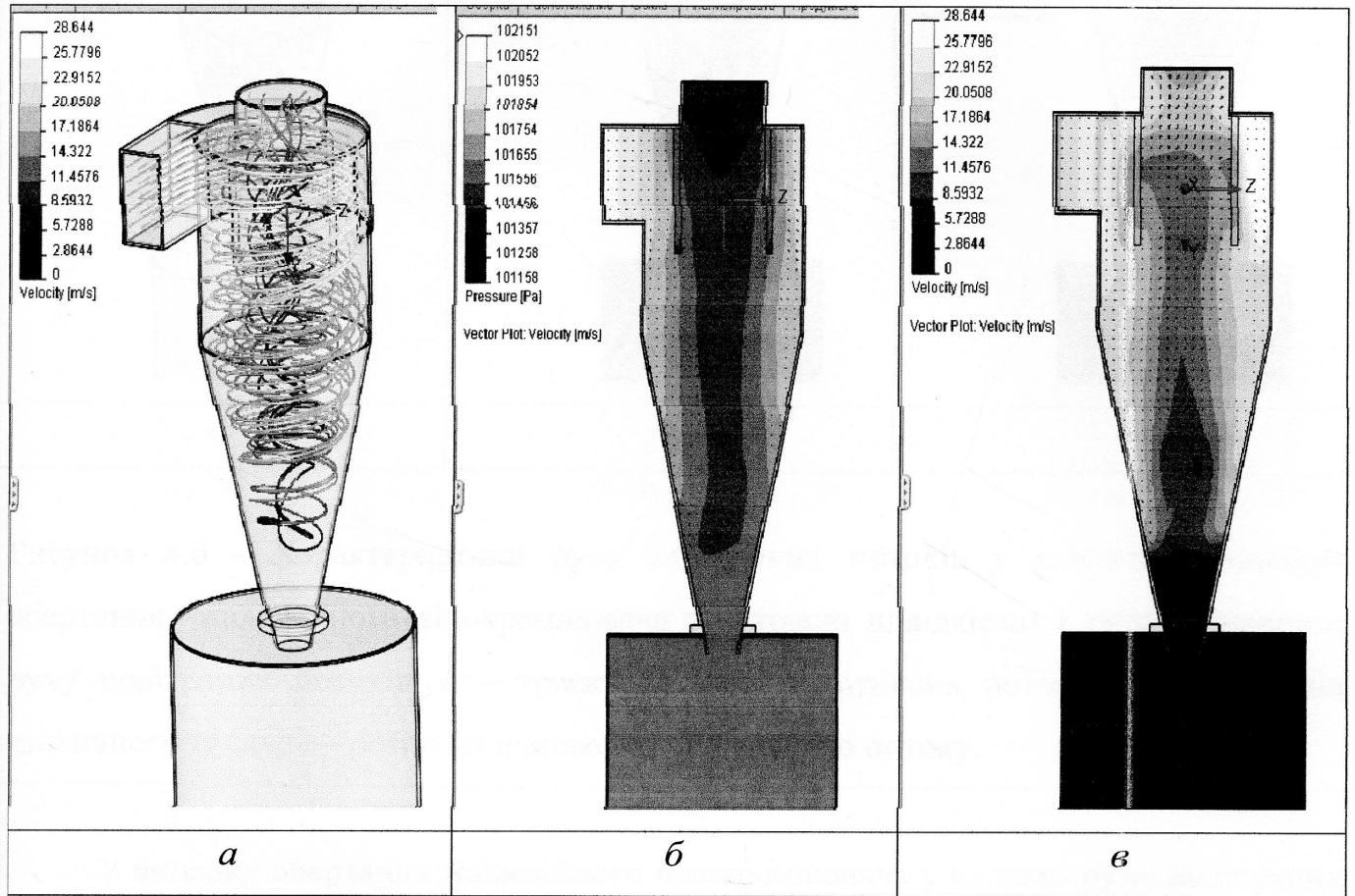


Рисунок 4.5 - Характеристики руху повітряних потоків у апараті у випадку обертання жалюзійного відокремлювача з кутовою швидкістю 3 рад/с назустріч рухові повітряних потоків, у вхідному патрубку: *а* – траєкторії руху повітряних потоків; *б* – розподіл статичного тиску; *в* – розподіл швидкості повітряного потоку.

У випадку обертання жалюзійного відокремлювача у напрямі руху повітряних потоків у вхідному патрубку з кутовою швидкістю 1 рад/с гідравлічний опір апарату складає 1030,2 Па.

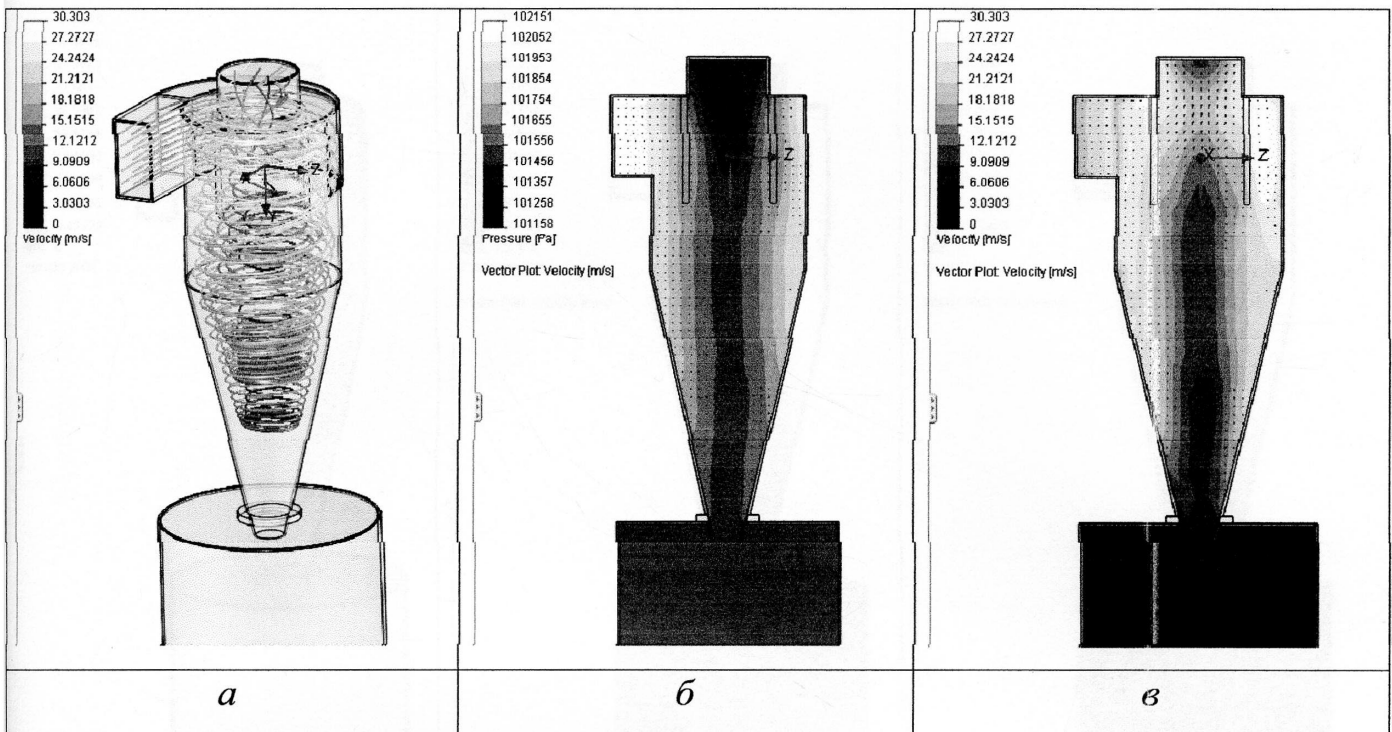


Рисунок 4.6 - Характеристики руху повітряних потоків у апараті у випадку обертання жалюзійного відокремлювача з кутовою швидкістю 1 рад/с у напрямі руху повітряних потоків: *а* – траєкторії руху повітряних потоків; *б* – розподіл статичного тиску; *в* – розподіл швидкості повітряного потоку.

У випадку обертання жалюзійного відокремлювача у напрямі руху повітряних потоків із кутовою швидкістю 3 рад/с гідравлічний опір апарата складав 1017,75 Па.

Розподіл статичного тиску в апараті (рис.4.6, б), а також розподіл швидкостей повітряного потоку (рис.4.6, в) підтверджує появу додаткового ступеня очищення від пилу в місці встановлення жалюзі відокремлювача та за рахунок обертання жалюзі відокремлювача у випадку організації процесу пилоочищення в апараті з жалюзійним відокремлювачем, який обертається навколо своєї осі.

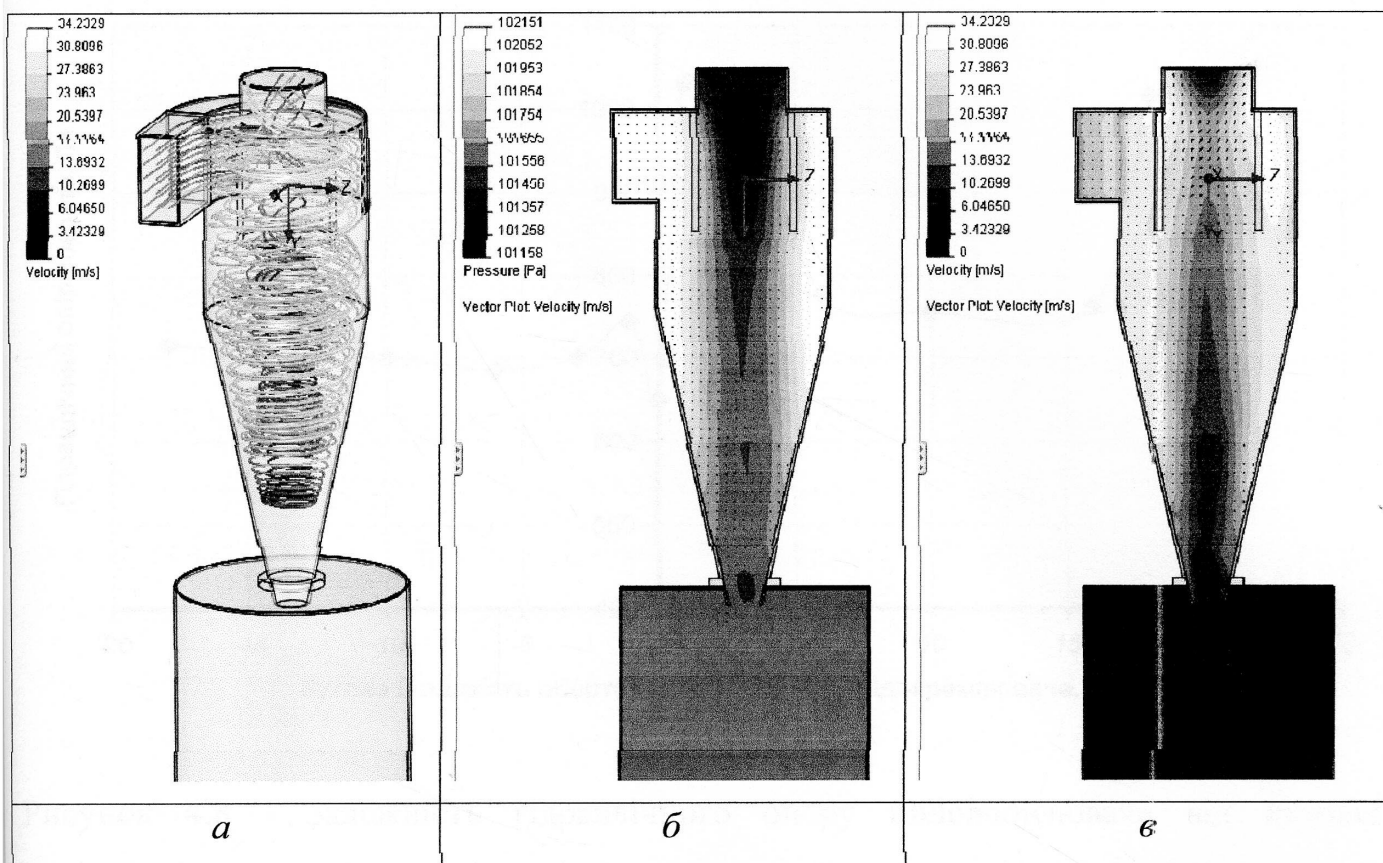


Рисунок 4.7 - Характеристики руху повітряних потоків у апараті у випадку обертання жалюзійного відокремлювача з кутовою швидкістю 3 рад/с у напрямі руху повітряних потоків: *a* – траєкторії руху повітряних потоків; *б* – розподіл статичного тиску; *в* – розподіл швидкості повітряного потоку.

Аналогічним чином встановлювались значення гідравлічного опору апарату у випадку обертання жалюзійного відокремлювача як у напрямі руху повітряних потоків, так і проти цього руху в широкому діапазоні швидкостей обертання відокремлювача (+20) – (-20) рад/с, отримані дані використовувались для побудови залежності, представленої на рис.4.8.

На рис. 4.8 відображено залежність гідравлічного опору апарату від значення кутової швидкості обертання жалюзійного відокремлювача. Додатньою вважається кутова швидкість обертання жалюзійного відокремлювача у напрямі руху повітряних потоків у вхідному патрубку апарата.

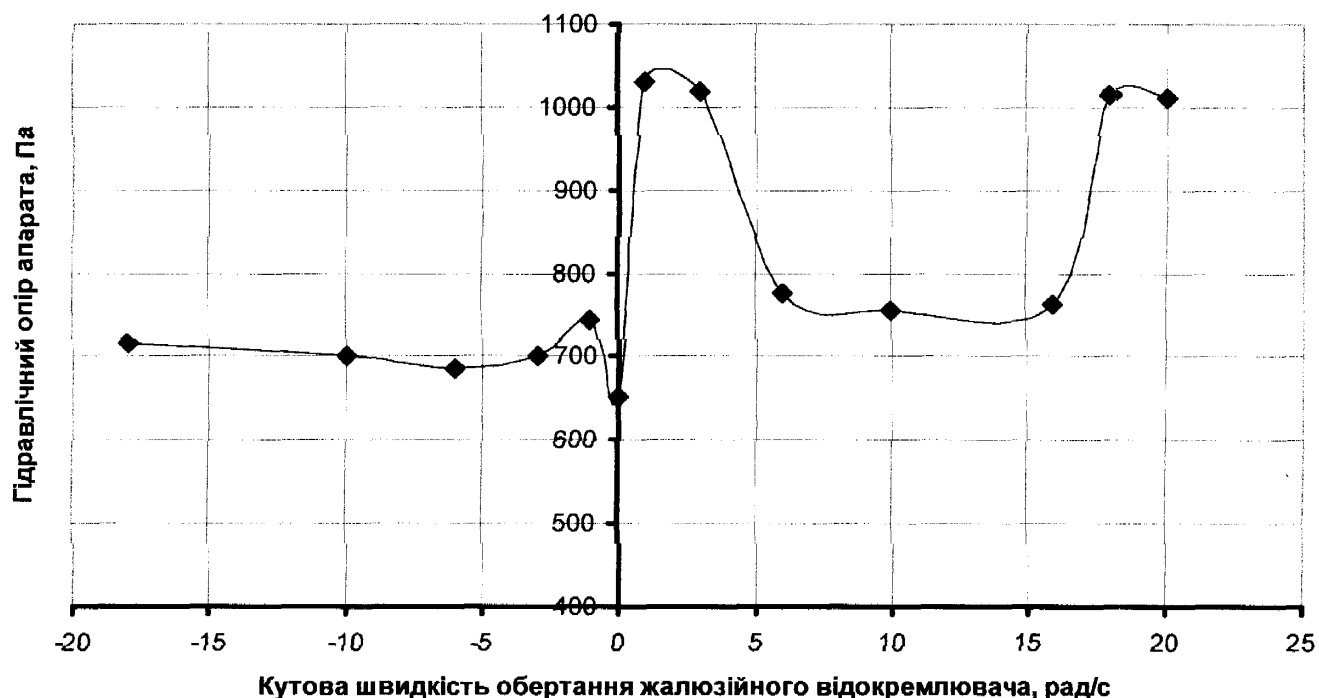


Рисунок 4.8 - Залежність гідравлічного опору пиловловлювача від кутової швидкості обертання жалюзійного відокремлювача.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що обертання жалюзійного відокремлювача приводить до симетричного розподілу повітряних потоків у апараті. У проміжку між жалюзійним відокремлювачем та зовнішньою стінкою апарату створюється додатковий потік, основне призначення якого полягає у протидії радіальному стоку. Якщо проаналізувати траєкторії руху повітряних потоків у циклоні (рис. 4.3-4.7) приходимо до висновку, що у випадку обертання жалюзійного відокремлювача в пиловловлювачі створюються більш симетричні поля швидкостей та більш симетричний розподіл статичного тиску в плоскому перерізі апарату. Це створює умови для підвищення ефективності процесу очищення.

Беручи до уваги результати, які представлені на рис. 4.8, приймаємо рішення про доцільність виготовлення конструкції сепаратора з жалюзійним відокремлювачем, який обертається назустріч рухові повітряних потоків у вхідному патрубку. Оптимальне значення кутової швидкості обертання буде визначено в

процесі проведення експериментальних досліджень ефективності новоствореного апарату.

4.4. Висновки з розділу 4

Отримало підтвердження те, що забезпечення екологічної безпеки ливарних виробництв в частині ефективного очищення пилогазових потоків від дрібнодисперсних частинок сполук металів може бути досягнуте шляхом впровадження відцентрово-інерційних пиловловлювачів з рухомим жалюзійним відокремлювачем, у яких практично може здійснюватись чотирьохступеневе очищення повітря. Було проведене моделювання руху повітряних потоків у відцентрово-інерційних пиловловлювачах. Отримані рівняння послужили основою для розроблення трьохмірної кінцево-елементної моделі пиловловлювача та розрахунку в програмі твердотілого моделювання. Для вивчення фізичного змісту процесів, які відбуваються у досліджуваному апараті методом кінцевих елементів із використанням програмного комплексу FlowVision, розв'язана система рівнянь Нав'є-Стокса для турбулентної течії повітря. Як показали результати досліджень, обертання жалюзійного відокремлювача призводить до симетричного розподілу повітряних потоків у апараті, а у проміжку між жалюзійним відокремлювачем та зовнішньою стінкою апарату створюється додатковий потік, який протидіє радіальному стокові, що створює умови для підвищення ефективності процесу очищення.

Експериментальні та теоретичні результати, які приведені у цьому розділі, детально висвітлені в публікаціях [107, 128-132, 133, 140, 141].

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБЛЕННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО ВІДЦЕНТРОВО-ІНЕРЦІЙНИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ

5.1. Фізична модель руху пилогазового потоку у відцентрово-жалюзійних пиловловлювачах

Аналізуючи результати наведених вище досліджень, можна констатувати, що на сьогоднішній день для забезпечення санітарно-гігієнічних вимог охорони праці та довкілля в сучасному ливарному виробництві не існує апаратурної підтримки для забезпечення нормативних значень викидів шкідливих речовин. Тому ми поставили мету створити установки, які здатні високоефективно вловлювати дрібнодисперсний пил. Для вирішення цього завдання зупинилися на формі корпусу, запропонованій в роботах К. І. Азарського з додержанням визначених ним конструктивних розмірів [145].

Таблиця 5.1 - Визначення конструктивних розмірів корпусу пиловловлювача.

Розмір пилу, 10^{-6} м	Довжина корпусу, 10^{-3} м	
	Циліндрично-конічної частини	Циліндричної частини
8	925	800
32	825	700
50	725	600

Усі запропоновані нами апарати захищені патентами України, їх відмінною особливістю є такі «ноу-хау»:

по-перше – відцентрове очищення пилоповітряного потоку після входу його в апарат проводиться під дією відцентрових сил відомим способом аналогічно циклону;

по-друге – розташування жалюзійного відокремлювача коаксіально осі корпуса апарата як другого ступеня очищення;

по-третє – певна форма жалюзі відокремлювача як третього ступеня очищення;

по-четверте – додаткове доочищення повітря від дрібнодисперсного пилу за рахунок обертання певним чином жалюзійного відокремлювача.

Таким чином, ми отримали апарати, у яких здійснюється чотирьохступеневе очищення повітря від пилу.

У загальному вигляді процес очищення повітря в запропонованих апаратах відбувається таким чином (рис 5.1).

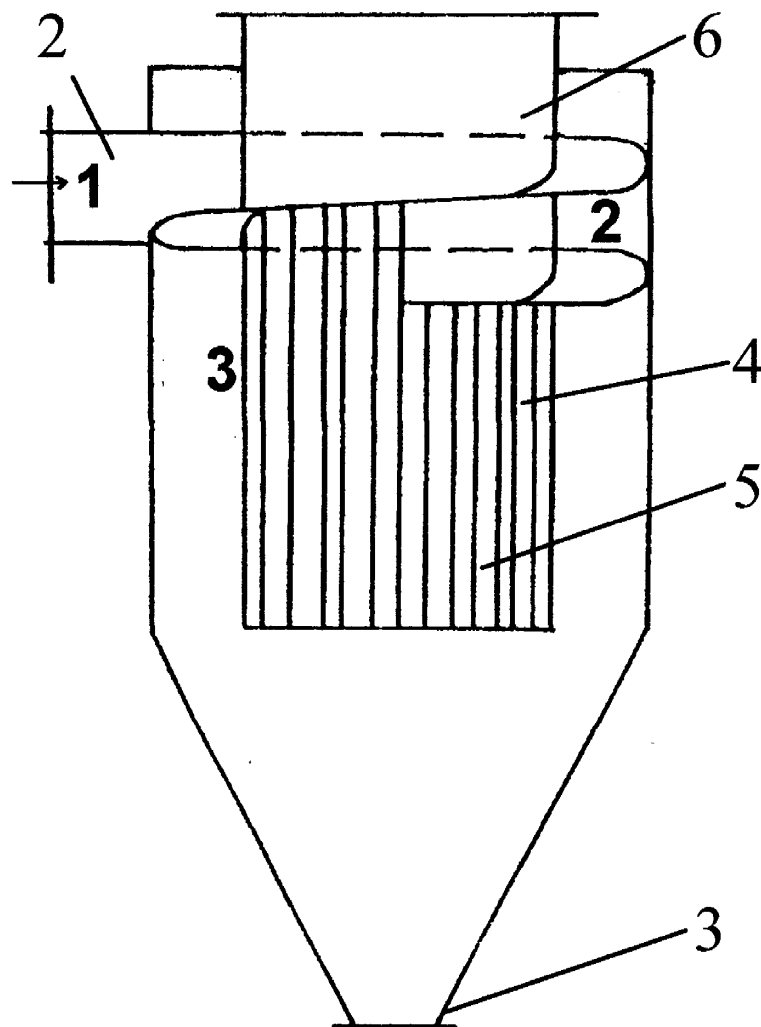


Рисунок 5.1 - Принципова схема відцентрово-інерційного пиловловлювача.

Пилоповітряна суміш тангенційно поступає в ділянку 1 корпусу апарата через вхідний патрубок 2 і продовжує свій рух зверху вниз до пиловипускного патрубка 3, не змінюючи напрямку свого руху. На вході в апарат пилоповітряна суміш рухається прямолінійно, запиленість газового потоку перерізом апарата залишається практично рівномірною і швидкість руху частинок пилу дорівнює швидкості входу газового потоку в апарат. На наступному етапі руху 2 донизу під дією відцентрової сили тверді частинки відкидаються до зовнішньої стінки апарата, але концентруванню частинок пилу в периферійній зоні корпусу перешкоджає явище рикошетування частинок в результаті їх стикання зі стінкою. Внаслідок цього, за умови великої швидкості потоку збільшується початкова швидкість обертання частинки, підіймальна сила та величина її радіального переміщення під впливом цієї сили, а в цьому випадку рух окремих відбитих від стінки частинок амортизується частинками, які рухаються до стінки, і це відбувається в усьому потоці. Таким чином, на ділянці 2 проходить первинний пошаровий розподіл потоку, причому, найбільш забрудненим шаром, який несе найбільші частинки, є шар біля зовнішньої стінки, а найбільш чистим – шар, який пролягає вздовж жалюзійного відокремлювача 4. Для здійснення процесу розділення потоку під дією відцентрових сил достатньо половини обертання потоку навколо патрубка виходу очищеного повітря.

На ділянці 3, очищений від крупнодисперсного пилу потік змінює напрямок свого руху для проходження через щілини між жалюзями 5 відокремлювача 4 і кут цього повороту дорівнює $90^\circ < \alpha < 180^\circ$.

На ділянці розташування жалюзійного відокремлювача 3 на частинки пилу продовжує діяти відцентрова сила, яка намагається відкинути їх до зовнішньої стінки корпусу апарата, але її вплив ослаблений через радіальний рух потоку до центру апарата через жалюзі, який передусім впливає на найбільш дрібні частинки і на частинки пилу, які рухаються з внутрішньою частиною потоку. Залежно від того, яка сила на частинку більша в даний момент часу в даному місці (відцентрова чи радіальна), частинки пилу або будуть продовжувати рухатись обертовою гвинтовою

траєкторією вздовж корпусу апарата зверху вниз або, будучи захопленими радіальним стоком, почнуть рухатися до центру апарата. Шари пилоповітряної суміші, які підходять до жалюзійного відокремлювача (завдяки конструкції жалюзі), обходять жалюзі з дуже малим кутом атаки (кутом між напрямком руху повітря і площиною кожної жалюзі). Тверді частини пилу, захоплені радіальною течією потоку, стикаються з жалюзями відокремлювача, відбиваються від них, підхоплюються рухомим потоком, стикаються з наступною жалюзі і т.д., аж доки не потраплять у потік, який рухається вздовж зовнішньої стінки і транспортує їх до виходу з апарата 3 в бункер (на рис.5.1 не показаний).

Пилоповітряний потік проходить через отвори між жалюзями 5, а частинки пилу, виділені з нього, або відбиваються від стінки корпусу 1, або сповзають жалюзію 5 вниз аж до пиловипускного патрубку 3. Для очищення повітря, яке пройшло через отвори між жалюзями 5 всередину жалюзійного відокремлювача 4, часто на внутрішню сторону жалюзі 5 подається вода, яка транспортує виділений пил поверхнею жалюзі вниз знову до пиловипускного патрубку 3, а через нього в бункер апарату.

5.2. Розроблення нових конструкцій відцентрово-інерційних пиловловлювачів з рухомим жалюзійним відокремлювачем

Метою роботи є обґрунтування доцільності заміни недостатньо ефективної, енергоємної та металоємкої системи очищення повітря від пилу в процесі ливарного виробництва на більш досконалу та ефективну систему очищення (першого ступеня), яка складається з відцентрово-інерційних апаратів пилоочищення, які містять в одному корпусі пиловловлювача одночасно чотири ступені очищення: відцентрове, інерційне (під час проходження через жалюзі відокремлювача), у самих жалюзі за рахунок обертання жалюзійного відокремлювача та форми жалюзі.

5.2.1. Апарат типу 1. Нами запропонована конструкція пиловловлювача з рухомим відокремлювачем (далі – апарат I), принципова схема якого відображена на рис.5.2.

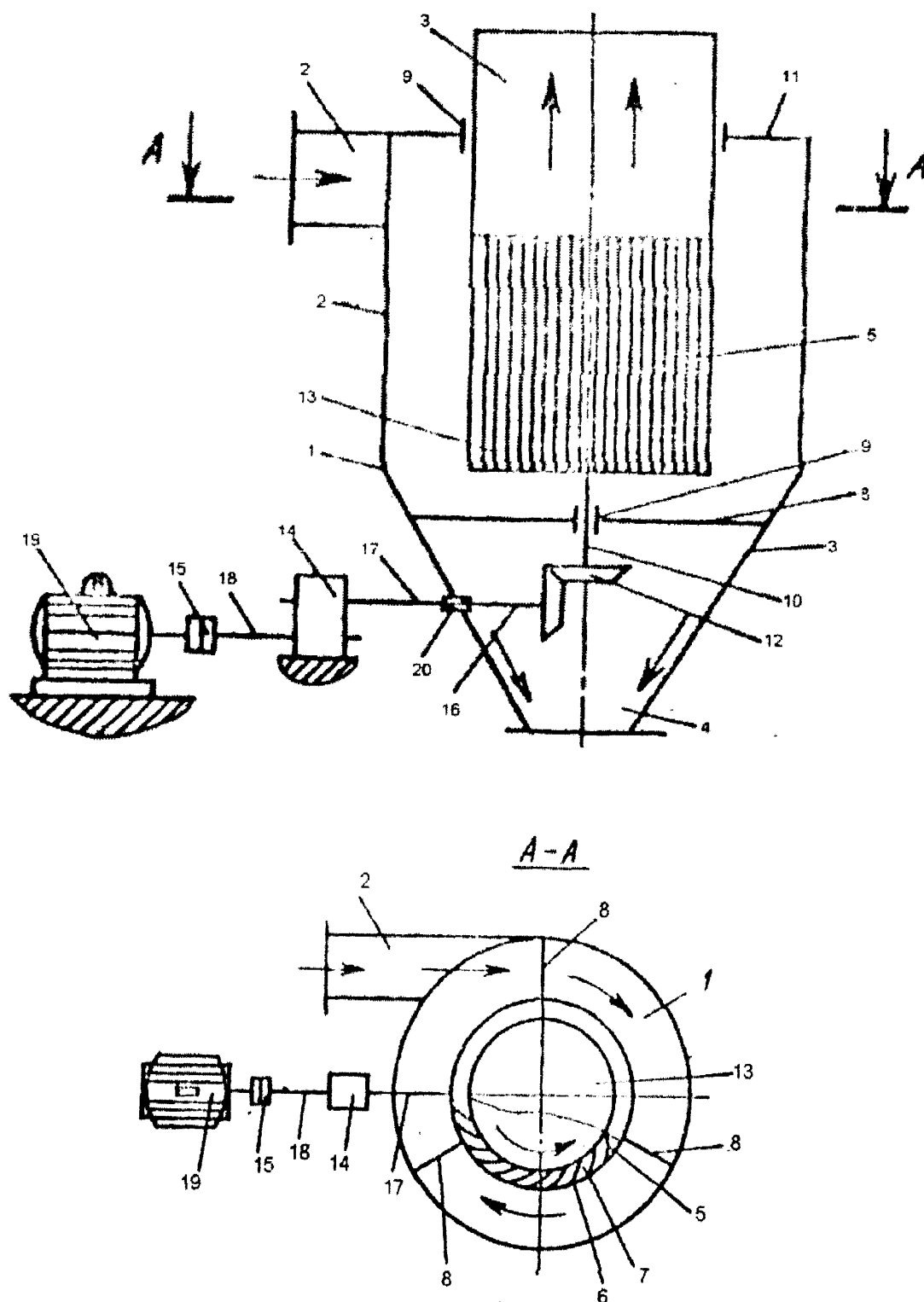


Рисунок 5.2 - Конструкція пиловловлювача з рухомим відокремлювачем (апарат типу 1).

У цьому апараті очищення повітря від пилу відбувається за рахунок виконання жалюзійного відокремлювача рухомим, що дозволяє йому обертатися навколо своєї осі під дією пилоповітряного потоку, який вводиться в апарат, або

примусово, що веде до збільшення дії відцентрових сил, запобігає проникненню дрібнодисперсних частинок пилу всередину його, шляхом захоплення їх пилоповітряним потоком і до вирівнювання тисків всередині корпусу апарата.

Пиловловлювач містить корпус 1, який складається з циліндричної та конічної частин. До верхньої частини корпусу під'єднані: тангенційний вхідний патрубок 2, осьові патрубки виходу очищеного повітря 3 та пиловипускний патрубок 4. Жалюзійний відокремлювач 5 розташований коаксіально корпусу 1 всередині його циліндричної частини і у верхній частині переходить у патрубок виходу очищеного повітря 3. Жалюзійний відокремлювач 5 складається із набору вигнутих жалюзів 6, які повернуті своєю вигнутою частиною назустріч пилоповітряному потоку. Простір між жалюзями 6 утворює щілини 7.

Пиловловлювач містить механізм обертання жалюзійного відокремлювача 5, який включає три стержні 8, закріплені з одного боку до внутрішньої поверхні конічної частини корпусу 1, а з іншого боку – до опори 9, у якій розміщений вал 10 (вісь жалюзійного відокремлювача 5).

Друга аналогічна опора 9 встановлена симетрично до осі апарата в кришці 11 корпусу 1.

Усередині конічної частини корпусу 1 розміщена зубчата конічна пара 12, яка з одного боку завдяки валу 10 приєднана до днища 13 жалюзійного відокремлювача 5, а з другого боку за допомогою редуктора 14, муфти 15 і валів 16, 17 і 18 з'єднана з приводом обертання 19 (наприклад, електричним двигуном). Опора 20 встановлена також у конічній частині корпусу 1 і в ній закріплений вал 16 та три стержні 8.

Працює пиловловлювач таким чином.

Вхід пилоповітряної суміші здійснюється тангенційно в корпус 1 через патрубок 2, де вона гвинтоподібно з великою швидкістю рухається зверху вниз спочатку вздовж його циліндричної частини корпусу 1, а потім вздовж конічної частини корпусу 1. Після входу в апарат на потік діє відцентрова сила, за рахунок якої відбувається пошарове розділення потоку, і до жалюзійного відокремлювача потік підходить розділеним на два: біля стінки корпусу рухається потік, який складається з крупнодисперсних частинок пилу, а навколо вихлопного патрубку – із

дрібнодисперсних частинок. Жалюзійний відокремлювач 5 є другим ступенем очищення, у процесі проходження через нього відбувається доочищення вже пошарово розділеного потоку від дрібнодисперсних частинок пилу, а після проходження через щілини він виноситься з апарату через патрубок 3. Вторинне очищення повітря від пилу здійснюється послідовно у напрямку до пиловипускного патрубка в процесі проходження потоку через щілини 7 жалюзійного відокремлювача 5, який розташований коаксійно всередині циліндричної частини корпусу апарату 1. Якщо б жалюзійний відокремлювач 5 не обертався, пилоповітряний потік доочистився би, проходячи у щілини 7 між жалюзями 6, стикаючись з останніми і виділяючи в процесі цього відомим способом дрібнодисперсні частинки пилу. У такому варіанті найдрібніші частинки пилу проскакують разом із повітрям всередину жалюзійного відокремлювача 5, що не сприяє підвищенню ефективності його роботи.

Механізм обертання жалюзійного відокремлювача 5 працює таким чином.

Після вмикання приводу 19 обертання жалюзійного відокремлювача 5 передається послідовно через муфту 15, вал 18, редуктор 14, вал 17, зубчасту конічну пару 12 і вал 10. Разом із жалюзійним відокремлювачем 5 обертається і вихлопний патрубок очищеного повітря 3. Жалюзійний відокремлювач 5 обертається у бік, протилежний напрямку обертання пилоповітряної суміші всередині корпусу 1 апарату, віддаючи частину своєї кінетичної енергії пилогазовому потоку.

Залежно від експлуатаційних характеристик (продуктивності, дисперсного, морфометричного та хімічного складу, концентрації пилу тощо) вибирається певна швидкість обертання жалюзійного відокремлювача 5. За рахунок того, що жалюзійний відокремлювач 5 і пилогазовий потік обертаються в протилежні сторони, жалюзі 6 відокремлювача 5 весь час повернуті своєю вгнутістю до напрямку руху пилоповітряної суміші (вони встановлені погнутістю назустріч йому) і в процесі обертання відкидають або підштовхують частинки пилу в напрямку до зовнішньої стінки корпусу 1 апарату, запобігаючи таким чином їх руху всередину жалюзійного відокремлювача 5 через щілини 7 між жалюзями 6.

Таким чином, ефективність роботи пиловловлювача зберігається досить високою в широкому діапазоні режимів його роботи завдяки створенню примусової зміни швидкості обтікання повітряним потоком жалюзійного відокремлювача 5, чим досягається вибір оптимальних параметрів проходження через пиловловлювач очищеного повітря, тобто відбувається додаткове доочищення пилоповітряної суміші і збереження постійної швидкості проходження її через щілини 7 між жалюзьями 6.

Наведена конструкція пиловловлювача може з успіхом використовуватись для пилу, частка в якому тонко дисперсної фракції незначна. Але у цьому пиловловлювачі неможливо досягти значного підвищення ефективності пиловловлення тонкодисперсного пилу через неможливість забезпечення постійної дії відцентрових сил на частинку і неможливість підключення до процесу пиловловлення збільшених сил ваги та інерції. Конструкція апарата захищена патентом України [142].

5.2.2. Апарат типу 2. Особливістю апарата є складна конструкція жалюзійного відокремлювача, який складається із 4 секцій, розташованих в одній радіальній площині з діаметрами, які збільшуються в напрямку до пиловипускного патрубка з певним відношенням діаметра попередньої секції до наступної. Таку конструкцію жалюзійного відокремлювача доцільно застосовувати у випадку, коли у склад пилу входить велика кількість дрібнодисперсних частинок. За рахунок секційності відокремлювача досягається однаковий кут атаки в циліндричній та конічній частині апарата, що дозволяє досягти високого ступеня очищення від дрібнодисперсних частинок. Для вирішення проблеми створення універсального, високоефективного, з невисоким гідравлічним опором пиловловлювача, ми запропонували конструкцію відцентрово-інерційного апарату з відокремлювачем, що обертається, у якому виконання жалюзійного відокремлювача дозволяє йому обертатися навколо осі апарата примусово. Це веде до збільшення дії відцентрових сил, запобігає проникненню дрібнодисперсних частинок пилу всередину його шляхом захоплення їх пилоповітряним потоком, до вирівнювання тисків всередині корпусу апарата й запобігає виносу дрібнодисперсного пилу вторинним вихором у

патрубок виходу очищеного повітря (далі – апарат типу 2), що відображено на рис.5.3. Пиловловлювач містить корпус 1, який складається з циліндричної 1 та конічної 2 частин, тангенційного вхідного патрубка 3, розташованих по його осі патрубка виходу пилу 4 і виходу очищеного повітря 5.

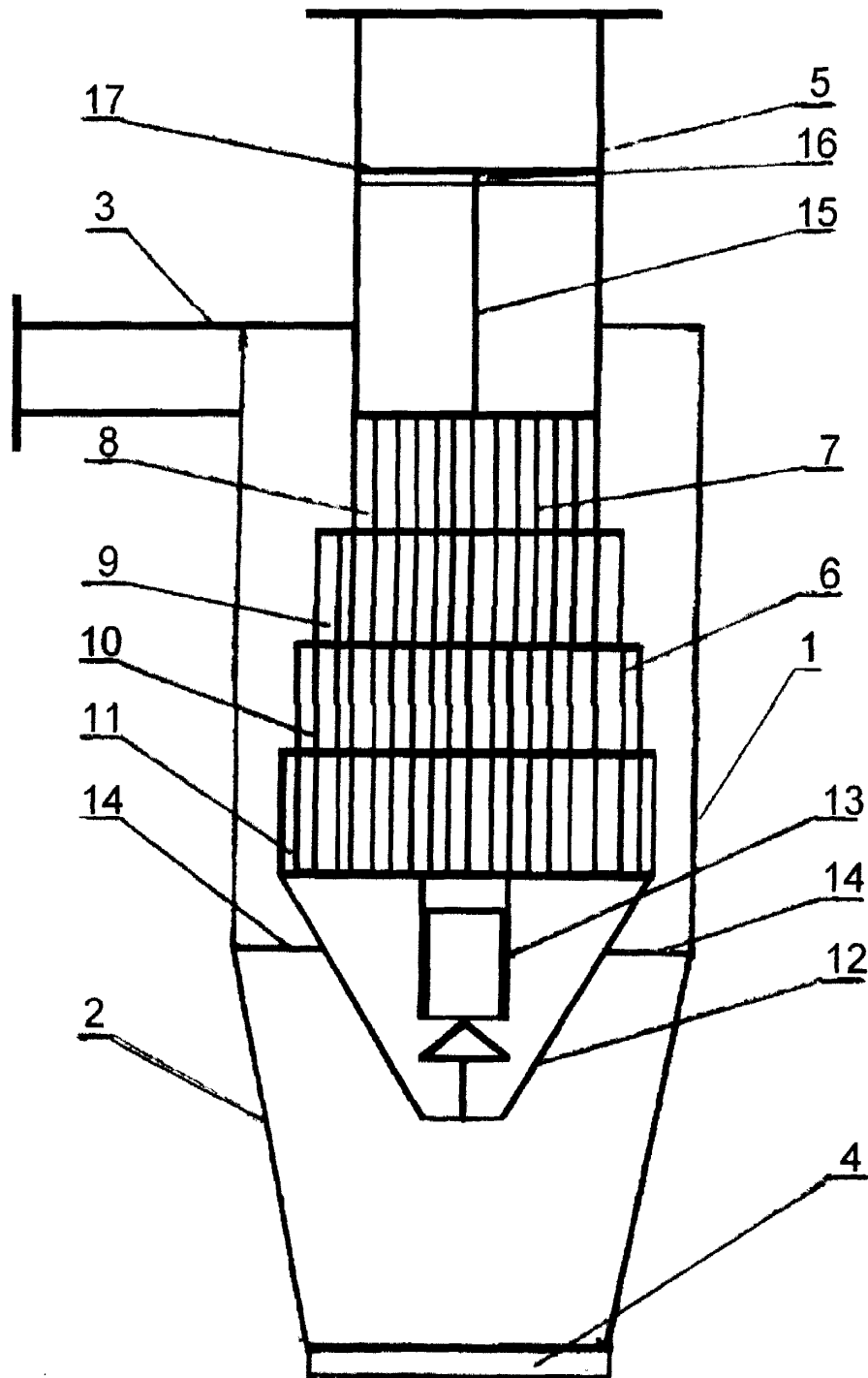


Рисунок 5.3 - Пиловловлювач з відокремлювачем складної конструкції, який обертається (апарат типу 2).

У циліндричній частині корпусу коаксійно розташований відокремлювач 6 з жалюзьями 7, який складається з чотирьох секцій 8, 9, 10 і 11, діаметри яких збільшуються зверху до низу в напрямку до пиловипускного патрубку 4. У нижній частині навпроти патрубка виходу пилу 4 відокремлювач має дно у вигляді зрізаного конусу 12 з конусністю, направленою в сторону пиловипускного патрубка 4, в якому по його осі на рівні місця переходу циліндричної частини корпусу в конічну встановлено електродвигун 13, закритий герметичним кожухом.

Електродвигун 13 прикріплений до корпусу апарату трьома стержнями 14, а вісь корпусу 15 з нижньої сторони, навпроти патрубка виходу пилу, є віссю двигуна 13, а зверху в патрубка виходу очищеного повітря 5 є віссю підшипника 16, який також прикріплений до внутрішньої сторони патрубка 5 трьома стержнями 17.

Пилогазова суміш входить в корпус 1 тангенційно через патрубок 3, де вона гвинтоподібно рухається зверху вниз у напрямку до пиловипускного патрубка 4, спочатку вздовж циліндричної частини корпусу 1, а потім вздовж конічної його частини 2. Після входу в апарат на потік діє відцентрова сила, за рахунок якої відбувається пошарове розділення потоку, і до жалюзійного відокремлювача потік підходить вже розділеним на два: біля стінки корпусу рухається потік, який складається із крупнодисперсних частинок, а навколо жалюзійного відокремлювача – із дрібнодисперсних частинок. Жалюзійний відокремлювач 6 є другим ступенем очищення, у процесі проходження через який відбувається доочищення вже пошарово розділеного потоку від дрібнодисперсних частинок пилу, у процесі проходження потоку через щілини між жалюзьями. Вторинне очищення повітря від пилу здійснюється послідовно в напрямку до пиловипускного патрубка 4 в процесі проходження потоку через щілини між жалюзьями 7 жалюзійного відокремлювача 6, який розташований коаксійно всередині циліндричної частини корпусу апарату 1. Якщо б жалюзійний відокремлювач 5 не обертався, пилоповітряний потік доочищався би, проходячи у щілини між жалюзьями 7, стикаючись з останніми і виділяючи в процесі цього відомим способом дрібнодисперсні частинки пилу. У такому варіанті найдрібніші частинки пилу проскакували б разом із повітрям

усередину жалюзійного відокремлювача 6, що не сприяє підвищенню ефективності його роботи.

Для уловлення дрібнодисперсного пилю, який проскочив усередину жалюзійного відокремлювача 6, застосовано конічне дно 12. Для підсилення ефекту відцентрово-інерційного очищення жалюзійний відокремлювач 6 має можливість обертатися навколо осі 15 пиловловлювача за допомогою двигуна 13 і підшипника 16 і швидкість його обертання прямо пропорційно залежить від швидкості входу пилоповітряної суміші в апарат через вхідний патрубок 3. Залежно від цих показників, а також від дисперсності пилю корегується число обертів двигуна. За рахунок обертового руху жалюзійного відокремлювача 6 підсилюється ефект відцентрового очищення повітря від пилю і сила відбиття частинок пилю від жалюзі (скорочується кількість стикань), що своєю чергою веде до підвищення ефективності очищення. Двигун 13 герметично закритий кожухом з ціллю попередження потрапляння пилю всередину (пилозахисний корпус). Жалюзійний відокремлювач складається з 4 секцій, розташованих в одній радіальній площині з діаметрами, які збільшуються в напрямку до пиловипускного патрубку 4 з певним відношенням діаметру попередньої секції до наступної. Жалюзійний відокремлювач 6 обертається у бік, протилежний напрямку обертання пилоповітряної суміші всередині корпусу 1 апарата, віддаючи частину своєї кінетичної енергії пилогазовому потоку.

Залежно від експлуатаційних характеристик (продуктивності, дисперсного, морфометричного та хімічного складу, концентрації пилю тощо) вибирається певна швидкість обертання жалюзійного відокремлювача 6. За рахунок того, що жалюзійний відокремлювач 6 і пилогазовий потік обертаються у протилежні сторони, жалюзі 7 відокремлювача 6 весь час повернуті своєю вгнутістю до напрямку руху пилоповітряної суміші (вони встановлені вгнутістю назустріч йому) і в процесі обертання відкидають або підштовхують частинки пилю в напрямку до зовнішньої стінки корпусу 1 апарата, запобігаючи таким чином їх руху всередину жалюзійного відокремлювача 6 через щілини між жалюзі 7.

Таким чином, ефективність роботи пиловловлювача зберігається досить високою в широкому діапазоні режимів його роботи завдяки створенню примусової зміни швидкості обтікання повітряним потоком жалюзійного відокремлювача 6, чим досягається вибір оптимальних параметрів проходження через щілини пиловловлювача очищеного повітря, тобто відбувається додаткове доочищення пилоповітряної суміші та збереження постійної швидкості проходження її через щілини між жалюзі 7.

Таким чином у запропонованому пиловловлювачі відбуваються такі етапи очищення пило газového потоку від пилу:

- перший етап – відцентровий у циліндричній частині корпусу апарата зразу після входу пилоповітряної суміші в пиловловлювач;
- другий етап – інерційний в процесі проходження суміші через щілини між жалюзі відокремлювача;
- третій етап – знову відцентровий в процесі проходженні через завихрувач;
- четвертий етап – відцентровий всередині жалюзійного відокремлювача в процесі притискування до внутрішньої поверхні жалюзі.

Конструкція апарату захищена патентом України [143].

5.2.3. Апарат типу 3. Особливістю апарату 3 типу є додаткове доочищення пилогазового потоку від дрібнодисперсних частинок на плівці води. Для подальшого збільшення ефективності роботи установки пилоочищення нами була запропонована конструкція пиловловлювача із приводом (в подальшому апарат типу 3) універсального, вискоефективного, з невисоким гідравлічним опором, у якому виконання жалюзійного відокремлювача є таким, що дозволяє йому обертатися навколо осі апарата примусово, веде до збільшення дії відцентрових сил, запобігає проникненню дрібнодисперсних частинок пилу всередину його, шляхом захоплення їх пилоповітряним потоком, до вирівнювання тисків всередині корпусу апарата і запобігає виносу дрібнодисперсного пилу вторинним вихором у патрубок виходу очищеного повітря.

На рис. 5.4. представлений запропонований пиловловлювач із відокремлювачем із приводом, який складається з корпусу 1, у циліндричній частині якого коаксіально розміщений жалюзійний відокремлювач 2 із жалюзьями 3.

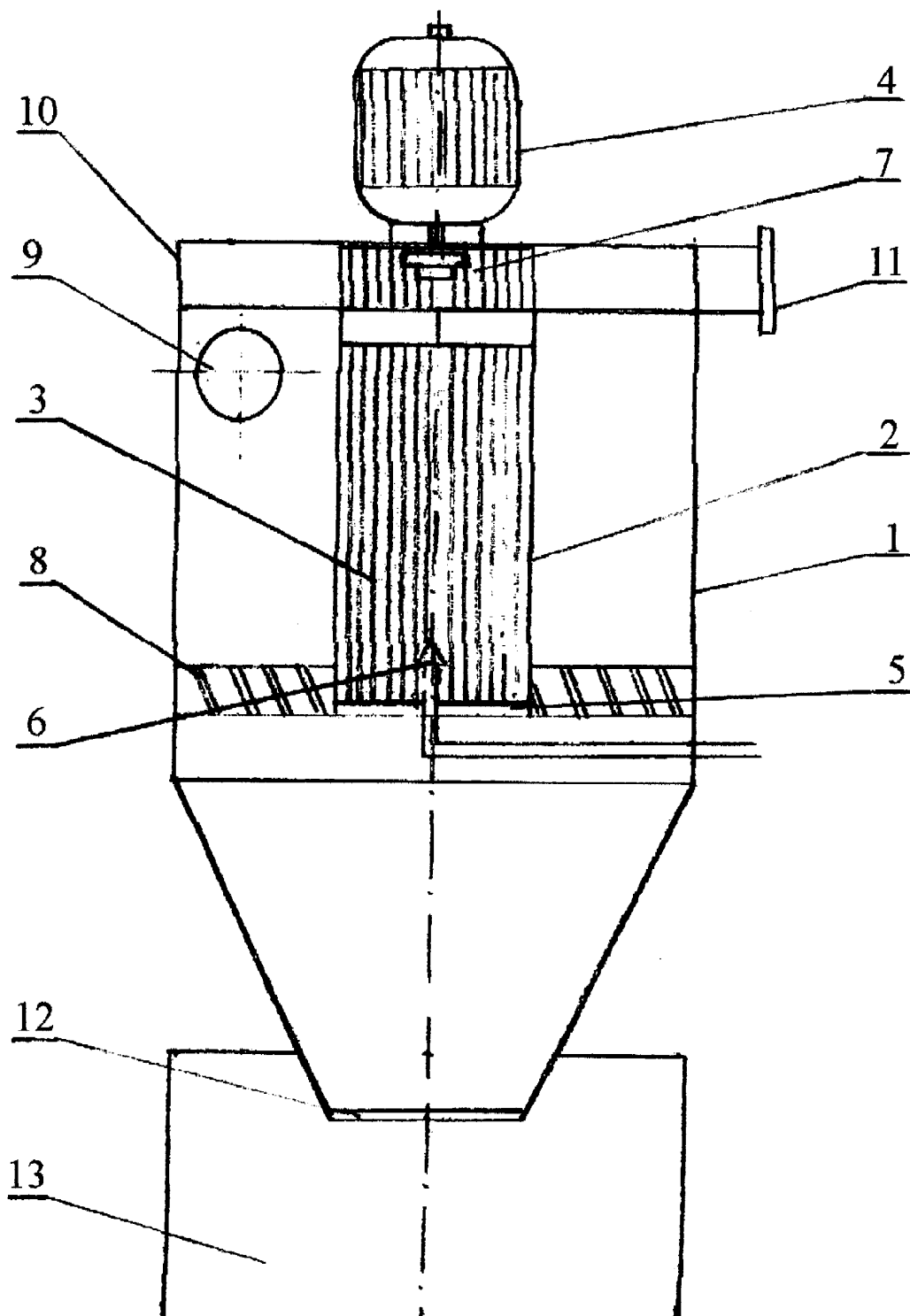


Рисунок 5.4 - Пиловловлювач з відокремлювачем, який обертається і додатковим доочищенням на плівці води (апарат типу 3).

Жалюзійний відокремлювач 2 обертається за допомогою електродвигуна 4, розташованого у верхній частині циліндричного корпусу 1 по його осі, і який складає одне ціле з корпусом апарата.

Нижній кінець жалюзійного відокремлювача 2 має кільцевий диск 5, розташований на його торці, для утримання шару води, яка подається форсункою 6, встановленою в нижній частині жалюзійного відокремлювача коаксіально.

У верхній частині жалюзійного відокремлювача 2 виконані щілинні отвори 7 для виходу очищеного повітря з відокремлювача, а завихрувач 8 розташований на зовнішній стороні нижньої частини цього жалюзійного відокремлювача 2.

Корпус апарату 1 у верхній своїй частині вище патрубк введення пилоповітряної суміші 9 має відсмоктуючу камеру 10, не з'єднану з ним, яка переходить у тангенційний патрубок виходу очищеного повітря 11, а жалюзійний відокремлювач 2 верхньою своєю частиною, виконаною у вигляді щілиноподібних отворів 7, входить у цю камеру 10. У нижній конічній частині корпусу є розвантажувальний пристрій 12 для подавання виділеного в апараті пилу в бункер 13.

Пилоловлювач з відокремлювачем із приводом працює таким чином.

Пилоповітряна суміш надходить тангенційно через вхідний патрубок 9 в корпус апарата 1. Під дією відцентрових сил частинки пилу більшої маси відкидаються до циліндричної частини корпусу 1 апарата, сповзають під дією сил тяжіння вниз спочатку вздовж циліндричної, а потім конічної частини корпусу апарата до розвантажувального пристрою виходу пилу 12 і через нього у бункер 13. Частинки пилу меншої маси, які захоплюються потоком вже очищеного від великих фракцій пилу повітря, рухаються до жалюзійного відокремлювача 2, за рахунок своєї інерції не встигають за потоком, стикаються з жалюзіями відокремлювача і після декількох зіткнень відбиваються у зворотному напрямку до циліндричної стінки корпусу апарата 1, де захоплюються потоком більш масивних частинок пилу і разом з ними прямують до бункера 13. Число зіткнень залежить від маси, складу частинок та швидкості руху пилогазового потоку. Очищене таким чином повітря обминає жалюзі з мінімальним кутом атаки, потрапляє через щілини між жалюзі 3

всередину жалюзійного відокремлювача 2, де за рахунок обертання відокремлювача створюється розрідження.

Та частина пилоповітряного потоку, яка не встигла пройти через отвори між жалюзями 3 відокремлювача 2 в циліндричній частині корпусу 1, проходячи через завихрував 8, набуває обертового руху, завдяки якому основна частина зважених частинок знов відкидається до стінки корпусу апарата 1 і спіралеподібним рухом, який направлений вниз, поступає через розвантажувальний пристрій 12 у бункер 13.

Очищений від крупнодисперсних частинок пилу, потік повітря разом із дрібнодисперсною частиною пилу огинає відокремлювач 2 і направляється спіралеподібним рухом, який направлений вгору (вторинний вихор), у відокремлювач 2, який обертається.

У внутрішню частину відокремлювача 2 через форсунку 6 поступає вода, яка відцентровою силою притискається до внутрішньої поверхні кожної жалюзі 3 відокремлювача 2 та утримується кільцевим диском 5, розподіляючись жалюзі 3 відокремлювача 2 рівномірним шаром. Невловлений дрібнодисперсний пил, потрапляючи всередину відокремлювача 2 із вторинним потоком, також притискається до внутрішньої поверхні водяного шару на стінках жалюзі відокремлювача.

Із збільшенням товщини шару води, яка поступає через форсунку 6, та його частина, що виходить за межі диску 5, разом із частинками коагульованого пилу направляється в конічну частину корпусу 1, підхоплюється потоком крупнодисперсного пилу, який рухається спіралеподібним рухом вниз до розвантажувального пристрою 12 в бункер 13, а очищене повітря, піднімаючись угору всередині відокремлювача, через щілини 7 виходить у відсмоктуючу камеру 10 і в подальшому виводиться із апарату через патрубок виходу очищеного повітря 11, чому сприяє створене розрідження всередині жалюзійного відокремлювача 2. Наявність жалюзійного відокремлювача 2 з кільцевим диском 5 у нижній своїй частині запобігає виносу дрібнодисперсної частини пилу з апарату разом із очищеним повітрям, що сприяє підвищенню ефективності уловлення пилу.

Для підсилення ефекту відцентрово-інерційного очищення жалюзійний відокремлювач 2 має можливість обертатися навколо осі пиловловлювача за допомогою двигуна 4 і швидкість його обертання прямо пропорційно залежить від швидкості входу пилоповітряної суміші в апарат через вхідний патрубок 9, що корегується числом обертів двигуна. За рахунок обертового руху жалюзійного відокремлювача 2 підсилюється ефект відцентрового очищення повітря від пилу і сила відбиття частинок пилу від жалюзі (скорочується кількість стикань), що, в свою чергою веде до підвищення ефективності очищення.

Таким чином, у запропонованому пиловловлювачі відбуваються такі етапи очистки повітря від пилу:

- перший – відцентровий у циліндричній частині корпусу апарату зразу після входу пилоповітряної суміші у пиловловлювач 4;
- другий – інерційний в процесі проходження суміші через щілини між жалюзями відокремлювача;
- третій – знову відцентровий в процесі проходження через завихрувач;
- четвертий – відцентровий всередині жалюзійного відокремлювача в процесі притискування до внутрішньої поверхні жалюзі;
- п'ятий – мокрий в процесі потрапляння потоку на шар води;
- шостий – у процесі проходження через щілини у верхній частині відокремлювача потоку у відсмоктуючу камеру.

5.3. Експериментальні дослідження пиловловлювачів

З метою співставлення характеристик роботи новостворених пиловловлювачів із існуючими проведені дослідження запропонованих і розроблених апаратів на стандартному експериментальному стенді (рис. 2.3), встановленому в НУ "Львівська політехніка" на стандартному експериментальному пилу – кварцовому піску, дисперсний склад якого наведений в таблиці 2.4 (медіанний діаметр пилу $(8, 16, 32 \text{ і } 50) \cdot 10^{-6} \text{ м}$).

Були визначені залежності ефективності пиловловлення:

- на рис. 5.5, 5.7, 5.9 – від витрат повітря в стенді для пилу з медіанним діаметром $(8, 16, 32, 50) \cdot 10^{-6}$ м;

- на рис. 5.5, 5.8, 5.10 – від медіанного діаметру пилу (δ_{50}) за різних витрат повітря: 1000, 2000, 3000, 3500 м³/год.

Порівняльні дослідження пиловловлювачів для апарату 1 типу наведені в табл. А.1 додатку А, для апарата 2 типу – у табл. А.2 додатку А, для апарата 3 типу – у табл. А.3 додатку А.

Експериментальні дані, наведені в додатку А таблиць використані також для побудови графіків, які представлені на рис. 5.11 і 5.12.

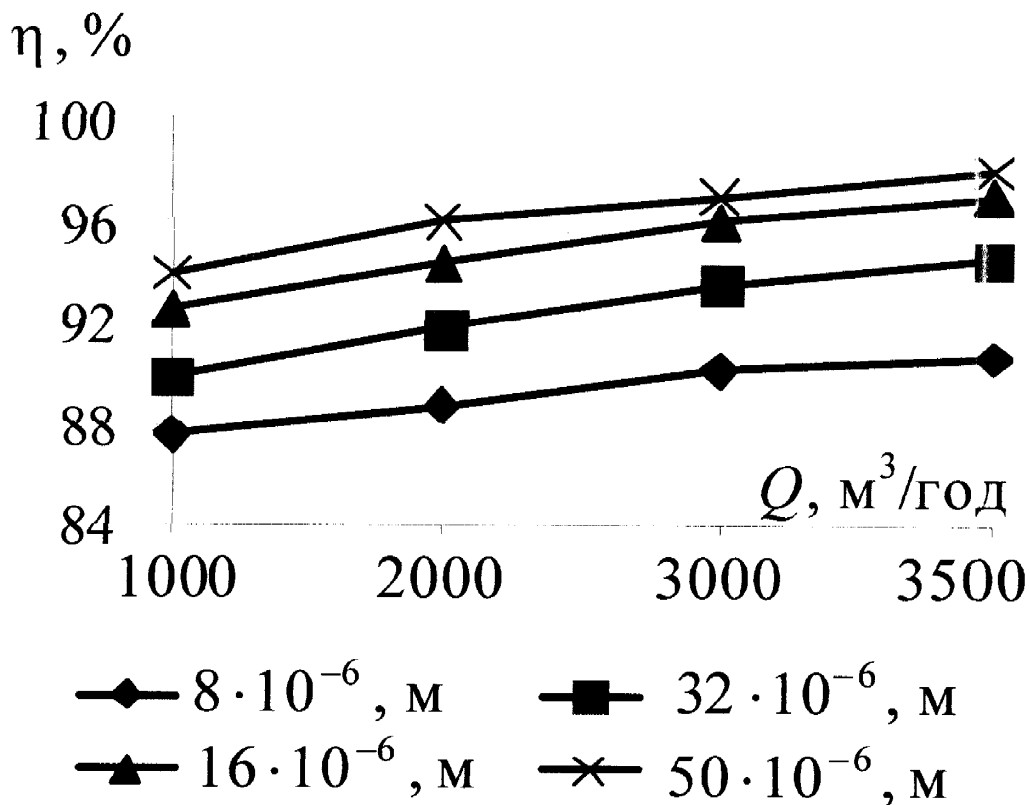


Рисунок 5.5 - Залежність ефективності роботи апарату 1 типу від витрат повітря.

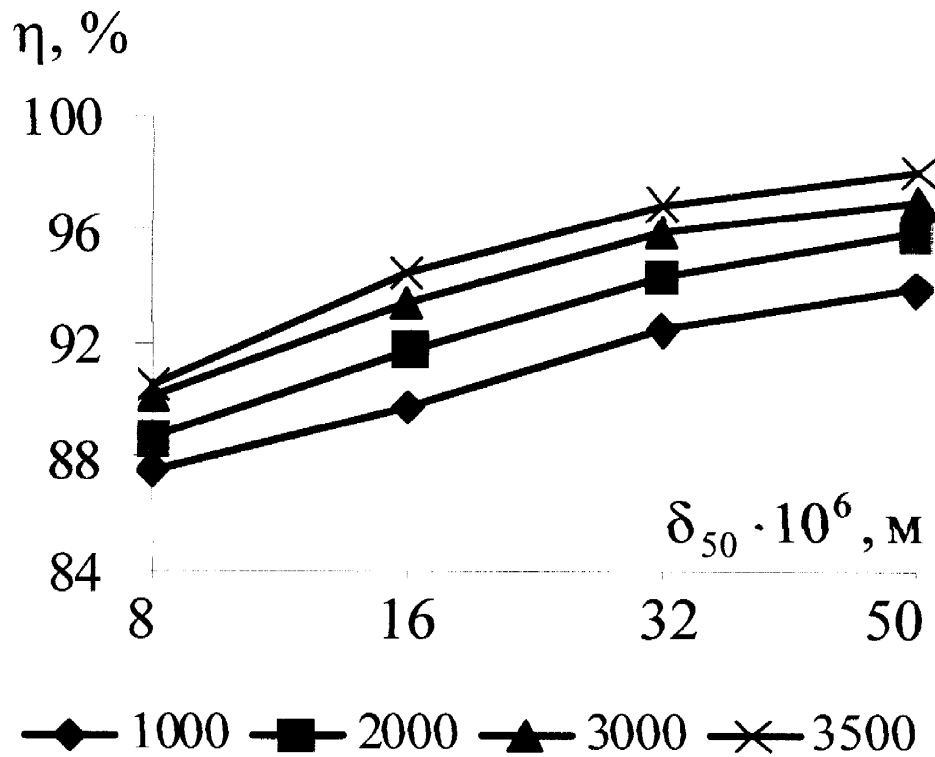


Рисунок 5.6 - Залежність ефективності роботи апарату 1 типу від медіанного діаметра пилу.

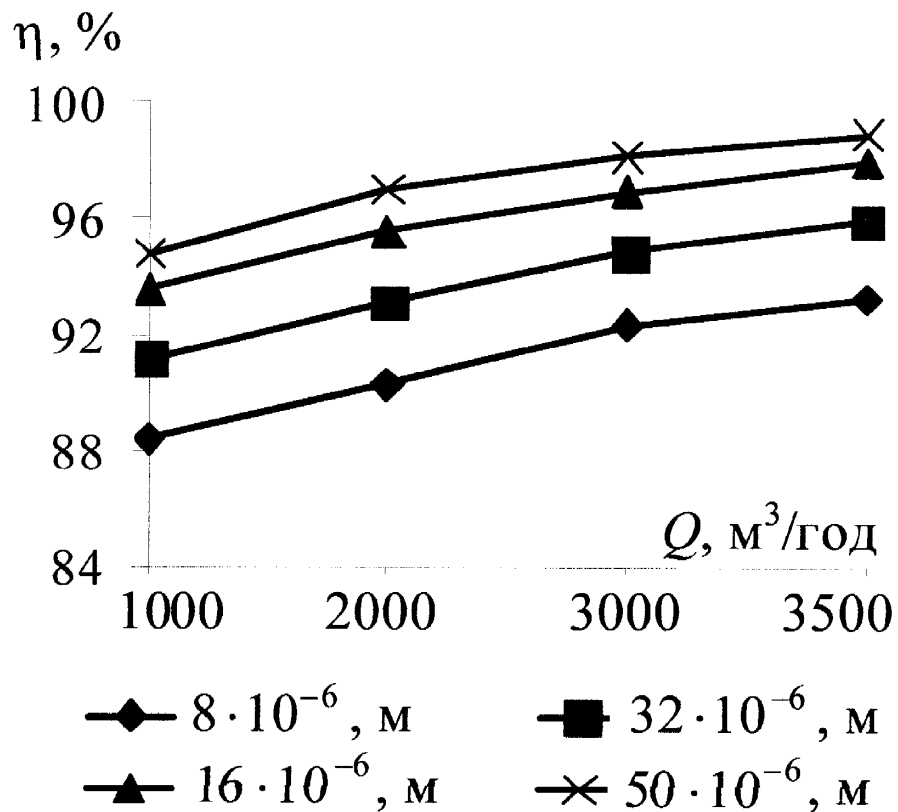


Рисунок 5.7 - Залежність ефективності роботи апарату 2 типу від витрат повітря.

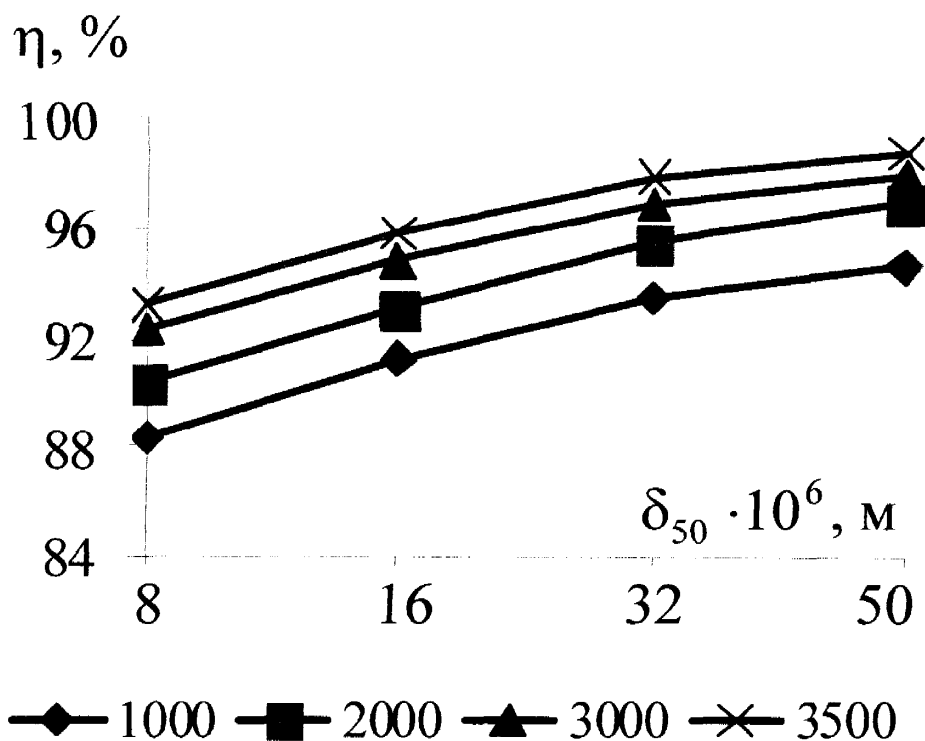


Рисунок 5.8 - Залежність ефективності роботи апарату 2 типу від медіанного діаметра пилю.

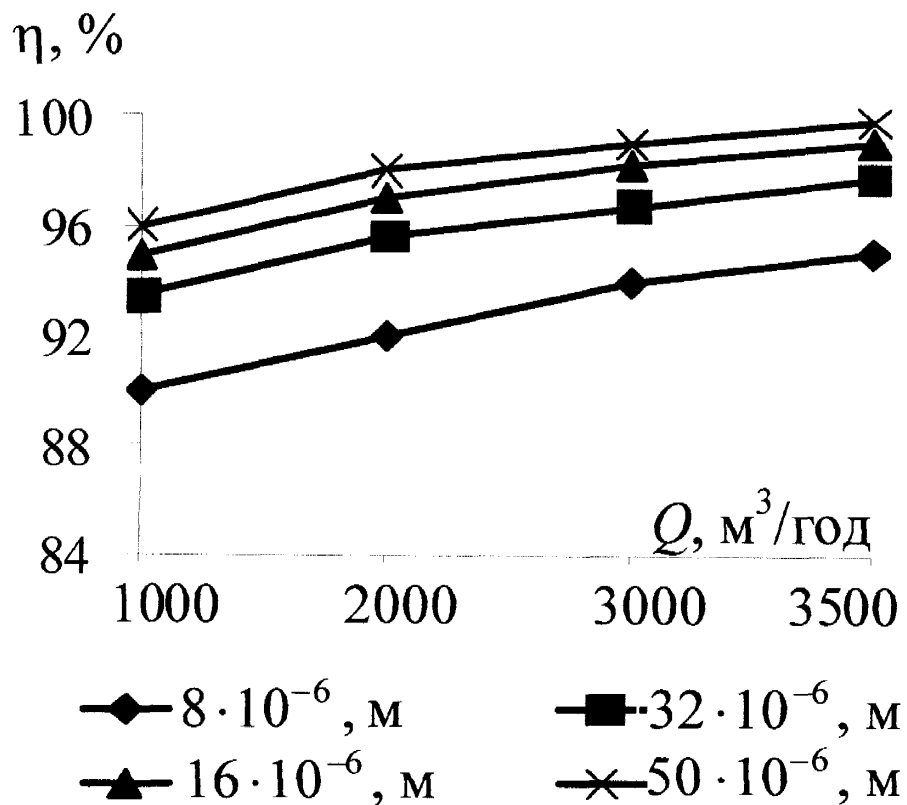


Рисунок 5.9 - Залежність ефективності роботи апарату 3 типу від витрат повітря.

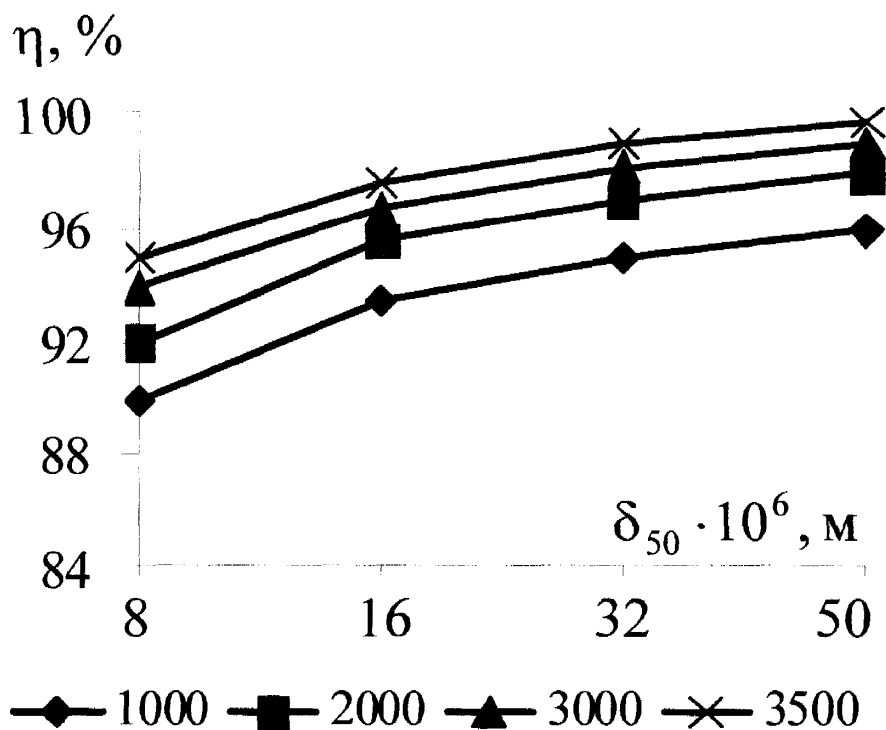


Рисунок 5.10 - Залежність ефективності роботи апарату 3 типу від медіанного діаметра пилу.

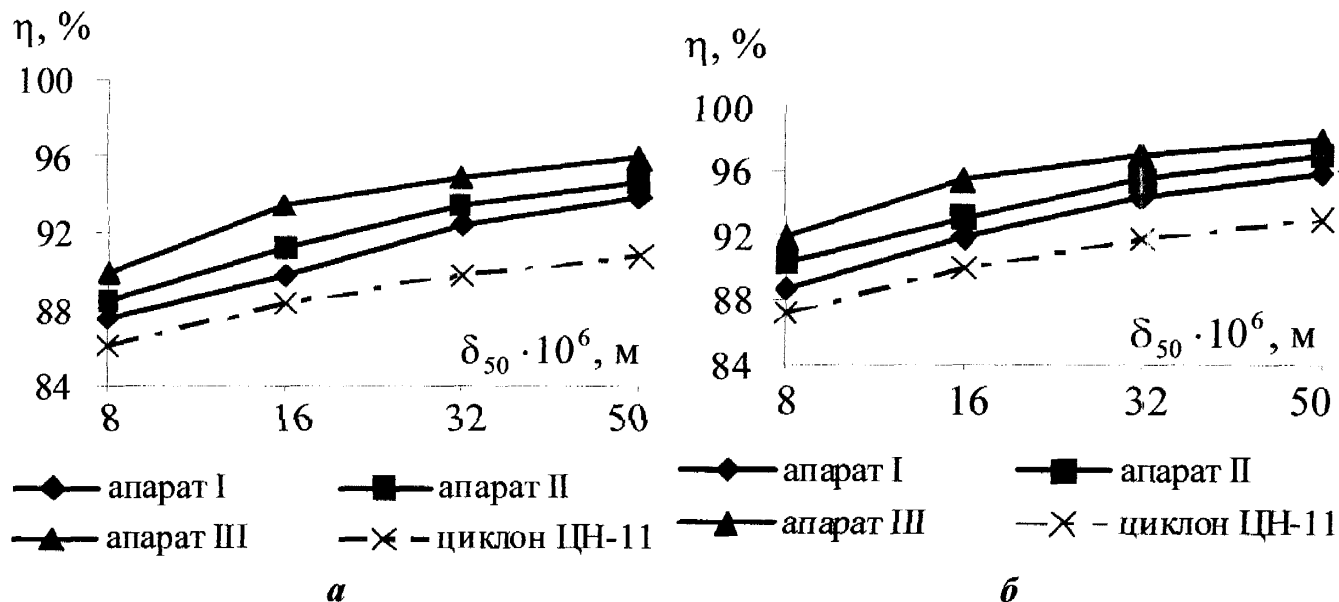
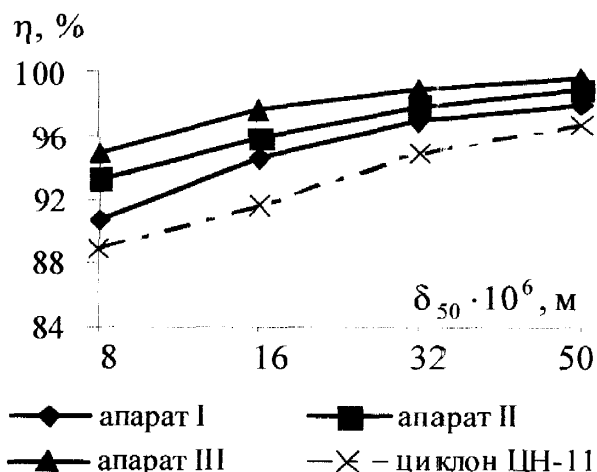
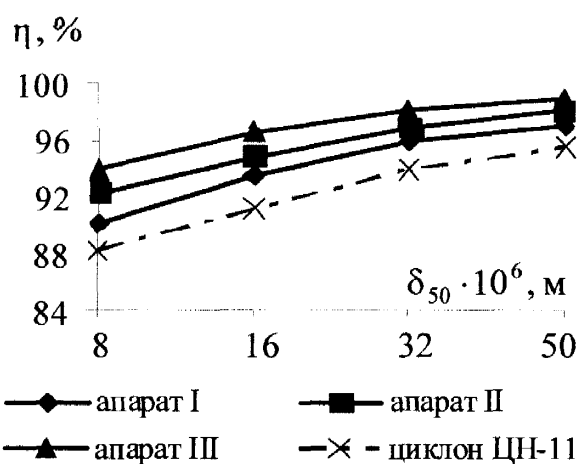


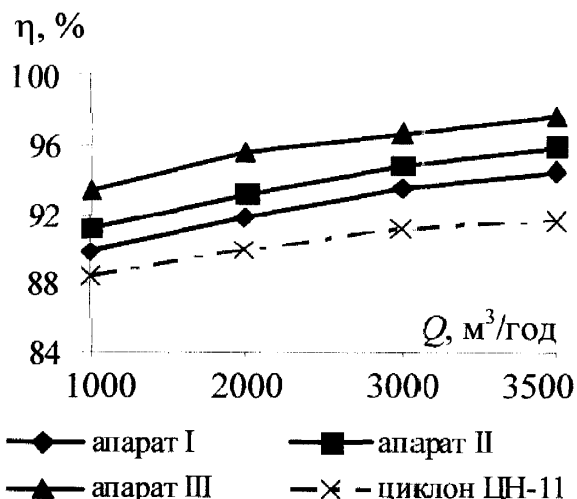
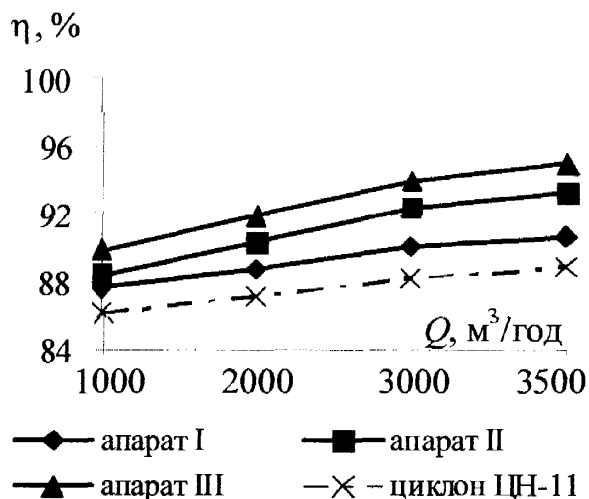
Рисунок 5.11 - Залежності ефективності пиловловлення від медіанного діаметру пилу (δ_{50}) при витратах повітря: а – 1000 $\text{m}^3/\text{год}$; б – 2000 $\text{m}^3/\text{год}$.



б

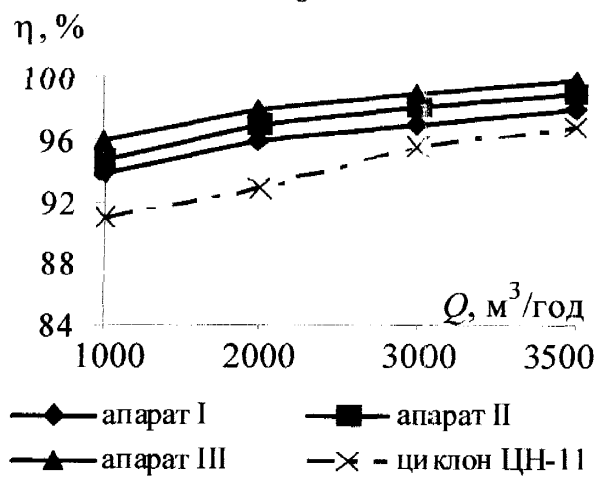
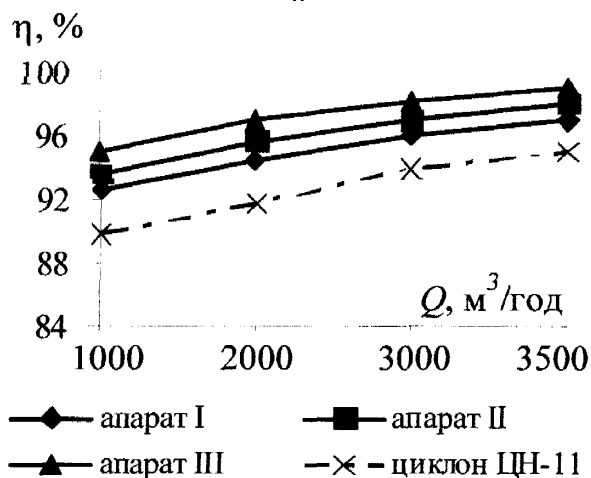
з

Рисунок 5.12 - Залежності ефективності пиловловлення від медіанного діаметра пилу (δ_{50}) при витратах повітря: б – 3000 м³/год; з – 3500 м³/год.



а

б



в

з

Рисунок 5.13 - Залежності ефективності пиловловлення від витрати повітря для пилу з медіанним діаметром: а – $8 \cdot 10^{-6}$ м; б – $16 \cdot 10^{-6}$ м; в – $32 \cdot 10^{-6}$ м; з – $50 \cdot 10^{-6}$ м.

Для всіх експериментів як еталон прийнятий найбільш поширений у ливарному виробництві циклон ЦН – 11.

У результаті експериментальних досліджень було визначено залежність гідравлічного опору апаратів від витрат повітря на стенді для пилу з медіанним діаметром $50 \cdot 10^{-6}$ м (рис. 5.14).

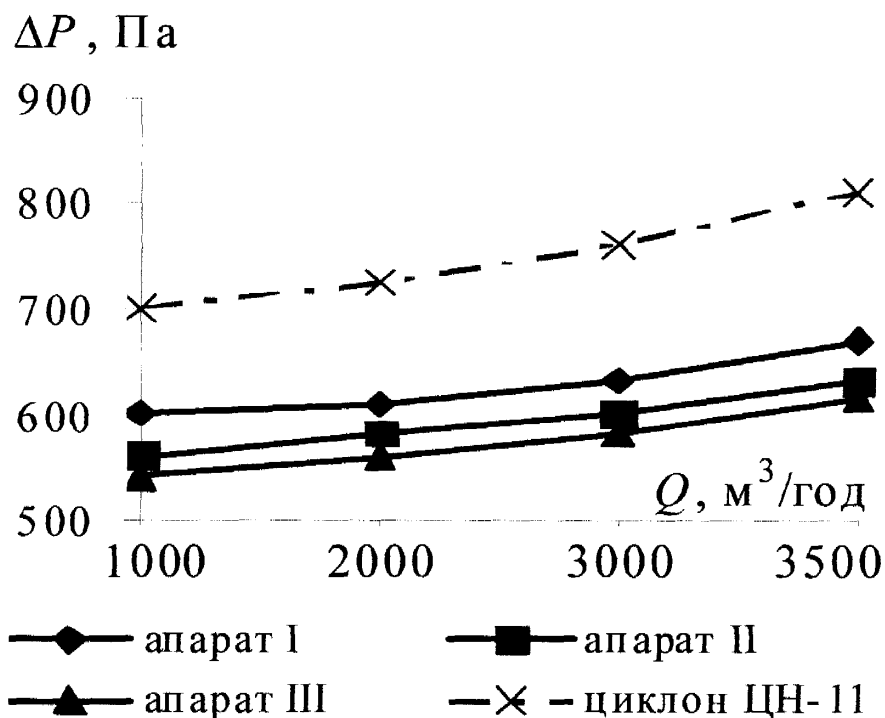


Рисунок 5.14 - Залежність гідравлічного опору апаратів від витрат повітря для пилу з медіанним діаметром $50 \cdot 10^{-6}$ м.

На всіх графіках спостерігаються такі спільні тенденції:

- зростає ефективність пиловловлення з переходом від циклону ЦН-11 до першого апарата, потім до другого і нарешті до третього апарата, тобто третій варіант пиловловлювача має найвищу ефективність роботи;

- зі збільшенням медіанного діаметру пилу незалежно від конструктивного виконання пиловловлювача ефективність пиловловлення зростає;

- зі збільшенням витрат повітря в стенді ефективність пиловловлення збільшується.

Усі ці закономірності можна пояснити таким чином. Збільшення медіанного діаметру пилу призводить до збільшення відцентрової та інерційної сили, а також сили ваги, які визначають процес виділення аерозолів із пилогазового потоку в усіх без винятку апаратах, які ми досліджували.

Збільшення витрат повітря в стенді приводить до збільшення швидкості руху пилогазової суміші, як в корпусі апарата, так і в процесі проходження через щілини між жалюзі відокремлювача, що своєю чергою збільшує величину сил відцентрових, інерційних і сил тяжіння та веде до збільшення ефективності пиловловлення.

Порівняльні дослідження запропонованих трьох конструкцій відцентрово-інерційних пиловловлювачів і циклона ЦН-11 – еталона довели, що найгірший з них, виконаний за варіантом I, перевищує ефективність еталону на 0,8-1,2 %; апарат, виконаний за варіантом II, – на 2-3 %, а апарат, виконаний за варіантом III – на 3-5%, що пояснюється конструктивними особливостями кожного з них.

Експериментальні дослідження запропонованих апаратів у порівнянні з найкращим із існуючих апаратів циклоном ЦН-11 дозволяють стверджувати про значне (до 4-7 %) підвищення ефективності уловлення дрібнодисперсного пилу в запропонованій системі пилоочищення, а це відкриває широкі перспективи для впровадження запропонованої конструкції й дозволяє знизити промисловий негативний вплив на атмосферу і зменшити загрозу глобальних наслідків для майбутніх поколінь шляхом проведених відповідних інженерних рішень щодо попередження викидів дрібнодисперсних аерозолів.

Переваги запропонованих конструкцій пиловловлювачів очевидні. Збільшення ефективності пиловловлення в запропонованих апаратах досягається вибором оптимальних параметрів руху пилогазової суміші в апараті:

- швидкість входу пилогазової суміші в апарат – 22-25 м/с;
- швидкість проходження очищеного повітря через щілини 7 між жалюзіями 6 відокремлювача – 7-10 м/с.

5.4. Аспекти впровадження результатів дисертаційних досліджень

Впровадження запропонованих конструкцій пиловловлювачів проводилося на ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА», яке розташоване у смт Калинівка Васильківського р-ну Київської обл. і має такі характеристики: основне виробництво – точне лиття під тиском, допоміжне – ремонтне, а також хімічну лабораторію. За результатами проведеної інвентаризації встановлено, що на підприємстві розміщено десять джерел викидів забруднюючих речовин: дев'ять вентиляційних систем та один неорганізований викид. На підприємстві на перспективу планується введення в дію ділянки виробництва форм та стержнів, ділянки лиття в піщаних сумішах на основі рідкого скла, а також зростання обсягів виробництва, яке може призвести до збільшення викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

Основне виробництво – точне лиття під тиском: джерела № 1 та №3 – вентиляційні системи ВУ-1 та ВУ-3 з нижньої зони ливарного цеху кожна; джерело № 2 – вентиляційна система ВУ-2 (обладнана циклоном ЦН-15 $D = 650$ м, $\kappa = 91\%$), що видаляє пилогазову суміш від трьох печей ИЛК, трьох ливарних машин та одного заточувального верстата; джерела № 4 та №8 – вентиляційні системи ВУ-4 та ВУ-8, що видаляють пилогазову суміш від однієї печі ИЛК та однієї ливарної машини кожна; джерело № 7 – неорганізований викид від одного місця газової різки сталі вуглецевої легованої.

Допоміжне – ремонтне виробництво: джерело № 5 – вентиляційна система ВУ-5, що видаляє пилогазову суміш від одного місця зварювання; джерело № 6 – вентиляційна система ВУ-6, що видаляє пилогазову суміш від однієї муфельної печі та однієї ванни закалювання.

Хімічна лабораторія: джерело № 9 – вентиляційна система ВУ-8, що видаляє пилогазову суміш від однієї муфельної печі та однієї хімічної шафи; джерело № 10 – вентиляційна система ВУ-9, що видаляє пилогазову суміш від складу хімікатів.

Служба охорони навколишнього середовища – відсутня.

Кількість джерел викидів – 10.

Кількість забруднюючих речовин – 15.

Загальний викид забруднюючих речовин – 2,6 т/рік.

Згідно санітарною класифікацією по ДСП 173–96 розмір санітарно-захистної зони для підприємства ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА» – 300 метрів (3 клас небезпеки підприємства). Підприємство: ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА» знаходиться в промисловій зоні. До найближчого житлового будинку – 800 метрів. Карта-схема підприємства з нанесенням джерел викидів наведені на рис. 5.15.

Умовні вісі координат направлені: Ох – з заходу на схід; Оу – з півдня на північ.

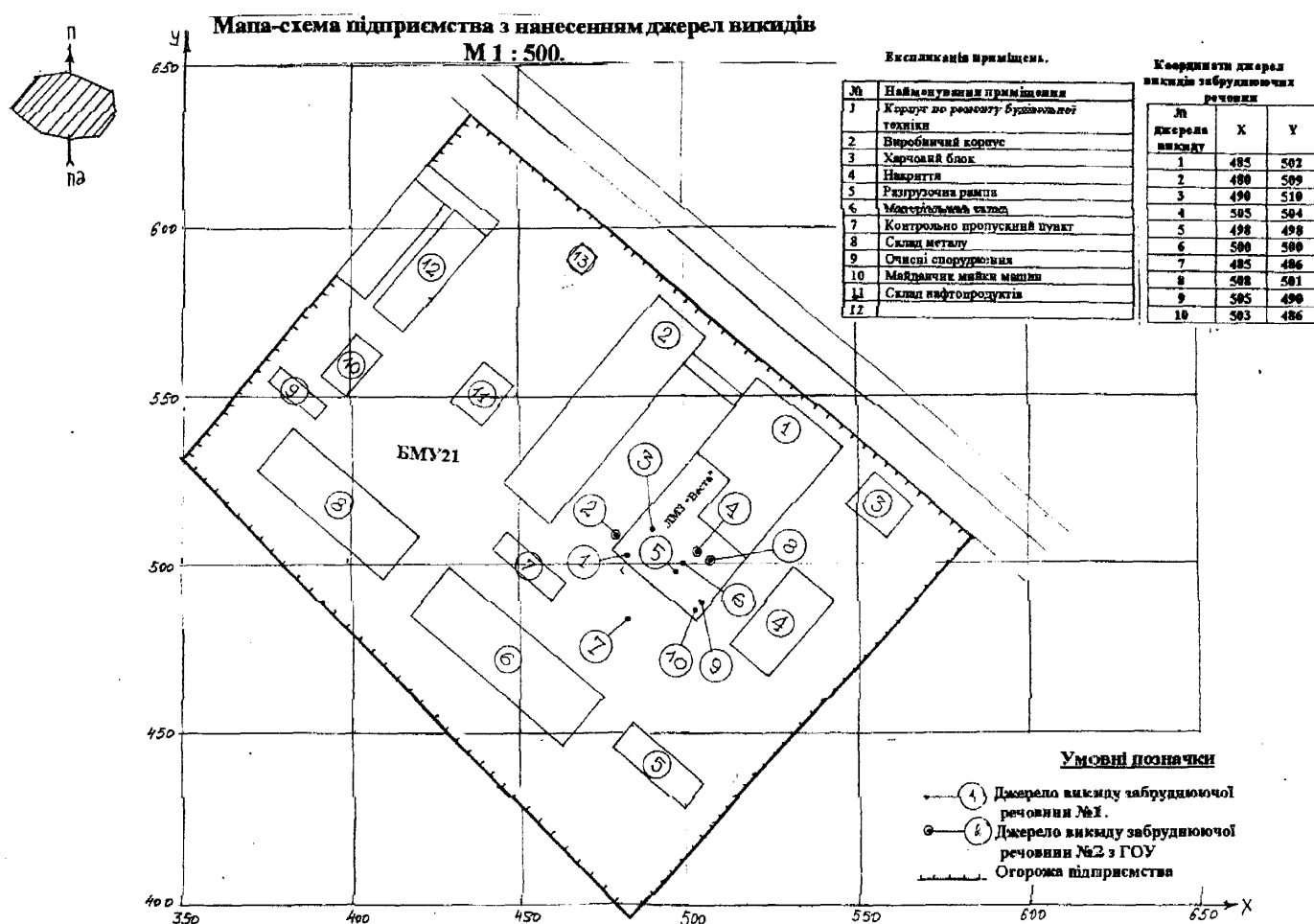


Рисунок 5.15 - Карта-схема підприємства з нанесенням джерел викидів та контурів підприємства М 1:500.

Згідно із заключним договором про спільну діяльність (додаток Б1) ми проводили дослідження нових систем пиловловлювання на ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА» шляхом розроблення, проектування, виготовлення та встановлення нових пилоочисних установок для очищення пилогазового потоку від пилу свинцю та його сполук, міді оксиду та цинку оксиду, пилу сполук латуні на вентиляційних установках В-2, В-4, В-7. Результати досліджень відображені актами (Б2 – Б5). Із наведених у актах впровадження наукової роботи випливає, що позитивні результати отримано в процесі випробувань всіх трьох типів пиловловлюючих апаратів, які захищені патентами України і робота яких детально проаналізована у цьому розділі. У випадках уловлювання пилу вентиляційних установок, які забезпечують газовідведення від печей ИЛК, ливарних машин, заточувальних верстатів із використання для всіх досліджуваних типів пилоочисних апаратів ефективність уловлювання пилу перевищувала ефективність пилоуловлювання циклонів ЦН-11, які встановлені на аналогічних виробництвах, на 9-10% із одночасним зменшенням гідравлічного опору і витрат металу та економної роботи вентилятора. Це підтверджує ефективність розробок та перспективність їх застосування для забезпечення екологічної безпеки ливарних виробництв.

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес у лекційних курсах та практичних роботах з дисциплін «Технології та устаткування для очищення газових викидів» на кафедрі екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка» для студентів спеціальності 7.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища», що підтверджується відповідним листом (Додаток В).

5.6. Висновки з розділу 5

У 5 розділі дисертації наведено розроблену фізичну модель руху пилогазового потоку у відцентрово-жалюзійних пиловловлювачах. Усі запропоновані апарати захищені патентами України. Запропоновано і випробувано 3 типи апаратів із рухомим відокремлювачем: 1 тип – із відокремлювачем циліндричного виду; 2 тип – з відокремлювачем, який складається із 4 секцій, розташованих в одній

радіальній площині з діаметрами, які збільшуються в напрямку до пиловипускного патрубку з певним відношенням діаметра попередньої секції до наступної (ефективний для очищення пилу із великою кількістю дрібнодисперсної фракції), 3 тип – із відокремлювачем, у нижню частину якого форсункою подається вода, що сприяє додатковому вловлюванню тонкодисперсного пилу.

Дослідження запропонованих і розроблених апаратів проведені на стандартному експериментальному стенді в НУ "Львівська політехніка". У результаті досліджень встановлено:

- зростає ефективність пиловловлення з переходом від циклона ЦН-11 до першого апарата, потім до другого і нарешті до третього апарата, тобто третій варіант пиловловлювача має найвищу ефективність роботи;

- зі збільшенням медіанного діаметру пилу незалежно від конструктивного виконання пиловловлювача ефективність пиловловлення зростає;

- зі збільшенням витрат повітря на стенді ефективність пиловловлення збільшується.

Порівняльні дослідження запропонованих трьох конструкцій відцентрово-інерційних пиловловлювачів і циклона ЦН-11 – еталона довели, що найгірший з них, виконаний за варіантом I, перевищує ефективність еталона на 0,8-1,2 %; апарат, виконаний за варіантом II, – на 2-3 %, а апарат, виконаний за варіантом III – на 3-5%. Збільшення ефективності пиловловлення у запропонованих апаратах досягається вибором оптимальних параметрів руху пилогазової суміші в апараті:

- швидкість входу пилогазової суміші в апарат – 22-25 м/с;

- швидкість проходження очищеного повітря через щілини 7 між жалюзями 6 відокремлювача – 7-10 м/с.

Впровадження запропонованих конструкцій пиловловлювачів проводилося на ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА», яке розташовано у смт Калинівка Васильківського р-ну Київської обл. Результати досліджень підтвердили ефективність розробок та перспективність їх застосування для забезпечення екологічної безпеки ливарних виробництв.

Експериментальні та теоретичні результати, які наведені у цьому розділі, детально висвітлені в публікаціях [104, 111 – 115, 117, 110, 118, 123, 125 - 127, 134 – 139, 142 - 144].

ВИСНОВКИ

1. Для забезпечення екологічної безпеки ливарних виробництв запропоновано комплекс технічних заходів, які включають впровадження екологічно безпечних формувальних сумішей легкої регенерації для зменшення кількості твердих відходів та впровадження пиловловлювачів із жалюзійним відокремлювачем, який обертається, для зменшення забруднення атмосфери дрібнодисперсним пилом.
2. Запропоновано стратегію створення екологічно безпечних та економічно виправданих формувальних сумішей, здатних до регенерації та повторного використання шляхом використання композицій на основі рідкого скла, покращену здатність до вибивання та високу здатність до регенерації якої забезпечує введення як добавки відходів виробництв вогнетривів – шамотно-каолінового пилу.
3. Встановлено оптимальний склад формувальної суміші на основі рідкого скла та шамотно-каолінового пилу: пісок – 89 %; рідке скло – 5 %; шамот-каоліновий пил – 5% (ступінь дегідратації 30-60%); гідроксид натрію –1%.
4. Побудовано математичну модель руху потоків пилу в пиловловлювачі з обертним жалюзійним відокремлювачем, аналіз якої свідчить про доцільність організації обертання відокремлювача назустріч рухові повітряних потоків у вхідному патрубку із кутовою швидкістю 5 рад/с.
5. Створено комплекс високоефективного пиловловлюючого обладнання для очищення повітря від дрібнодисперсного пилу в ливарно-механічних виробництвах (3 типи апаратів, кожен із яких захищений патентом України).
6. Проведено комплексні експериментальні дослідження щодо визначення раціональних параметрів роботи пиловловлювачів із відокремлювачем, який обертається, у результаті яких шляхом порівняння із еталонним пиловловлювачем (циклоном ЦН-11) встановлено, що апарат типу 1 перевищує ефективність

еталону на 0,8-1,2 %; апарат типу 2 – на 2-3 %, а апарат типу 3 – на 3-5% із одночасним зменшенням гідравлічного опору.

7. Апробація пропонованих заходів щодо зменшення екологічної небезпеки ливарно-механічних виробництв шляхом вловлювання пилу проведена на ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА». Результати досліджень підтвердили ефективність розробок та перспективність їх застосування для забезпечення екологічної безпеки ливарних виробництв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности – наука о выживании в техносфере / Белов С. В. // М: ВИНТИ, Проблемы безопасности при чрезвычайных обстоятельствах. – 1996. – Вып. 1. – С. 26-37.
2. Боков В. А. Основы экологической безопасности / В. А. Боков, А. В. Лущик // Симферополь: СОНАТ. – 1998. – 223 с.
3. Гловацкая Н. Безопасность человека и общества: новые ориентиры социально-экономического развития / Н. Гловацкая, С. Лазуренко, И. Жукова. // Вопросы экономики. – 1992. – № 1. – С. 41-52.
4. Дорогунцов С. Методологічні аспекти оцінки ризику та наслідків техногенно небезпечних подій / С. Дорогунцов, А. Федорищева. // Екон. України. – 1994. – № 2. – С. 30-39.
5. Урсул А. Экологическая безопасность: развитие, проблемы перспективы / А. Урсул // Социально-политические науки. – 1991. – № 12. – С. 3-11.
6. Акімов В.І. Стан атмосферного повітря в м. Кременчуці та вплив на здоров'я мешканців міста / В. І. Акімов, М. Д. Закіпний // Довкілля та здоров'я. – 2001. – №2(17). – С. 70.
7. Музичук Н. Т. Вплив забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення / Н. Т. Музичук. // Довкілля та здоров'я. – 2000. – №2(13). – С. 38 – 42.
8. Бердник О. В. Екологічні аспекти оцінки стану здоров'я населення / О. В. Бердник, Л. В. Серих. // Довкілля та здоров'я. – 2001. – №2(17). – С. 32-33.
9. Мухин В. В. Новые подходы к оценке загрязнения атмосферного воздуха по результатам анализа выбросов промышленных предприятий / В.В. Мухин, О.Н. Путилина, Т. Е. Теплова, О.И. Козлова. // Довкілля та здоров'я. – 2001. – №2(17). – С. 53-57.
10. Гоц Т. Ю. Захворюваність населення України на бронхіальну астму і поширеність алергенних чинників повітря / Т. Ю. Гоц // Довкілля та здоров'я. – 2004. – №3(30). – С. 8-10.

11. Литвинова О. Н. Оцінка впливу екологічних чинників на показники захворюваності / О. Н. Литвинова, М. Ю. Антомонов . // Довкілля та здоров'я. – 2002. – №3(22). – С. 68-69.
12. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2000 році. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2001.
13. Гидаспов Б. Научно-технический прогресс, безопасность и устойчивое развитие цивилизации / Б. Гидаспов, И. Кузьмин, Б. Ласкин и др. // Журн. Всесоюз. хим. об-ва. – 1990. – № 1. – С. 9-14.
14. Коммонер Б. Замыкающийся круг: природа, человек, технология / Коммонер Б. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 279 с.
15. Крисаченко В. Людина і біосфера: основи екологічної антропології / В.Крисаченко // К.: Заповіт. – 1998. – 688 с.
16. Ларичев О. Методологические проблемы анализа риска и безопасности использования новых технологий. Системные исследования. Методологические проблемы / О. Ларичев, А. Мечитов // М.: Наука, 1988. – С. 26-44.
17. Александрова Т. Нормирование антропогенно-техногенных нагрузок на ландшафт. Состояние проблемы. Возможности и ограничения / Т. Александрова // Изв. АН СССР. Сер.: География, – 1990. – №1. – С. 46-55.
18. Качинський А. Екологічна безпека України: аналіз, оцінка та державна політика / А. Качинський, Г. Хміль // К.: НІСД, – 1997. – 127 с. (Сер. “Екологічна безпека”; Вип. 3.)
19. Гордон Г. М. Пылеулавливание и очистка газов / Г.М Гордон, И.Л.Пейсахов. // М.: Металлургия, 1968. – 396 с.
20. Алиев Г.М. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок / Г. М. Алиев // М: Металлургия, 1983. – 296 с.
21. Дубинін А. І. Перспективні напрямки вдосконалення конструкції циклонів / А. І. Дубинін, В.В. Майструк // Вісник ДУ "Львівська політехніка": Хімія, технологія речовин та їх застосування. – Львів: ДУ "Львівська політехніка", 1996. № 3. – 117 с.

22. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 360 с.
23. Алиев Г. М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов / Г. М. Алиев. – М.: Metallurgia, 1986. – 544 с.
24. А.с. 638382 СССР, МКИ В01С 3/06. Гидроциклон / И.И.Кравченко (СССР). – № 2483313/23 - 26; заяв. 11.05.77; опубл. 05.06.79, Бюл. № 13. – 1 с.
25. А.с. 598651 СССР, МКИ В04С 3/06. Гидроциклон / В.А.Вайдуков, Н.И.Глаголев (СССР). – № 2433636 / 23 – 26; заяв. 27.12.76; опубл. 5.10.77, Бюл. № 15. – 2 с.
26. А.с. 1041161 СССР, МКИ В04С 7/00. Циклон / А.П.Кулик, Б.П.Гончарук (СССР). – № 3400160 / 23 – 26; заяв. 25.02.82; опубл. 15.09.83, Бюл. № 34. – 2 с.
27. А.с. 1096003 СССР, МКИ В04С 5/02. Циклонный элемент / А.К.Панов, Т.Ф.Ильина, Н.А. Артамонов (СССР). – № 3476933 / 23 – 26 ; заяв. 23.07.82; опубл. 7.07.84, Бюл. № 21. – 2 с.
28. Cyclone dust collector. – Chem. Eng., – 1977, February 14. – P. 65 - 72.
29. Нигматулин Р. И. Основы механики гетерогенных сред / Р. И. Нигматулин. – М.: Наука, 1978. – 336 с.
30. Пат. 2062139 РФ, МКИ В01 Д 45/08. Газожидкостной сепаратор / О. И. Квасенков, О. И. Андропова; заявитель и патентообладатель Всероссийский НИИ консервной и овощесушильной промышленности. – заявл. 09.09.93; опубл. 20.06.96, Бюл. №17.
31. Пат. 4971613 США, МКИ В01 Д45/00/ Vane extractor with extended drain; Valliant Charter D/ Peerless Manufacturing Co. – заявл. 19.07.89; опубл. 20.11.90, НКИ 55/440.
32. Пат. 97126413 Україна. Пиловловлювач / В. А. Батлук. – заявл. 29.12.97; опубл. 15.02.98, Бюл. № 2. – 4 с.
33. Пат. 97126441 Україна. Пиловловлювач / В. А. Батлук. – заявл. 30.12.97; опубл. 7.04.98, Бюл. № 4. – 5 с.
34. Пат. 98010020/0020 Україна. Золовловлювач / В. А. Батлук. – заявл. 5.01.98; опубл. 10.11.99, Бюл. № 11. – 5 с.

35. Дорошенко С. П. Формовочные и стержневые смеси с жидким стеклом. / С. П. Дорошенко и др. // Литейное производство. – 1996. – Т. 2. – С.20-21.
36. Формовочные смеси на жидком стекле. С. науч. тр. – М.: Машиностроение, 1964. – 66 с.
37. Дорошенко С. П. Состояние и перспективы применения жидкостекольных смесей / С. П. Дорошенко, А. П. Макаревич // Литейное производство. – 1990. – Т. 2. – С. 14-15.
38. Рыжков И. В. Физико-химические основы формирования свойств с жидким стеклом / И. В. Рыжков, В. С. Толстой // Харьков: Вища школа, 1975. – 140 с.
39. Матвеев М. А. Растворимость стеклообразованных силикатов натрию / М. А. Матвеев. – М.: Промстройиздат, 1958. – 96 с.
40. Айпер Р. Химия кремния. / Р. Айпер. – М.: Изд. Мир, 1982. – Т. 1. – 416 с.
41. Куколев П. В. Химия кремния и физическая химия силикатов / П. В. Куколев. – М.: Высшая школа, 1966. – 436 с.
42. Лясс А. М. Быстротвердеющие формовочные смеси / А. М. Лясс. – М.: Машиностроение. – 1965. – 332 с.
43. Григорьев П. Н. Растворимое стекло / П. Н. Григорьев, М. А. Матвеев. – М.: Промстройиздат, 1956. – 444 с.
44. Физическая химия силикатов / Под ред. А. А. Пащенко. – К: Вища школа. – 1977. – 384 с.
45. Тило Э. О средних и кислых солях низкомолекулярных кремневых кислот и продуктах их конденсации / Э. Тило, Г. Функ, Е. М. Вихман // Сб. Физическая химия силикатов. – М: Изд-во иностр. лит., 1956. – С. 5-77.
46. Лясс А. М. Пути улучшения выбиваемости смесей с жидким стеклом. / А. М. Лясс, И. В. Валисовский // Сб. науч. тр. – М.: ЦНИИТМАШ, 1960 – 78 с.
47. Великанов Г. Ф. Прочность формовочных смесей / Г.Ф. Великанов, И. Н. Примак, А. А. Бречко // Литейное производство. – 1986. – Т. 3. – С. 11.

48. Шадрин Н. И. Механизм разупрочнения жидкостекольных смесей при нагреве / Н. И. Шадрин, С. С. Жуковский, С. Д. Деменьтьева // Литейное производство. – 1986. – Т. 2. – С. 8-10.

49. Сычев И. С. Влияние фосфатов на свойства жидкого стекла и формовочных смесей / И. С. Сычев, К. И. Вышняков, В. А. Скаженник // Литейное производство. – 1987. – Т. 7. – С. 13-14.

50. Кукуй Д. М. Модифицирование жидкого стекла фосфорсодержащими неорганическими полимерами / Кукуй Д. М., Мельников Н. Д., Шевчук В. В., Есенин В. А. // Литейное производство, 1988. – Т. 1. – С. 17-18.

51. Александров В. М. Пироуглерод в литейном производстве. / В. М. Александров, Б. А. Кулаков // Литейное производство. – 1993. – № 1. – С. 17-18.

52. Клишкин А. В. Смесей улучшенной выбиваемости. / А. В. Клишкин // Литейное производство. – 1990. – Т. 2. – С. 21-22.

53. Галибов Ю. В. Совершенствование науки самотвердеющих смесей при производстве отливок металлургического оборудования. / Ю. В. Галибов, В. С. Радя // Литейное производство. – 1990. – Т. 2. – С. 24-25.

54. Сулханов М. Н. Стержневые смеси с улучшенной выбиваемостью для стальных отливок / М. Н. Сулханов, С. С. Жуковский // Литейное производство. – 1986. – Т. 7. – С. 9-10.

55. Лясс А. М. Теоретические основы процесса формирования прочности смесей с жидким стеклом. / А. М. Лясс // Сб. науч. тр. – М. ОНТИ. – 1960. – Т. 6. – С. 5-15.

56. Авторское свидетельство СССР Т 607637, кл. В22 С 1/00, 1978.

57. Авторское свидетельство СССР Т 923046, кл. В22 С 1/02, 1984.

58. Патент України. Суміш для виготовлення ливарних форм та стержнів. Т 18877А, В 22 С1/02.

59. Авторское свидетельство Т 366028, МКИ В 22 С 1/00, 6.01.1973, бюл. Т. 7.

60. Карташов В. Т. Изменение свойств глин и бентонитов при их нагреве. / В. Т. Карташов, Я. И. Медведев, Ю. М. Погосбемян // Литейное производство. – 1986. – Т. 7. – С. 10-11.
61. Константинов Л. С. Силовое взаимодействие отливки со стержнем и его влияние на выбиваемость стержней / Л. С. Константинов, А. Е. Фонканц, Г. И. Шевчук, Н. Г. Моисеенков // Литейное производство. – 1978. – Т. 1. – С. 23.
62. Илларионов И. Е. Формовочные материалы и смеси. / И. Е. Илларионов, Ю. П. Васин // Чебоксары: Чуваш. ун-т, – 1992. – 226 с.
63. Рыжков И. В. Формовочные материалы. Конспект лекций. / И. В. Рыжков [Под ред. проф. Носкова Б. А.] – Харьков: Вища школа. – 1964. – 90 с.
64. Пащенко А. А. Вяжущие материалы / А. А. Пащенко, В. П. Сербин, Е. А. Старчевская. – К.: Вища школа, 1976. – 365 с.
65. Борисов Т. П. Исследование свойств формовочных смесей, содержащих жидкое стекло и глину / Т. П. Борсов. – Автореф. дис. канд. техн. наук. – Киев, 1964. – 18 с.
66. Богуславский А. М. Улучшение выбиваемости жидкостекольных смесей / А. М. Богуславский, Л. О. Серета, А. В. Хасин // Литейное производство. – 1990. – Т. 3. – С. 19-20.
67. Кривенко П. В. Екологічно чисті високорегенеровані формові і стрижньові суміші на основі лужного алюмосилікатного зв'язника для ливарного виробництва / П. В. Кривенко, О. А. Бродко, Г. В. Вознюк // Хімічна промисловість України, 1996. – Т. 5. – С. 22-25.
68. Шадрин Н. И. Модифицированные смеси с коалиновыми глинами по СО-процессу / Н. И. Шадрин, С. С. Жуковский, А. П. Козлов // Литейное производство, 1990. – Т. 2. – С. 21-22.
69. Бречко А. А. Формовочные и стержневые смеси с заданными свойствами / А.А. Бречко, Г.Ф. Великанов. – Л.: Машиностроение, 1982. – 216 с.
70. Лясс А. М. Экспериментальное изучение процесса мокрой регенерации отработанных жидких самотвердеющих смесей / А. М. Лясс, П. А. Борсук, З. Г. Усубов и др. – М.: ЦНИИМаш, 1968. – Т. 79-80. – С. 103-110.

71. Лясс А. М. Исследование процесса сухой регенерации отработанных жидких самотвердеющих смесейю / А. М. Лясс, П. А. Борсук, З. Г. Усубов. – М.: Труды ЦНИИМаш, 1968. – Т. 79-80. – С. 85-97.

72. Лесин А. Д. Опытнo-промышленная установка для сухой регенерации отработанных жидких самотвердеющих смесей / А. Д. Лесин, Л. М. Лейбман, Р. В. Локшина и др. – М.: Труды ЦНИИМаш, 1968. – Т. 79-80. – С. 98-102.

73. Регенерация отработанных формовочных песков. // Сб. науч. тр. – М.: НИИМаш, 1968. – 99 с.

74. Патент Англии Т 1195226, кл. В 22 С 5/00, 1970.

75. Авторское свидетельство СССР Т 87198 кл. В 22 С 5/02, 1947.

76. Авторское свидетельство СССР Т 761115 кл. В 22 С 5/02, 1980.

77. Авторское свидетельство СССР Т 1025479 кл. В 22 С 5/00, 1981.

78. Авторское свидетельство СССР Т 1435368 кл. В 22 С 5/00, 1988.

79. Макаревич А. П. Жидкостекольные формовочные и стержневые смеси. / С.П. Дорошенко, А.П. Макаревич // Литейное производство. – 1990. – Т. 2. – С. 14.

80. Проскуріна І. В. Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище від пилових викидів агломераційного виробництва металургійної промисловості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.01 „Екологічна безпека” / І. В. Проскуріна. — Суми, 2011. — 20 с.

81. Бретшайдер Б. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль / Б. Бретшайдер., И. Курфюст [Под ред. А. Ф. Туболкина]. Пер. с англ. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.

82. Белов С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов, Ф. А. Барбинов, В. В. Козьяков и др. [Под. ред. С. В. Белова]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.

83. Охорона атмосферного повітря у Черкаській області. – Ч.: Черкаське обласне управління статистики, 2002.

84. Ужов В. Н. Очистка промышленных газов от пыли / В. Н. Ужов, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков, И. К. Решидов. – М.: Химия, 1981. – 390 с.

85. Пат. на винахід №53864А В01Д45/00 від 04.12.2001. Вихровий пиловловлювач / Ю. Є. Шелюх; опубл. 17.02.2003. Бюл. № 1.
86. Пат. на винахід № 54119А В01Д45/00 від 20.05.2002. Вихровий пиловловлювач / Ю. Є. Шелюх, В. К. Батлук; опубл. 17.02.2003. Бюл. № 2.
87. Пат. на винахід № 55787А В01Д45/00 від 18.06.2002. Прямотечійний пиловловлювач / Ю. Є. Шелюх; опубл. 15.04.2003. Бюл. №4.
88. Пат. № 161604 Польща, МКИ В04 С 5/181, Циклон, Witos Wincenty, Gaweda Zbigniew. – Заявл. 28.04.89; опубл. 30.07.93.
89. Пат. № 2021856 Россия, МКИ В 04 С5/30. Инерционно-вихревой сепаратор / С. В. Геллер. – Заявл. 5.12.91; опубл. 30.10.94.
90. Пат. 262955 ЧСФР. МКИ В04 Д49/00. Sebor Vaclav. – Заявл. 29.04.87; опубл. 01.03.90.
91. Пат. № 157832 Польща, МКИ В04С 5/00. Устрійство для очистки газа / Switka Kristofor, Cizek Tadeusz. – Заявл. 20.03.89; опубл. 31.07.92.
92. Пат. 2014155 РФ, МКИ В04 С 9/00, В01Д 50/00. Пылеуловитель / В.А. Батлук (СССР). – №4923317; заявл. 01.04.91; опубл. 15.06.94; Бюл. № 11. – 7 с.
93. Пат. 1816505 РФ, МКИ В 04С 5/26. Пылеуловитель / В.А. Батлук (СССР); № 4932474/26; заявл. 29.04.91; опубл. 23.05.93, Бюл. № 19. – 4 с.
94. Патент України № 18877 А, В 22 С1/02 Суміш для виготовлення ливарних форм та стержнів // Г. Л. Звягінцев, О.П. Будьонний, С. Б. Большаніна, М.Г. Ілюха. – Бюл. № 6 від 25.12.1997.
95. Звягінцев Г. Л. Кінетика процесів структуроутворення лужно-алюмосилікатного каменю / Г. Л. Звягінцев, С. Б. Большаніна, М. С. Мальований, А. П. Будьонний // Хімічна промисловість України. – 1997. – № 3. – С. 23-26.
96. Ефремов А. Н. Оптимизация состава огнеупорных вяжущих на основе шамота и силиката натрия / А. Н. Ефремов, Т. П. Киценко, С. С. Поливцев, М. В. Деркач // Вісник Донбаської державної академії будівництва і архітектури. – Макіївка, 2005. – Вип. 1 (49). – С. 31-34.
97. Борсук П. А. Жидкие самотвердеющие смеси / П. А. Борсук, А. М. Лясс. – М.: Машиностроение, 1979. – 255 с.

98. Кривенко П. В. Екологічно чисті, високорегенеровані формові і стрижньові суміші на основі лужного алюмосилікатного зв'язника для ливарного виробництва / П. В. Кривенко, О. А. Бродко, Г. В. Вознюк // Хімічна промисловість України. – 1996. – № 5. – С. 22-25.

99. Бережной А. С. Фізико-хімічні системи тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів / А. С. Бережной, Я. М. Питак // К.: НМК ВО, 1992. – 172 с.

100. Мальований М. С. Методичний та практичний підхід до мінімізації екологічної небезпеки ливарних виробництв / М. С. Мальований, М. В. Басов, С. Б. Большаніна // Навчально-методичний семінар «Сучасний стан навчально-методичного забезпечення підготовки екологів», 28-30 травня 2014 р. – Херсон, 2014. – С. 144-147.

101. Большаніна С. Б. Утилізація твердих відходів ливарних виробництв – відпрацьованих ливарних форм / С. Б. Большаніна, М. В. Басов, М. С. Мальований // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2014. – Вип. 4/2014 (87). – С. 175-178.

102. Басов М. В. Екологічна безпека ливарно-механічних виробництв / М. В. Басов, М. С. Мальований // Матеріали III-го Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», 17-19 вересня 2014р. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2014. – С. 92.

103. Батлук В. А. Вирішення питань очистки повітря від пилу в асфальто-бетонних цехах / В. А. Батлук, Р. М. Василів, Р. Ю. Сукач, М. В. Басов // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – Харків: ХНАДУ, – 2007, Вип. 38. – С. 282-285.

104. Батлук В. А. Установка для спалювання відходів / В. А. Батлук, В. В. Батлук, Р. Є. Стець, Р. М. Василів, М. В. Басов, Р. Ю. Сукач, І. В. Проскуріна // Матеріали VII міжнародної науково-методичної конференції «Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика», 20-21 березня 2008р. – Миколаїв: НУК. –2008. – С. 174-178.

105. Батлук В. А. Принципово новий метод очистки повітря від пилу / В. А. Батлук, Р. М. Василів, М. В. Басов, Р. Ю. Сукач // Матеріали VII Міжнародної науково-методичної конференції «Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика», 20-21 березня 2008р. – Миколаїв: НУК, 2008. – С. 179-182.

106. Батлук В. А. Пиловловлення – основа вирішення проблеми техногенно-екологічного енергозбереження / В. А. Батлук, В. В. Батлук, І. В. Проскуріна, Р. М. Василів, Р. Ю. Сукач, М. В. Басов // Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції «Промислова гідравліка і пневматика», 22-23 квітня 2008 р.– Кременчук, 2008. – С. 45-46.

107. Батлук В. А. Аеродинамічні дослідження процесу очищення повітря / В. А. Батлук, Ю. Є. Шелюх, Р. М. Василів, М. В. Басов, Р. Ю. Сукач // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» «Машиностроение». – Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – № 52. – С. 267-271.

108. Батлук В. А. Профілактика професійних захворювань при виробництві будівельних матеріалів / В. А. Батлук, В. В. Батлук, М. В. Басов, Р. Ю. Сукач // Збірник матеріалів міжнародної наукової конференції «Охорона праці та соціальний захист працівників», 19-21 листопада 2008 р. – Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – С. 19-22.

109. Батлук В. А. Принципово нові перспективні методи очистки повітря від дрібнодисперсного пилу / В. А. Батлук, І. В. Проскуріна, Р. Ю. Сукач, М. В. Басов // Науково-технічний збірник “Наукові записки”. – Львів: Українська академія друкарства, 2008. – № 2(14). – С. 115-120.

110. Батлук В. А. Залежність ефективності пиловловлення відцентрово-інерційних апаратів від конструкції бункера / В. А. Батлук, М. В. Басов, В. Г. Макарчук., Р. Ю. Сукач // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика». – Вінниця: Вінницький державний аграрний університет, 2009. – № 3 (25). – С. 40-44.

111. Батлук В. А. Застосування пиловловлення для вирішення проблеми техногенно-екологічного енергозбереження / Вікторія Батлук, Роман Сукач, Микола Басов, Ігор Козира // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2009. – Tom. 11 A. – P. 115-119.

112. Басов М. В. Зменшення пожежо-вибухонебезпеки пилу при видачі коксу з коксових батарей / М. В. Басов, В. А. Батлук, І. В. Проскуріна // Збірник наукових праць «Пожежна безпека». – Львів: ЛДУ БЖД, УкрНДІПБ МНС України, 2009. – № 15. – С. 131-137.

113. Батлук В. А. Екологічна та технологічна безпека міст України / В. А. Батлук, Р. М. Василів, М. В. Басов // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції з проблем видавничо-поліграфічної галузі. – Київ, 2009. – С. 35-36.

114. Батлук В. А. Місце радіоекології при підготовці спеціалістів у вищих навчальних закладів / В. А. Батлук, В. Г. Макаруч, Р. Ю. Сукач, М. В. Басов // Матеріали V З'їзду радіобіологічного товариства України, 15-18 вересня 2009 р. – Ужгород, –2009. – С. 176-179.

115. Батлук В. А. Шляхи вирішення питання очистки повітря від дрібно-дисперсного пилу в процесах обробки деревини / В. А. Батлук, Р. Ю. Сукач, М. В. Басов, Ю. Г. Сукач // Збірник матеріалів I Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», 28-29 травня 2009 р. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2009. – С. 26-27.

116. Батлук В. А. Шляхи вирішення задач безпеки при обробці матеріалів абразивним інструментом / В. А. Батлук, М. В. Басов, Р. Ю. Сукач, І. М. Козира // Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Прогресивна техніка та технологія». – Київ-Севастополь, 2009. – С. 15.

117. Батлук В. А. Вибір параметрів пиловловлювача для сільськогосподарських машин / Вікторія Батлук, Микола Басов, Роман Сукач – Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2010. – Tom 12 С. – Р. 105-112.

118. Батлук В. А. Високоєфективне пиловловлювальне обладнання / В. А. Батлук, Р. Ю. Сукач, М. В. Басов // Науково-технічний збірник «Поліграфія і видавнича справа». – Львів: Українська академія друкарства, 2010. – № 1 (51). – С. 149-155.

119. Батлук В. А. Деякі питання очистки повітря від пилу при розмеленні, розділенні та змішуванні матеріалів / В. А. Батлук, Н. М. Параняк, М. В. Басов // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія». – Харків: НТУ“ХПІ”, 2010. – № 65. – С. 100-106.

120. Батлук В. А. Нове вирішення проблеми пиловловлення на транспорті / В. А. Батлук, М. В. Басов, Р. Ю. Сукач // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», 25-27 травня 2010 р. – Херсон: Херсонський державний морський інститут, 2010. – Том 2. – С. 172-176.

121. Батлук В. А. Пиловловлення – основа вирішення проблеми техногенно-екологічного енергозбереження / В. А. Батлук, В. В. Батлук, М. В. Басов // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми енергозбереження в агропромисловій та природоохоронній сферах», 14-15 жовтня 2010 р. – Київ, 2010. – С. 11-19.

122. Батлук В. А. Системний аналіз безпеки / В. А. Батлук, М. В. Басов, Р. Ю. Сукач // Матеріали XI Міжнародної науково-методичної конференції «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика», 20-22 травня 2010 р. – Львів, 2010. – С. 97–98.

123. Басов М. В. Шляхи вирішення питання очистки повітря від дрібно-дисперсного пилу / М. В. Басов, В. А. Батлук // Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. Спеціальний випуск до V Науково-практичної конференції «Сучасні проблеми збалансованого природокористування». – Кам’янець-Подільський: Подільський державний аграрно-технічний університет, 2010. – С. 160-163.

124. Батлук В. А. Автоматичний вибір системи зменшення концентрації пилу / В. А. Батлук, В. Г. Макарчук, М. В. Басов // Збірник праць Міжнародного науково-методичного семінару. – Рим (Італія): Наукове видання «Наука та освіта», 2011. – С. 81-82.

125. Батлук В. А. *Вирішення питання очистки повітря від пилу в сучасних енергозберігаючих технологіях в будівництві* / Вікторія Батлук, Микола Басов, Василь Климець – Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, 2011. – Tom. 13 D. – P. 57-62.

126. Батлук В. А. *Нове вирішення проблеми пиловловлення на транспорті* / В. А. Батлук, М. В. Басов, Е. В. Романцов // *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті»*. – Херсон: ВНЗ «Херсонський державний морський інститут», 2011. – Том 2. – С. 217-222.

127. Батлук В. А. *Дослідження новостворених відцентрово-інерційних пиловловлювачів* / В. А. Батлук, М. В. Басов, Є. Д. Бочкало // *Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Промислова гідравліка і пневматика»*, 19-20 вересня 2012 р. – Вінниця: Глобус-Прес, 2012. – С. 148.

128. Батлук В. А. *Математична модель руху зважених частинок у закручених потоках* / В. А. Батлук, М. В. Басов, Л. М. Дорундяк // *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-електромеханічна*. – Донецьк: ДВНЗ «ДНТУ», 2012. – Вип. 23 (196). – С. 3-11.

129. Батлук В. А. *Математична модель руху зважених частинок у закручених потоках* / В. А. Батлук, М. В. Басов, Н. М. Параняк // *Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування»*, 20-22 вересня 2012 р. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 16.

130. Батлук В. А. *Математична модель руху зважених частинок у закручених потоках* / В. А. Батлук, М. В. Басов, Н. М. Параняк // *Науково-технічний журнал «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування»*. – Івано-Франківськ, 2012. – №. 2 (6). – С. 96–101.

131. Батлук В. А. *Математичне моделювання процесів, які відбуваються у пиловловлювачі з жалюзійним відокремлювачем, що обертається* / В. А. Батлук, М. В. Басов, В. В. Климець // *Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці»*, 17-20 квітня 2012 р. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2012. – С. 14.

132. Batluk V. *Matematic model of the process of dust catching in an ahharatus with a movable separator* / V. Batluk, V. Batluk, M. Basov, L. Dorundyak // *Econtechmod. An international quarterly journal on economics of technology and modelling processes.* – Lublin–Lviv–Cracow, 2012. – Vol. 1. No 1. – P. 13-16.

133. Батлук В. А. Математичне модулювання процесів, які відбуваються у пиловловлювачі з жалюзійним відокремлювачем, який обертається / В. А. Батлук, М. В. Басов, В. В. Климець // *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідраліка і пневматика».* – Вінниця: ВНАУ, 2012. – № 4 (38). – С. 3-8.

134. Батлук В. А. Основы создания высокоэффективного пылеулавливающего оборудования для строительной индустрии / В. А. Батлук, М. В. Басов, Н. М. Параняк // *Материалы Международной научно-технической конференции «Интерстроймех–2012».* 2-4 октября 2012 р., – Ижевск: ИжГТУ, 2012. – С. 11-20.

135. Батлук В. А. Вдосконалення установок обезпилювання на ТОВ ливарно-механічний завод «Веста» / В. А. Батлук, М. В. Басов // *Матеріали XVIII міжнародної науково-технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці»*, 21-24 вересня 2013 р. – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – С. 142-144.

136. Батлук В. А. Підвищення ефективності вловлення дрібнодисперсних фракцій пилу в системах очистки повітря від пилу деревообробних підприємств / В. А. Батлук, Р. М. Василів, М. В. Басов // *Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 115 річчю Механіко-машинобудівного інституту НТУУ «КПІ» «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта»*, 25-28 червня 2013 р.— Севастополь: НТУУ «КПІ», 2013. – С. 14-15.

137. Батлук В. А. Стан питання боротьби з пилом при металургійних процесах. / В. А. Батлук, І. В. Проскуріна, М. В. Басов // *Науковий журнал Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського "Екологічна безпека"*. – Кременчук: КДПУ, 2008. – № 3-4. – С. 28-33.

138. Батлук В. А. Математична модель процесу очищення запиленого потоку в апараті нової конструкції. / В. А. Батлук, М. В. Басов. // *Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції АС ПГП «Промислова гідраліка і пневматика»*, 18-19 вересня 2013р. – Вінниця: ГЛОБУС-ПРЕС, 2013. – С. 111-113.

139. Батлук В. А. Принципово нові перспективні методи очистки повітря від дрібнодисперсного пилу / В. А. Батлук, Н. М. Параняк, М. В. Басов // – IV Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (екологія\Ecologi-2013). Збірник наукових статей, 25-27 вересня 2013 р. – Вінниця: Видавництво – друкарня ДІЛО, 2013. – С. 72-75.

140. Batluk V. Mathematical model for motion of weighted parts in curled flow / V. Batluk, M. Basov, V. Klymets // Econtechmod. An international quarterly journal on economics of technology and modelling processes. – Lublin-Rzeszow, 2013. – Vol. 2, No 3. – P. 17-24.

141. Батлук В. А. Рух повітряних потоків у пиловловлювачі з обертанням відокремлювача / В. А. Батлук, М. В. Басов // Матеріали XIX Міжнародної науково-технічної конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці», 21-24 травня 2014р. – Кіровоград, 2014. – С. 115.

142. Пат. 34669 Україна. Пиловловлювач із рухомим відокремлювачем / В. А. Батлук, М. В. Басов. – Заявка а 2007 14019 B01D 45/00 від 13.12.07; опубл. 26.08.2008, Бюл. № 23.

143. Пат. 92023 Україна. Пиловловлювач / В. А. Батлук, В. В. Батлук, М. В. Басов. – Заявка а 2008 02013 B01D 45/00 від 18.02.08; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 18.

144. Пат. 56737 Україна. Пиловловлювач із відокремлювачем, що обертається / В. А. Батлук, М. В. Басов. – Заявка и 2010 08335 B01D45/12 від 05.07.2010; опубл. 25.01.2011, Бюл. №2.

145. Пат. 30170 А Україна. Пиловловлювач / В. А. Батлук, Г. Р. Стеців, К. І. Азарський, Р. Б. Занько (Україна); Заявл. 8.01.98; опубл. 15.11.2000; Бюл. № 6–II.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А1**Порівняльні дослідження пиловловлювачів для апарата І типу**

Витрата повітря, м ³ /год	Медіанний діаметр пилу, 10 ⁻⁶ м	Ефективність роботи, %		Гідравлічний тиск, Па	
		апарата І типу	Циклона ЦН-11	апарата І типу	Циклона ЦН-11
1000	8	87,6	86,1	600	700
2000	8	88,7	87,2	610	720
3000	8	90,1	88,2	630	760
3500	8	90,6	88,9	680	810
1000	16	89,8	88,3	600	700
2000	16	91,8	89,9	610	720
3000	16	93,5	91,2	630	760
3500	16	94,5	91,6	680	810
1000	32	93,9	89,8	600	700
2000	32	95,9	91,7	610	720
3000	32	97,8	93,9	630	760
3500	32	97,5	94,9	680	810
1000	50	94,1	90,8	600	700
2000	50	96,3	92,9	610	720
3000	50	98,5	95,5	630	760
3500	50	98,0	96,7	680	810

ДОДАТОК А2**Порівняльні випробування пиловловлювачів для апарата II типу**

Витрата повітря, м ³ /год.	Медіанний діаметр пилу, 10 ⁻⁶ м	Ефективність роботи, %		Гідравлічний тиск, Па	
		апарата II типу	Циклона ЦН-11	апарата II типу	Циклона ЦН-11
1000	8	88,4	86,1	560	700
2000	8	90,3	87,2	580	720
3000	8	92,3	88,2	600	760
3500	8	93,2	88,9	630	810
1000	16	91,2	88,3	560	700
2000	16	93,1	89,9	580	720
3000	16	94,8	91,2	600	760
3500	16	95,9	91,6	630	810
1000	32	94,3	89,8	560	700
2000	32	96,2	91,7	580	720
3000	32	97,0	93,9	600	760
3500	32	97,9	94,9	630	810
1000	50	94,9	90,8	560	700
2000	50	96,7	92,9	580	720
3000	50	98,9	95,5	600	760
3500	50	98,3	96,7	630	810

ДОДАТОК АЗ**Порівняльні випробування пиловловлювачів для апарата III типу**

Витрата повітря, м ³ /год.	Медіанний діаметр пилу, 10 ⁻⁶ м	Ефективність роботи, %		Гідравлічний тиск, Па	
		апарата III типу	Циклона ЦН-11	апарата III типу	Циклона ЦН-11
1000	8	93,2	86,1	540	700
2000	8	94,1	87,2	560	720
3000	8	95,1	88,2	580	760
3500	8	94,3	88,9	615	810
1000	16	93,4	88,3	540	700
2000	16	95,5	89,9	560	720
3000	16	96,6	91,2	580	760
3500	16	97,6	91,6	615	810
1000	32	95,3	89,8	540	700
2000	32	96,8	91,7	560	720
3000	32	98,0	93,9	580	760
3500	32	97,1	94,9	615	810
1000	50	96,3	90,8	540	700
2000	50	98,1	92,9	560	720
3000	50	99,0	95,5	580	760
3500	50	97,9	96,7	615	810

ДОДАТОК Б1**Договір про спільну діяльність.**

м. Львів

25 квітня 2012 року

Сторона 1. ТОВ «ЛМЗ «Веста» в особі директора **Шеремет Олександра Полікарповича.**

Сторона 2. Львівський державний університет безпеки життєдіяльності МНС України в особі **ректора Козяра Михайла Миколайовича**, що діє на підставі Статуту, надалі разом за текстом даного договору "Сторони", уклали даний договір про наступне:

1. Предмет і мета договору.

Сторони за даним договором домовляються проводити дослідження нових систем пиловловлення, розроблених на кафедрі «Промислової безпеки та охорони праці», на існуючій в Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності дослідно-навчальній установці кафедри «Промислової безпеки та охорони праці», що відповідає умовам «Єдиної методики випробувань пиловловлювачів», на пилах, які утворюються при різноманітних видах виробництв, представлених **Стороною 1.**

2. Взаємні обов'язки сторін

2.1. Сторони зобов'язуються обмінюватися, отриманими в результаті досліджень результатами, для використання їх у подальшому для впровадження через госпдоговірну тематику у виробництво з метою поліпшення умов праці, зведення викидів до норм ГДВ і ГДК, зменшення екологічної небезпеки.

2.2. Проводити спільні консультації та семінари з проблем очистки повітря від пилу.

2.3. Проводити випробування пиловловлювачів на експериментальному стенді кафедри «Промислової безпеки та охорони праці», на пилах, представлених **Стороною 1**, згідно з попередньою домовленістю по часу і термінах випробувань.

3. Обов'язки сторони 1.

3.1. Надавати у спільне користування зразки матеріалів і пилу **Сторони 2** для проведення випробувань пиловловлювачів у необхідній кількості і в суворо регламентовані терміни.

3.2. Приймати активну участь у випробуваннях нових систем пиловловлення на стандартному експериментальному стенді кафедри «Промислової безпеки та охорони праці» на зразках пилу, представлених **Стороною 1.**

3.3. Забезпечити ремонт обладнання експериментального стенда кафедри «Промислової безпеки та охорони праці» **Сторони 2** у разі виникнення поломки.

4. Обов'язки сторони 2.

4.1. Сумісно зі **Стороною 1**, проводити випробування дослідних зразків пилу, представлених **Стороною 1.**

4.2. Забезпечити зберігання дослідно-навчального центру і організувати разом зі **Стороною 1** його ремонт у разі виникнення поломки.

5. Термін дії даного договору.

5.1. Термін дії даного договору настає з моменту підписання його і до 31 грудня 2015 року.

5.2. Даний договір може бути продовжений сторонами за взаємною згодою.

6. Інші умови.

6.1. Даний договір укладено у двох оригінальних примірниках по одному для кожної із Сторін.

6.2. У випадках непередбачених даним договором Сторони керуються чинним законодавством України.

6.3. Сторони зобов'язуються всі проблеми, які виникають при виконанні даного договору вирішувати шляхом переговорів і всіляко сприяти розвиненню науково-дослідного центру пилловловлення.

Сторона 1.

ТОВ «ЛІМЗ «Веста»

/Директор



О.П. Шеремет

Сторона 2.

Львівський державний університет

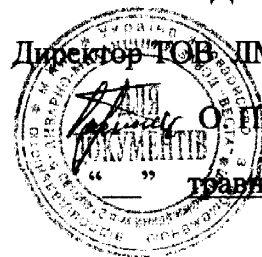
безпеки життєдіяльності



М.М. Козяр

ДОДАТОК Б2**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Директор ТОВ ДМЗ «ВЕСТА»



О. П. Шеремет

17 травня 2013 р.

АКТ**про використання впровадженої наукової роботи,**

Цим актом, підтверджуємо, що згідно договору про спільну діяльність від 25 квітня 2012 року була впроваджена установка для очистки повітря від абразивно-металічного пилу і пилу свинцю та його з'єднань, міді окису, цинку окису від джерела викиду 8 вентиляційної установок В-7 печі ИЛК і ливарних машин при литті латуні під тиском продуктивністю 9000 м³/год. (3 x 3000 м³/год.).

У результаті досліджень встановили, що ефективність уловлення пилу в вищесказаній установці складає 98,9 %, що перевищує на 10 % ефективність роботи циклонів ЦН-11, які встановлені на аналогічних виробництвах при зменшенні гідравлічного опору і витрат металу та економної роботи вентилятора.

Пилоловлювачі, які входять в склад цієї установки розроблені авторами цієї роботи і захищені патентом України на винахід №92032 від 18.02.2008 р. опубліковано 27.09.2010 р. Бюлетень №18 – 2010 року.

Впровадження установки дозволило зменшити запиленість робочих місць, покращити умови праці, довести викиди до норм ГДК і ГДВ.

Ця установка рекомендується для впровадження в аналогічних виробництвах для уловлення аерозолів пилу, що утворюються в цехах ливарного виробництва при литті латуні під тиском.

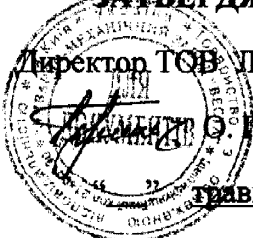
Представники
“ЗАМОВНИКА”Представники
“ВИКОНАВЦЯ”

Ю.Ю. Алексеев

І.А. Кравченко

В.А. Батлук

ДОДАТОК БЗ

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
 Директор ТОВ ЛМЗ «ВЕСТА»

 О. П. Шеремет
 13 травня 2013 р.

АКТ**про використання впровадженої наукової роботи,**

Цим актом, підтверджуємо, що згідно договору про спільну діяльність від 25 квітня 2012 року була впроваджена установка для очистки повітря від абразивно-металічного пилу і пилу свинцю та його з'єднань, міді окису, цинку окису від джерел викиду 2, 4 вентиляційних установок В-2, В-4 печі ІЛК, ливарних машин і заточувального верстата при литті латуні під тиском продуктивністю 12000 м³/год. (4 x 3000 м³/год.).

У результаті досліджень встановили, що ефективність уловлення пилу в вищесказаній установці складає 98,5 %, що перевищує на 9-10 % ефективність роботи циклонів ЦН-11, які встановлені на аналогічних виробництвах при зменшенні гідравлічного опору і витрат металу та економної роботи вентилятора.

Пилоловлювачі, які входять в склад цієї установки розроблені авторами цієї роботи і захищені патентом України на корисну модель №34669 від 13.12.2007 року.


Впровадження установки дозволило зменшити запиленість робочих місць, покращити умови праці, довести викиди до норм ГДК і ГДВ.

Ця установка рекомендується для впровадження в аналогічних виробництвах для уловлення аерозолів пилу, що утворюються в цехах ливарного виробництва при литті латуні під тиском.

Представники
 “ЗАМОВНИКА”

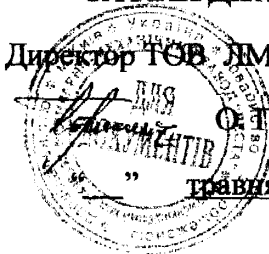
Представники
 “ВИКОНАВЦЯ”

 Ю.Ю. Алексєєв
 І.А. Кравченко

 В.А. Батлук
 М. В. Басов

ДОДАТОК Б4**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Директор ТОВ ЛМЗ «ВЕСТА»



О. П. Шеремет

” ” травня 2013 р.

АКТ**випробувань установки для очистки повітря від пилу**

Комісія в складі: від “ЗАМОВНИКА” - ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА» - технічний директор Алексєєв Ю. Ю., майстер ливарного цеху Кравченко І. А., від “ВИКОНАВЦЯ” – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності: керівник робіт професор Батлук В.А., та співшукач Басов М. В., згідно договору про спільну діяльність від 25 квітня 2012 року в період з 11 по 25 травня 2013 року провели експериментальні дослідження розробленої, запроектованої і виготовленої “ВИКОНАВЦЯМИ” установки для очистки повітря від пилу свинцю та його з’єднань, міді окису, цинку окису від джерел викиду 8 вентиляційної установки В-7 печі ИЛК і ливарних машин при литті латуні під тиском продуктивністю 9000 м³/год. (3 x 3000 м³/год.).

В результаті досліджень встановили, що ефективність уловлення пилу в вищесказаній установці складає 98,9 %, що перевищує на 10 % ефективність роботи циклонів ЦН-11, які встановлені на аналогічних виробництвах при зменшенні гідравлічного опору і витрат металу та економної роботи вентилятора.

Впровадження установки дозволило зменшити запиленість робочих місць, покращити умови праці, довести викиди до норм ГДК і ГДВ.

Ця установка рекомендується для впровадження в аналогічних виробництвах для уловлення аерозолів пилу, що утворюються в цехах ливарного виробництва при литті латуні під тиском.

Представники
“ЗАМОВНИКА”

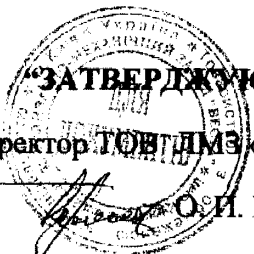
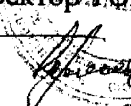
Замк -

Ю.Ю. Алексєєв
І.А. КравченкоПредставники
“ВИКОНАВЦЯ”

В.А. Батлук

В.А. Батлук
М. В. Басов

ДОДАТОК Б5


 Директор ТОВТ ДМЗ «ВЕСТА»
 О.І. Шеремет
 “_” травня 2013 р.

АКТ**випробувань установки для очистки повітря від пилу**

Комісія в складі: від “ЗАМОВНИКА” - ТОВ «Ливарно-механічний завод «ВЕСТА» - технічний директор Алексеев Ю. Ю., майстер ливарного цеху Кравченко І. А., від “ВИКОНАВЦЯ” – Львівський державний університет безпеки життєдіяльності: керівник робіт професор Батлук В.А., та співшукач Басов М. В., згідно договору про спільну діяльність від 25 квітня 2012 року в період з 11 по 25 травня 2013 року провели експериментальні дослідження розробленої, запроектованої і виготовленої “ВИКОНАВЦЯМИ” установки для очистки повітря від абразивно-металічного пилу і пилу свинцю та його з’єднань, міді окису, цинку окису від джерел викиду 2, 4 вентиляційних установок В-2, В-4 печі ИЛК, ливарних машин і заточувального верстата при литті латуні під тиском продуктивністю 12000 м³/год. (4 x 3000 м³/год.).

В результаті досліджень встановили, що ефективність уловлення пилу в вищесказаній установці складає 98,5 %, що перевищує на 9-10 % ефективність роботи циклонів ЦН-11, які встановлені на аналогічних виробництвах при зменшенні гідравлічного опору і витрат металу та економної роботи вентилятора.



Впровадження установки дозволило зменшити запиленість робочих місць, покращити умови праці, довести викиди до норм ГДК і ГДВ.

Ця установка рекомендується для впровадження в аналогічних виробництвах для уловлення аерозолів пилу, що утворюються в цехах ливарного виробництва при литті латуні під тиском.

Представники
“ЗАМОВНИКА”

 Ю.Ю. Алексеев
 І.А. Кравченко

Представники
“ВИКОНАВЦЯ”

 В.А. Батлук
 М. В. Басов

04245



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, тел. (+380 32) 2-749-93, 258-27-58, факс (+380 32) 258-26-80
 ел. пошта: office@ip.edu.ua, інтернет: www.ip.edu.ua

04.05.2017

До спеціалізованої вченої ради СРД 20.052.05
 Івано-Франківського національного технічного
 Університету нафти і газу

ДОВІДКА

про використання у навчальному процесі
 Національного університету «Львівська політехніка»
 результатів досліджень та розробок, одержаних
 при виконанні дисертаційної роботи
 Басова Миколи Вікторовича

Основні положення та результати дисертаційного дослідження Басова Миколи Вікторовича на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук впроваджені у навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка» та застосовуються при викладанні дисципліни «Технології та устаткування для очищення газових викидів» на кафедрі екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка» для студентів спеціальності 7.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища». Зокрема, у навчальному процесі впроваджено запропоноване Басовим М.В. теоретичне та експериментальне обґрунтування використання пилловловлюючих апаратів із обертовим жалюзійним відокремлювачем для вловлювання дрібнодисперсного пилу (розділ 2 Тема "Сучасні підходи, новітні методи й технології захисту атмосфери").

Проректор з науково-педагогічної роботи
 Національного університету
 «Львівська політехніка»
 проф.

Загородній А.Г.

