

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Кафедра “Теплотехніка”

«ДО ЗАХИСТУ»
Завідувач кафедри

_____ Габрінець В.О.
« _____ » _____ 2020 р.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА
на здобуття ОС «Магістр»

Галузь знань **14 «Електрична інженерія»**

Спеціальність **144 «Теплоенергетика»**

Спеціалізація **«Теплоенергетика»**

Тема «Удосконалення технології очистки димових газів від золи на котлах ТП-90»

Theme «Improvement of cleaning technology of smoke gases from an ash on the boiler TP-90»

Керівник магістерської роботи доц. _____ Горячкін В.М.

Консультант розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях проф. _____ Горобець В.Л.

Нормоконтролер ст. викл. _____ Титаренко І.В.

Студент групи **269-М** _____ Синельник М.С.
Student Synelnyk Maxsim

Дніпро
2020

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи: 66 с., 6 розділів, 19 рис., 4 табл., 11 джерел.

Об'єкт розробки – удосконалення способів технології очистки димових газів від золи на котлах теплових електростанцій.

Мета роботи – побудова математичної моделі коагулятора для створення досконалішого методу розрахунку ефективності уловлювання золи, використання можливості ЕОМ для чисельної інтеграції рівнянь руху і випаровування крапель і, як результат, практична реалізація резервів підвищення ефективності золоуловлювачів.

Переважає більшість пиловугільних енергоблоків українських ТЕС відпрацювала значний ресурс, їх експлуатаційні техніко-економічні та екологічні показники не відповідають світовим стандартам, при цьому суттєвий вплив на ці показники мають газоочисні системи.

Розроблена математична модель коагулятора, що дозволяє створити більш досконалий метод розрахунку ефективності уловлювання золи з використання можливості ЕОМ для чисельного інтегрування рівнянь руху і випаровування крапель і, в кінцевому рахунку, практична реалізація резервів підвищення ефективності золоуловлювачів. Математичне моделювання руху крапель води, що випаровуються, дозволяє визначити траєкторії крапель в коагуляторі та оцінити охолодження димових газів. В залежності від характеристик розпилювання та параметрів газу, проведений вибір розташування форсунок в коагуляторі з максимальним уловлюванням золи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗОЛОУЛОВЛЮВАЧ, КОАГУЛЯТОР ВЕНТУРИ, ЗОЛА, ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ, ШКІДЛИВІ ВИКИДИ.

ЗМІСТ

	стр.
Вступ.....	6
Розділ 1 Огляд способів очистки димових газів.....	11
1.1 Класифікація золоуловлювачів.....	11
1.2 Механічні (сухі) золоуловлювачі.....	13
1.3 Жалюзійні золоуловлювачі.....	14
1.4 Мокрі золоуловлювачі.....	14
1.5 Електрофільтри.....	16
1.6 Пристрій і принцип дії золоуловлювача з коагулятором Вентурі.....	18
Розділ 2 Математичне моделювання очищення газу.....	20
2.1. Рівняння руху крапель, що випаровуються, в потоці димового газу..	20
2.2. Рівняння руху димового газу, що охолоджується, Швидкість руху газового потоку визначаємо по формулі.....	25
2.3. Уловлювання краплями частинок золи.....	31
2.4. Математична модель мокрого очищення димових газів в щілинних коагуляторах Вентурі.....	37
Розділ 3 Результати розрахунків і їх аналіз.....	38
Розділ 4 Розрахунок системи зрошування коагулятора.....	47
4.1 Розрахунок форсунки розпилювача.....	47
4.2 Розрахунок зрошувача.....	51
Розділ 5 Охорона праці, техніка безпеки і екологія.....	53
Розділ 6 Техніко-економічне обґрунтування. Екологічні втрати від викидів в атмосферу пилу.....	61
Висновки.....	64
Список використаних джерел.....	66
Додатки.....	67

					025.160101.MP.2020.001			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Синельник М.С.			Удосконалення технології очистки димових газів від золи на котлах ТП-90	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Горячкін В.М.					5	xxx
Реценз.						ДНУЗТ, 269-М гр.		
Н. Контр.		Титаренко І.В.						
Затверд.								

ВСТУП

Для очищення димових газів від золи на теплових електростанціях застосовують електрофільтри і мокрі золоуловлювальні установки [1]. Відоме і одночасне застосування обох типів очисників, коли після електрофільтрів димові гази поступають в мокрий очисник для зв'язування в них оксидів сірки. При цьому гази йдуть в трубу, додатково підігріваються в теплообміннику [2]. Така комбінація очисників якнайповніше задовольняє вимогам захисту довкілля від забруднення. Надалі такі очисники повинні застосувати на теплових електростанціях України при спалюванні низькосортного вугілля. Це приведе до зростання витрат електроенергії на власні потреби, але понизить збиток від викиду забруднень в довкілля.

Мокрі золоуловлювальні установки застосовуються як єдині на котлоагрегатах потужністю до 200 МВт. Міра очищення в таких установках повинна задовольняти вимогам санітарного законодавства з досягненням ефективності уловлювання до 97%, при прийнятних витратах енергії на відсмоктування димових газів (аеродинамічний опір не повинен перевищувати 1000-1500 Па), питомих витратах зрошувальної води в коагуляторах до 0.1 кг/м³ і краплеуловлювача не більше 0.06 кг/м³, мінімальному пониженні температури газу. При цьому золоулавлююча установка має бути надійною в експлуатації, оскільки, наприклад, поява відкладень на стінках або забивання і знос форсунки неминуче приведе до зростання викидів забруднень з котельного агрегату. Для задоволення такого комплексу вимог потрібний пошук резервів уловлювання золи і зниження охолодження в краплинному потоці. Таким резервом залишається оптимізація гідроаеродинаміки трифазного потоку : газ, частки золи, краплі рідини в коагуляторі Вентурі і краплеуловлювачі. Відомі методи розрахунку установок мокрого очищення [1] базуються на емпіричних залежностях фракційного очищення золи, від середнього діаметру крапель води в коагуляторі. Практика показує, що експлуатаційна

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ефективність очищення газу в наявних золоуловлювачах на рівні 92-94%. Витрата води в коагуляторі 0.2 кг/м³, зниження температури газів, що йдуть, до 65 °С, витрата води в краплеуловлювачі 0.05 кг/м³.

Мета нашої роботи - побудова математичної моделі коагулятора для створення досконалішого методу розрахунку ефективності уловлювання золи, використання можливості ЕОМ для чисельної інтеграції рівнянь руху і випару крапель і кінець кінцем практична реалізація резервів підвищення ефективності золоуловлювачей.

Актуальність теми. Основним джерелом енергії в енергетиці і технологічному виробництві України є органічне паливо, дефіцит якого покривається за рахунок імпорту, що послаблює енергетичну незалежність держави. З урахуванням потенціалу надр України доцільним є перехід енергетики на вугілля при одночасному вирішенні екологічних проблем.

Димові і технологічні гази пиловугільної енергетики, чорної металургії і будівельної індустрії становлять в атмосфері більше 90 %, від загальної маси технологічних викидів, золи і пилу, що здатні суттєво впливати на екологічну обстановку в регіональному та глобальному масштабах. Сучасна орієнтація на використання вугілля на енергоблоках ТЕС вимагає вдосконалення технологій очищення димових газів. Отже, вимогою практики є застосування енергозберігаючих засобів і екологічно безпечних пристроїв здатних підвищити глобальну екологічну безпеку. Підвищення ефективності газоочисних апаратів передбачає вдосконалення існуючих відкритих систем золопиловловлювання шляхом оптимізації їх аеродинамічних, режимних та еколого-економічних показників.

Переважна більшість пиловугільних енергоблоків українських ТЕС відпрацювала значний ресурс, їх експлуатаційні техніко-економічні та екологічні показники не відповідають світовим стандартам, при цьому суттєвий вплив на ці показники мають газоочисні системи.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зв'язок роботи з науковими планами, програмами, темами. Робота виконувалася відповідно з «Енергетичною стратегією України на період до 2030 року» та науковими планами кафедри «Теплотехніка».

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є побудова математичної моделі коагулятора для створення більш досконалого методу розрахунку ефективності уловлювання золи, використання можливості ЕОМ для чисельного інтегрування рівнянь руху і випаровування крапель і в кінцевому рахунку практична реалізація резервів підвищення ефективності золоуловлювачів. Математичне моделювання руху випаровуючих крапель води дозволяє визначити траєкторію крапель в коагулятор і охолодження димових газів. Залежно від характеристик розпилювання та параметрів газу, вибрати розташування форсунок в коагулятор з максимальним уловлюванням золи.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані задачі дослідження:

- проаналізувати методи очищення промислових газів в енергетиці та знайти шляхи і засоби їх вдосконалення з урахуванням вимог енергозберігаючих технологій;
- побудувати математичну моделі коагулятора для створення більш досконалого методу розрахунку ефективності уловлювання золи;
- вибрати розташування форсунок в коагуляторі з максимальним уловлюванням золи.
- здійснити аналіз техніко-економічних характеристик газоочисних апаратів ТЕС та визначити доцільність їх використання;
- виконати оцінку екологічної та енергетичної ефективності використання енергоресурсів на ТЕС.
- розглянути більш детально методи підбору технічних засобів і розрахунок їх габаритів, необхідних для очищення викидів в котельнях і ТЕЦ, діяльність яких спрямована на зниження шкідливого впливу котельні на навколишнє середовище.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єкт дослідження. Технологія очистки димових газів від золи на котлах теплових електростанцій.

Предмет дослідження. Аеродинамічні, конструктивно-технологічні та екологічні характеристики в газоочисних апаратах ТЕС.

Методи досліджень. Математичне моделювання руху потоку димових газів в проточній частині електрофільтру. Експериментальні методи досліджень аеродинамічних характеристик на діючому обладнанні ТЕС; застосування методів математичної статистики і засобів ЕОМ.

Достовірність отриманих наукових положень, висновків і рекомендацій заснована на сучасних засадах аеродинаміки, на коректному використанні математичного апарату, і підтверджена тим, що отримані результати не суперечать висновкам відомих теорій.

Наукові результати та рекомендації обґрунтовані експериментальними дослідженнями, узагальненням і систематизацією наукових даних.

Очікувані результати роботи.

- Використовуючи можливості ЕОМ для чисельного інтегрування рівнянь руху і випаровування крапель буде здійснено пошук резервів підвищення ефективності золоуловлювачів для їх подальшої практичної реалізації
- Математичне моделювання руху крапель води, що випаровуються, дозволяє визначити траєкторію крапель в коагуляторі і охолодження димових газів
- Залежно від характеристик розпилювання та параметрів газу, буде вибрано розташування форсунок в коагуляторі з максимальним уловлюванням золи

Практичне значення одержаних результатів.

Одержані результати дозволяють досягти оптимальних енергетичних характеристик роботи електрофільтрів пиловугільних енергоблоків ТЕС

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

України, що відпрацювали значний ресурс часу, а саме, збільшити продуктивність електрофільтру в 1,6 рази, без зміни навантаження апарату по димовим газам та знизити витрати електроенергії на 20 %.

Запропоновані науково-обґрунтовані рекомендації, які зменшують протяжність неактивних зон очищення апарату й усувають перевитрати енергії на струшування електродів, за рахунок вдосконалення аеродинамічних і конструктивно технологічних параметрів, що підвищує надійність, ефективність та екологічність електрофільтру.

Одержані результати дозволяють удосконалити процес гідро- та пневмо-золовидалення за рахунок більш рівномірного пилового навантаження апарату, що додатково підвищує ефективність системи газоочищення.

Особистий внесок здобувача. Основні ідеї й положення магістерської роботи розроблені автором особисто. У роботі узагальнені всі результати, які отримані при виконанні науково-дослідних робіт. В частині експериментальних досліджень співавтором проводилися консультації по роботі та надавалася відповідна технічна допомога. В роботах автору належить проведення експериментальних досліджень, опрацювання та аналіз результатів дослідження, розробка нових технічних рішень, а також організація виготовлення, впровадження та авторського супроводження розробок.

Апробація роботи. Основні результати опубліковані у тезах доповідей «Удосконалення технології очистки димових газів від золи» 2020р. на науково-технічній конференції студентів та молодих вчених «Науково-технічний прогрес на транспорті» (Дніпро, 2020р.).

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СПОСОБІВ ОЧИСТКИ ДИМОВИХ ГАЗІВ

Вміщені в димових газах летюча зола, найдрібніші частинки незгорілого палива, оксиди азоту, сірчані гази і т.д. завдають шкоди в промисловості, а також в інших галузях життєдіяльності людини. Відомо, що під дією золи і частинок незгорілого палива стираються хвостові поверхні нагрівання котлів, газоходів і димососи. А збільшення концентрації сірчистих газів в повітрі в поєднанні з атмосферними опадами прискорює процес корозії металоконструкцій промислових і житлових будівель. У зв'язку з цим боротьба за чистоту повітряного басейну і поліпшення санітарно-гігієнічних умов промислових міст і робітничих селищ є вкрай актуальним завданням.

Основними способами і методами очищення газових викидів є:

- а) переклад енергоустановок (там, де це можливо) з твердого палива на газоподібне і малосірчисте рідке паливо;
- б) як можна більш глибоке очищення димових газів від золи і сірчистих сполук;
- в) пристрій високих димових труб відповідно до санітарних норм для відводу і розсіювання димових газів на значну відстань від промислових об'єктів, і головне, від житлових районів;
- г) створення санітарно-захисної зони між теплогерелом і житловими масивами.

1.1. Класифікація золоуловлювачів

Для очищення газів від твердих частинок застосовуються такі типи золоуловлювачів:

- 1. Механічні (сухі), в яких частинки золи відокремлюються від газу під дією відцентрових або інерційних сил і сили тяжіння.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

2. Мокрі, в яких частинки золи видаляються з газу шляхом промивання або зрошення водою та осадження частинок золи на смачиваємій поверхні або водяній плівці.

3. Електрофільтри (електростатичні), в яких уловлювання частинок здійснюється шляхом осадження на електродах.

4. Комбіновані, що представляють собою поєднання різних апаратів, що працюють послідовно.

Вибір типу золоуловлювачів визначається цілою низкою чинників, а саме:

- а) дисперсним складом і фізичними властивостями золи.
- б) кількістю вловлюється золи
- в) ступенем очищення (коефіцієнтом очищення) золоуловлювача
- г) гранично допустимими нормами концентрації золи у поверхні
- д) техніко-економічними міркуваннями (мінімальні витрати матеріалів, електродів, води) і деякими іншими факторами.

Система золоочистки повинна бути такою, щоб димові гази на виході з труби не створювали біля поверхні землі концентрації домішок в повітрі, що перевищує гранично допустиму.

$$\text{ПДКСO}_2 = 0,5 \text{ мг / м}^3;$$

$$\text{ПДКзоли} = 0,5 \text{ мг / м}^3;$$

$$\text{ПДКNO}_2 = 0,085 \text{ мг / м}^3.$$

Показником ефективності роботи золоуловлювача є його к.о.г. (Коефіцієнт очищення газів). Розрізняють повний і фракційний к.о.г. Під повним к.о.г розуміють відношення масової витрати вловлюється в золоуловлювачів золи до масового її витраті на вході в золоуловлювач.

$$\eta_{\text{зу}} = G_{\text{ул}}/G_{\text{вх}}*100\% = 1 - G_{\text{вх}}/ G_{\text{вх}}*100\%$$

$$\eta_{\text{зу}} = (G_{\text{фр}})_{\text{ул}}/(G_{\text{фр}})_{\text{вх}}*100\%$$

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Механічні (сухі) золоуловлювачі

До числа механічних золоуловлювачів відносяться циклони і жалюзійні золоуловлювачі. Принцип роботи циклонних золоуловлювачів заснований на використанні відцентрових сил. Ефект роботи тим вище, чим більше частки золи, чим більше швидкість газів у вхідному патрубку і чим менше діаметр циклону. ККД циклонного золоуловлювача може досягати 90% при великому вмісті великих частинок золи.

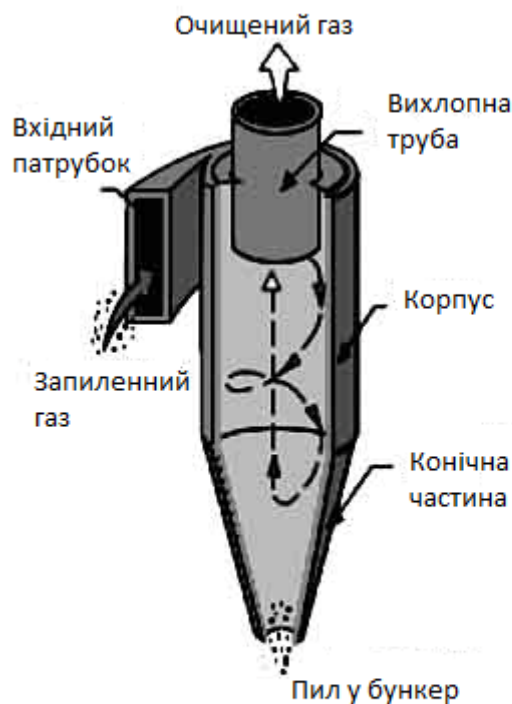


Рис.1.1 – Схема механічного золоуловлювача

До недоліків можна віднести їх порівняно високий гідравлічний опір по газу ($\approx 50-80$ мм.вод.ст), великим розміром по висоті (4-5 м), а також зниженням к.к.д при знижених витратах газу.

Різновидом золоуловлювальних пристроїв циклонного типу є батарейні циклони. Батарейні циклони (мультициклони), в яких уловлювання золи здійснюється в великій кількості маленьких циклонів (діаметр циліндричної частини 40 - 250 мм). Число циклонних елементів

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

може досягати декількох сотень. Батарейні циклони, як правило, встановлюються секціями, по 2-4 на парогенератор. Це забезпечує оптимальну швидкість газів в циклонних елементах. ККД батарейних циклонів при пиловугільних топках складає 70-80%.

1.3. Жалюзійні золоуловлювачі

Цей тип золоуловлювачів є найбільш простим пристроєм для механічного уловлювання великих частинок золи з димових газів. Являє собою похилу або конусну решітку, що складається з пластин або куточків (жалюзі) і встановлених на шляху руху газів.

Ступінь очищення газів жалюзійних золоуловлювачів сильно залежить від фракційного складу золи, величини відсмоктування газів.

$$\eta_{ЖЗ} = 45-90\%$$

1.4. Мокрі золоуловлювачі

Уловлювання частинок золи в мокрих золоуловлювачах здійснюється на водяній плівці або змочувальній поверхні апаратів. Відмінними рисами їх роботи є:

а) значні витрати води, становить 0,2 - 0,4 кг на 1 м³ газу, що збільшує витрати на очистку газів

б) здатність досить ефективно вловлювати як дрібні, так і великі фракції летючого попелу

в) охолодження і зволоження димових газів в результаті контактування їх з водою

г) розчинення у воді оксидів сірки, що містяться в димових газах

Останні два чинники накладає певні обмеження на використання мокрих золоуловлювачів. Ці обмеження зводяться до наступних основних положень.

1. Виникає небезпека випадання роси, яка призводить до корозії металевих поверхонь газоходу. Тому температура газів за мокрим золоуловлювачем повинна бути не нижче 120 ° С.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

2. При наявності в димових газах оксидів сірки відбувається збільшення кислотності, з іншого боку утворюється важкорозчинний сульфат кальцію (CaSO_3), що призводить до обростання золоуловлювачів.

Найпростішим типом мокрого золоуловлювача є відцентровий скруббер ОТІ. Являє собою вертикальний циліндр висотою від 1 до 9 метрів і діаметром від 0,6 і 1,7 м, внутрішня поверхня якого футерована керамічною плиткою. За допомогою спеціальних сопел на внутрішній поверхні скрубера створюється водяна плівка, яка і вловлює частинки золи.

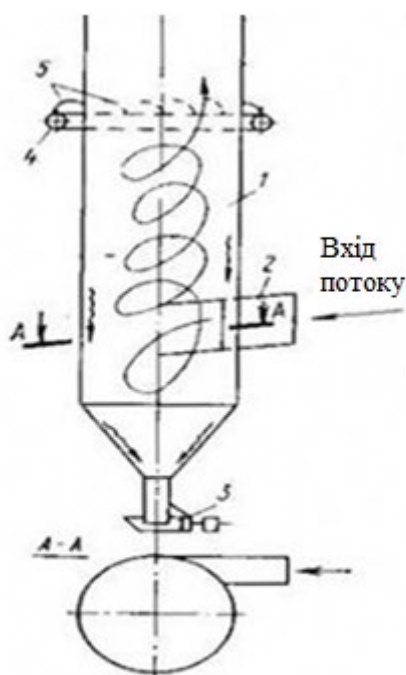


Рис.1.2 - Схема центробіжного скруббера конструкції ВТІ;1-корпус;2-вхідний патрубок;3-клапан;4-колектор підведення води;5-зрошувальні сопла;

Для уникнення значного крапельного виносу швидкість газів в скрубєрі не повинна перевищувати 6 м/с. Ступінь очищення газів збільшується зі зменшенням діаметра. ККД може досягати 80-95%.

1.5. Електрофільтри

Очищення електрофільтрами - це найбільш поширений спосіб очищення викидів.

переваги:

а) високий ступінь очищення димових газів (90-95%) при уловлюванні не тільки великих, а й дрібних фракцій золи

б) здатність до уловлювання летючої золи при спалюванні будь-якого виду твердого палива

в) невеликий гідравлічний опір по газу і в зв'язку з цим невелика витрата електроенергії.

недоліки:

а) висока початкова вартість

б) великі габарити (через малих швидкостей газу).

Робота електрофільтру заснована на осадженні частинок золи на електродах при проходженні димових газів через електричне поле постійного струму. Між різнойменними електродами, розташованими один від одного на відстані кількох сантиметрів і приєднаних до джерела постійного струму високої напруги 50-80 кВ, в результаті іонізації газового середовища відбувається коронний розряд.

Позитивні і негативні іони і вільні електрони газового середовища заряджають частинки золи, які потім притягуються електродами і осідають на них. Накопичена на електродах зола видаляється безперервним або періодичним струшуванням за допомогою спеціального електроприводу. Електрод, з'єднаний з негативним полюсом джерела, називається коронуючим, а електрод протилежного знака - осаджувальним.

Коронуючі електроди виконують зазвичай у вигляді металевих стрижнів довжиною 3-4 м. В якості осаджувальних електродів, що мають ту ж довжину, що і коронуючі, застосовуючи труби круглого або шестигранного перетину або пластини товщиною приблизно 2 мм

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

коробчатого або жолобчастого перетину. По ходу газу пластинчасті електроди підрозділяються на горизонтальні і вертикальні.

Для забезпечення постачання електрода постійним струмом високої напруги застосовується зазвичай випрямляч типів АФА-90-200 і АФА 80-225.

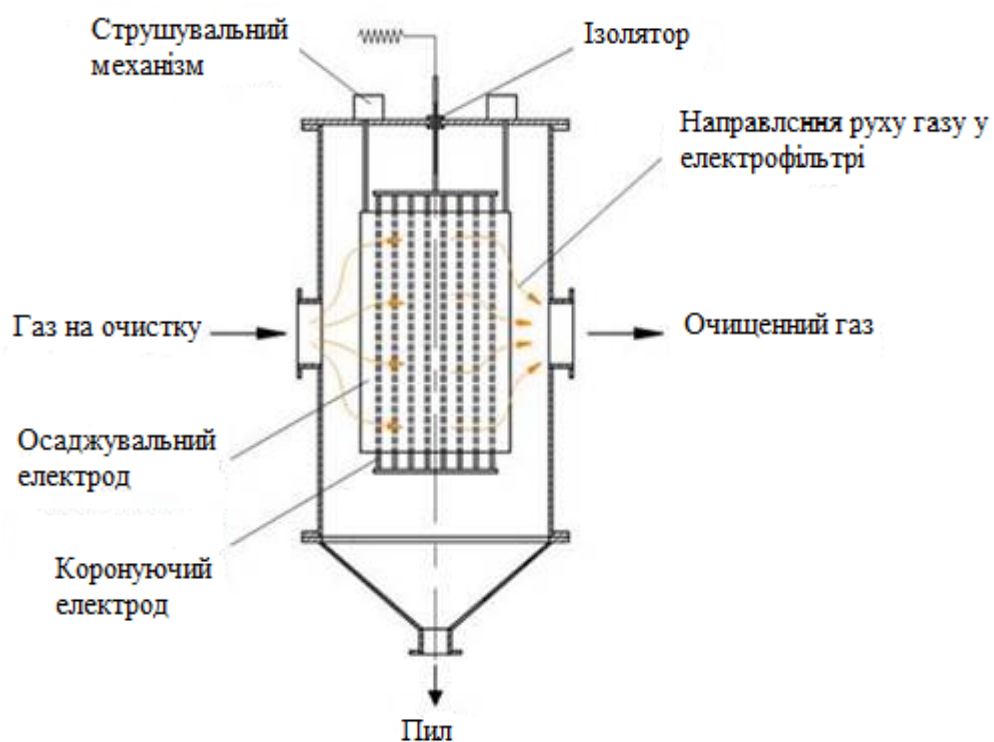


Рис.1.3 – Схема електрофільтру

1.6. Пристрій і принцип дії золоуловлювача з коагулятором Вентурі

Схема золоуловлювача показана на рис.1. До складу золоуловлювача входять коагулятор Вентурі 1 і відцентровий скруббер 2, приєднані до дымососу 3.

Коагулятор Вентурі складається з конфузора 4, горловина 5 і дифузора 6, приєднаного тангенціальним патрубком 7 до скрубера, розпилювач води 8. Скрубер виконаний у вигляді циліндричного корпусу 9 з сферичною кришкою 10, конічним дном 11 і отвором по осі для виходу пульпи. Отвір закритий гідрозасувом 12 з патрубком зливу в пульповий канал 13. Скрубер забезпечений колектором 14 з соплами подання води на стінки корпусу. Запилений димовий газ по газоходу поступає в конфузор 4, де прискорюється в наслідку зменшення поперечного перерізу. Воду розпилюють форсунками в газовий потік безпосередньо перед конфузором. У горловині 5 часток золи і краплі мають максимальні відносні швидкості руху в газі. Із-за наявності відносних швидкостей відбувається осадження часток на краплях. Так реалізується перший етап пиловловлювання - видалення часток золи з потоку газу на краплях розпорошеної рідини. Другий етап - це уловлювання крапель з газового потоку на стінки відцентрового скрубера під дією сил інерції в закрученому потоці. Уловлені на стінках скрубера краплі з частками золи, змиваються із стін водою що подаються через сопла, що змивають. По конічному днищу пульпа віддаляється через гідрозасув в пульповий канал. Очищений в скрубєрі газ поступає до димососу.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

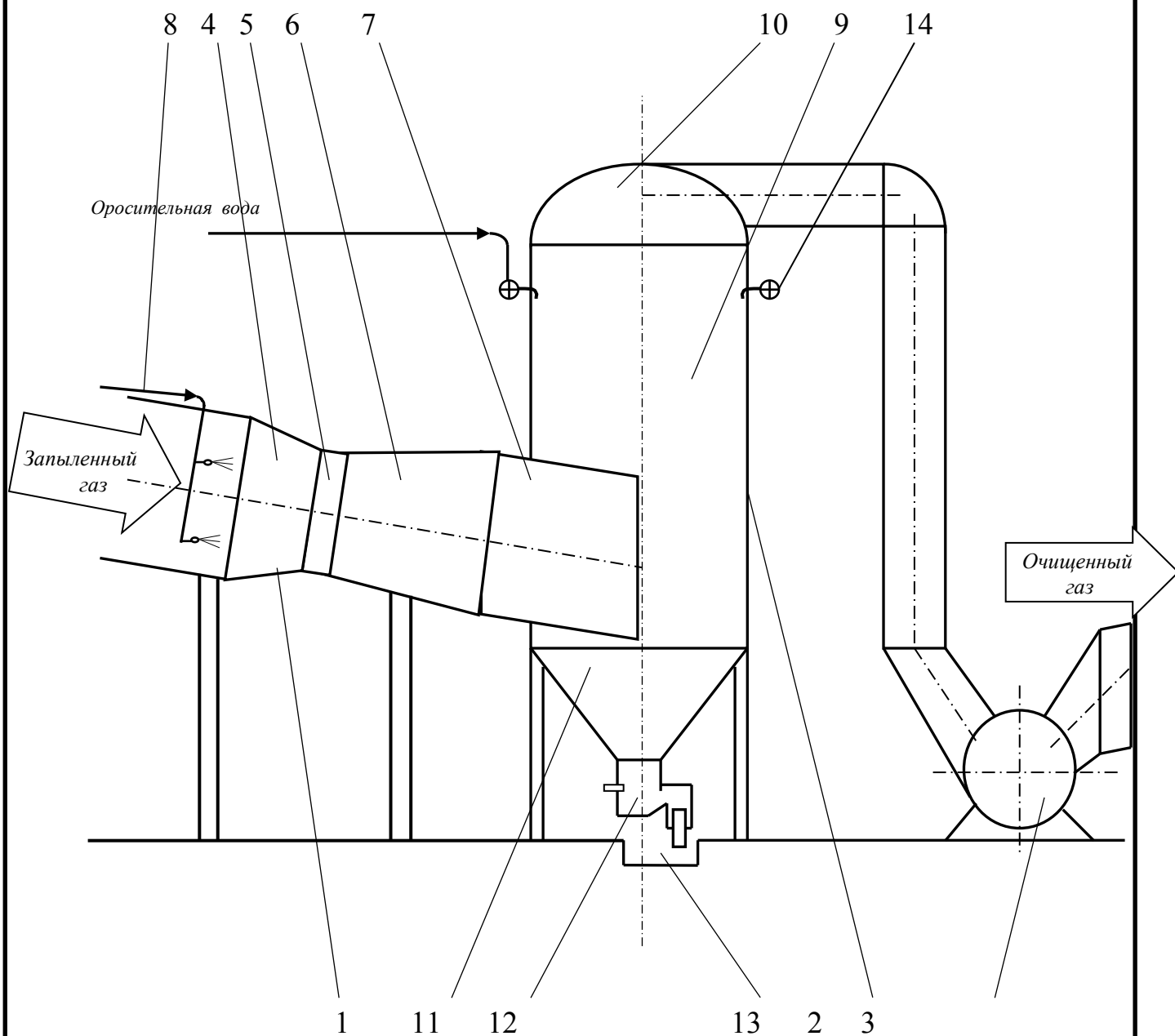


Рис.1.4. Мокрый золоуловлявач з коагулятором Вентурі.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОЧИЩЕННЯ ГАЗУ

Для очищення газу від леткої золи в коагуляторі Вентурі необхідно перекрити горловину факелом розпорошеної води, при цьому необхідно зменшити попадання води на стінки конфузора в уникнення відкладень золи в коагуляторі.

Коагуляція часток золи з краплями розпорошеної рідини супроводжується тепло- і масообміном крапель з газом, коагуляцією і дробленням крапель двохфазового трикомпонентного потоку в каналі змінного перерізу. Втрати тепла на нагрів і випар крапель супроводжується охолодженням димових газів, внаслідок чого погіршується тяга в димарі і збільшується концентрація шкідливих викидів на прилеглій території. Ці втрати мають бути мінімізовані.

З різних шляхів вирішення даної проблеми найбільш прийнятний - створення математичної моделі коагулятора Вентурі. Математичне моделювання руху крапель води, що випаровуються, дозволяє визначити траєкторію крапель в коагуляторі і охолодження димових газів. Залежно від характеристик розпилювання і параметрів газу, вибрати розташування форсунок в коагуляторі з максимальним уловлюванням золи.

2.1. Рівняння руху крапель, що випаровуються, в потоці димового газу

Сили що діють на розпорошені краплі в потоці димового газу (див.рис.2.) конфузорній частини коагулятора :

$$m \vec{a} = -F_{aэ} + m \vec{g}; \quad (1)$$

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

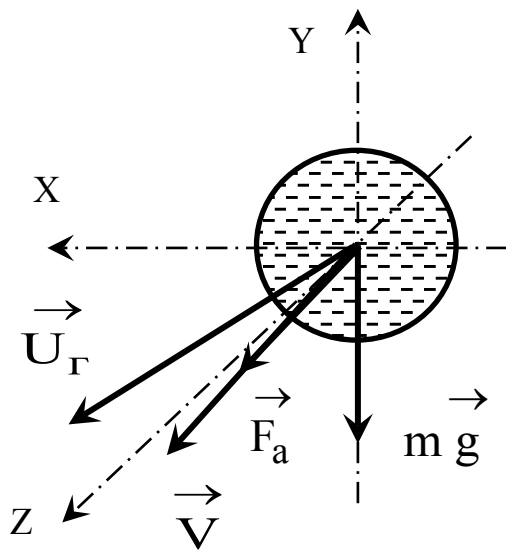


Рис.2. Дія сил на краплину

де m - маса краплини; \vec{a} - прискорення краплини $\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{d\tau}$; \vec{g} - прискорення вільного падіння; \vec{F}_{a3} - аеродинамічний опір:

$$\vec{F}_{a3} = -C\Psi \frac{\pi d^2}{4} \frac{\rho_r}{2} \left| \vec{V} - \vec{U} \right| \left(\vec{V}_\xi - \vec{U}_\xi \right);$$

приймаємо форму каплі - шар $m = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_v$, з урахуванням цього рівняння (1) має вигляд:

$$\frac{1}{6} \pi d^3 \rho_v \frac{d\vec{V}_\xi}{d\tau} = -C\Psi \frac{\pi d^2}{4} \frac{\rho_r}{2} \left| \vec{V} - \vec{U} \right| \left(\vec{V}_\xi - \vec{U}_\xi \right) - \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_v \vec{g};$$

Перетворюючи отримаємо рівняння руху краплини:

$$\frac{d\vec{V}_\xi}{d\tau} = -\frac{3}{4} C\Psi \frac{\rho_r}{\rho_v d} \left| \vec{V} - \vec{U} \right| \left(\vec{V}_\xi - \vec{U}_\xi \right) - \vec{g}; \quad (2)$$

де C - коефіцієнт аеродинамічний опір шару в залежності від числа

$$\text{Рейнольдса } Re = \frac{d \left[\vec{V}_\xi - \vec{U}_\xi \right] \rho_r}{\mu_r};$$

$$C = 24/Re \text{ при } Re < 1 \text{ або } C = \frac{24}{Re} + \frac{4}{Re^{1/2}} + 0.32 \text{ при } 1 < Re < 700;$$

Ψ - коефіцієнт аеродинамічного опору деформуючої краплі

$$\Psi = \exp[0.03 \cdot We^{1.5}] [1,8], \text{ число Вебера } We = \frac{\rho_r (\vec{V} - \vec{U})}{\sigma};$$

де σ - поверхневе напруження; μ_r - динамічна вязкість газу;

Швидкість краплі визначаємо із рівняння:

$$\vec{V}_\xi = \frac{d\vec{\xi}}{d\tau}; \quad (3)$$

де $\vec{\xi}$ - радіус вектор краплини у вибраній системі координат;

Для води розпорошеною на краплини рівняння збереження енергії має вигляд:

$$\frac{dh}{d\tau} = Q_{\alpha} - Q_{\beta}; \quad (4)$$

де h - ентальпія краплини води $h = c_p m \theta$;

c_p - теплоємність води; m - маса краплини $m = \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_v$;

Q_{α} - тепловіддача зіткненням $Q_{\alpha} = \alpha_f (\theta - T_g) F_{ox}$;

Q_{β} - тепловіддача в наслідок випаровування $Q_{\beta} = LI$;

α_f - коефіцієнт тепловіддачі; θ, T_g - температура краплини і газу; F_{ox} - площа охолодження $F_{ox} = \pi d^2$; L - теплота пароутворення; I - дифузійний потік пару від краплини;

$$\alpha_f = \frac{Nu \lambda_g}{d}; \quad I = \beta_{pf} (\rho_n^{\theta} - \rho_n^T) F_{ox};$$

де β_{pf} - коефіцієнт масовіддачі $\beta_{pf} = \frac{Sh \cdot D}{d}$;

λ_g - теплопровідність газу; D - дифузія пару з краплини у газ; $\rho_n^{\theta}, \rho_n^T$ - густина пару з поверхності краплини і у газі;

числа Нуссельта:

- теплове $Nu = 2 + 0.55 Re^{0.5} Pr^{0.33}$;

$$- \text{дифузійне } Sh = \begin{cases} 2 + 0.5 Re^{0.25} Pr_d^{0.22}, & Re \leq 1; \\ 2 + 0.54 Re^{0.36} Pr_d^{0.33}, & \text{при } 1 \leq Re \leq 2; \\ 2 + 0.65 Re^{0.5} Pr_d^{0.33}, & 2 \leq Re; \end{cases}$$

де число Прандтля: теплове $Pr = \frac{C_p \mu_g}{\lambda_g}$; дифузійне $Pr_d = \frac{\mu_g}{\rho_g D}$;

Густина пару у поверхності краплини $\rho_n^{\theta} = \frac{Pa}{RT} \exp\left(14.07 - \frac{5221}{T}\right) [1]$

Pa - атмосферний тиск, R - газова стала водяного пару;

Підставимо у рівняння (4) отримаємо:

$$\frac{d}{d\tau} \left(c_p \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_v \theta \right) = \frac{Nu \lambda_g}{d} (\theta - T_g) \pi d^2 + L \frac{Sh \cdot D}{d} (\rho_n^{\theta} - \rho_n^T) \pi d^2;$$

Провівши перетворення отримаємо рівняння зміни температури краплини:

$$\frac{d}{d\tau} \theta = \frac{6}{d^2 c_p \rho_v} (Nu \lambda_g (\theta - T_g) + L Sh D (\rho_n^{\theta} - \rho_n^T)); \quad (5)$$

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Рівняння зміни маси краплини у потоці гарячих димових газів має вигляд:

$$\frac{dm}{d\tau} = -I; \quad (6)$$

де m - маса краплини; τ -час; I - дифузійний потік пару від краплини; Підставимо у рівняння (6) раніше знайдені m і I :

$$\frac{d}{d\tau} \left(\frac{1}{6} \pi d^3 \rho_B \right) = - \frac{ShD}{d} (\rho_H^\theta - \rho_H^\tau) \pi d^2;$$

Винесемо діаметр з під похідної $\frac{d}{d\tau} (d^3) = 3d^2 \frac{dd}{d\tau}$ і отримаємо рівняння зміни діаметру краплини за часом у газовому потоці:

$$\frac{d}{d\tau} d = - \frac{2Sh \cdot D}{\rho_B d} (\rho_H^\theta - \rho_H^\tau); \quad (7)$$

Система рівнянь динаміки краплини повільно випаровуючої у потоці димового газу (2,3) у правій декартній системі координат буде мати вигляд:

$$\begin{cases} \frac{d\vec{V}_X}{d\tau} = -\frac{3}{4} C\Psi \frac{\rho_r}{\rho_B d} \left| \vec{V} - \vec{U} \right| \left(\vec{V}_X - \vec{U}_X \right); \\ \frac{d\vec{V}_Y}{d\tau} = -\frac{3}{4} C\Psi \frac{\rho_r}{\rho_B d} \left| \vec{V} - \vec{U} \right| \left(\vec{V}_Y - \vec{U}_Y \right) - \vec{g}; \\ \frac{d\vec{V}_Z}{d\tau} = -\frac{3}{4} C\Psi \frac{\rho_r}{\rho_B d} \left| \vec{V} - \vec{U} \right| \left(\vec{V}_Z - \vec{U}_Z \right); \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \frac{dX}{d\tau} = V_X; \\ \frac{dY}{d\tau} = V_Y; \\ \frac{dZ}{d\tau} = V_Z; \end{cases} \quad (9) \text{ і рівняння (5) (7)}$$

Як початкові умови використовуються дані про початкові координати і швидкості крапель, що розпилюються в потоці газу Рис.3. Краплі при вильоті з форсунки мають дві складові швидкості: V_0 і осьову окружну W_0 . У загальному випадку форсунка може бути повернена в двох

площинах на кут γ відносно меридіонального перерізу конфузора і на кут ψ відносно горизонтальної площини,

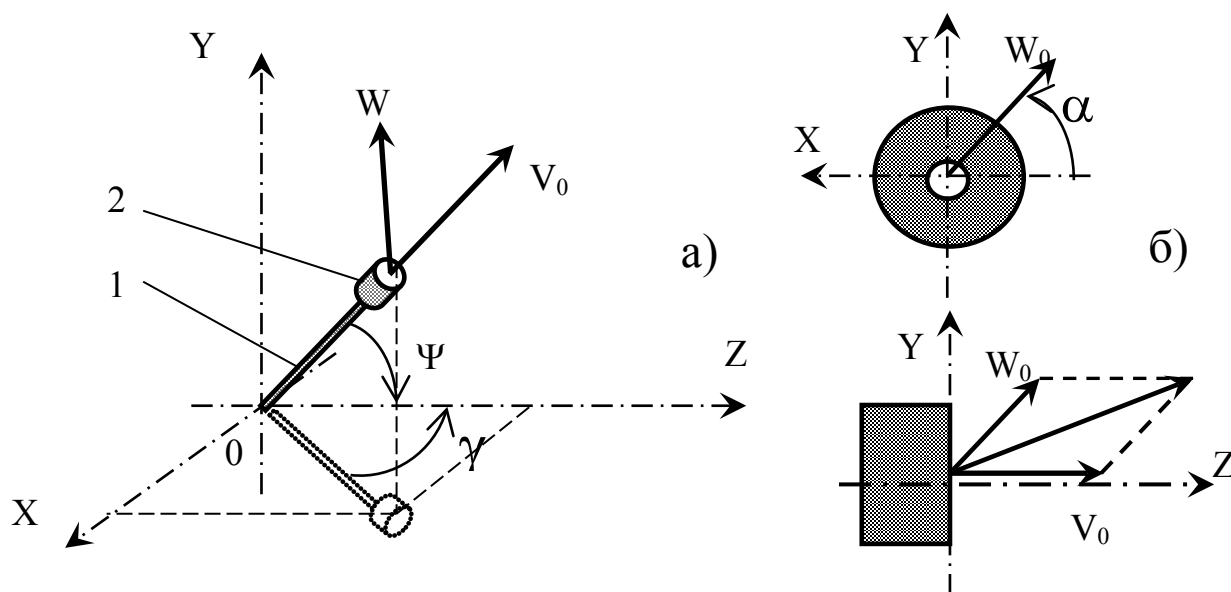


Рис.3. а) Схема розположення зрошувача у просторі конфузора
б) Схема сил діючих у форсунке
1-підвідний патрубок; 2-форсунка;

тоді проекція швидкостей на осі:

$$\begin{cases} V_{0X} = -V_0 \sin \gamma \cos \psi; \\ V_{0Y} = V_0 \sin \psi; \\ V_{0Z} = -V_0 \cos \gamma \sin \psi; \\ W_{0X} = -W_0 \sin \alpha \sin \gamma \sin \psi - W_0 \cos \alpha \cos \gamma; \\ W_{0Y} = -W_0 \sin \alpha \cos \psi; \\ W_{0Z} = -W_0 \sin \alpha \cos \gamma \cos \psi - W_0 \cos \alpha \cos \gamma; \end{cases} \quad (10)$$

α - кут, що визначає початкове положення краплі по периметру сопла форсунки $0 \leq \alpha \leq 360^\circ$ отримаємо розподіл початкових швидкостей в системі координат OXYZ.

2.2. Рівняння руху димового газу, що охолоджується, швидкість руху газового потоку визначаємо за формулою:

$$U = \frac{Q}{S_k}; \quad (11)$$

де Q - об'ємна витрата газів; S_k - площа поверхні, швидкість в якій нормальна до неї, назвемо її контрольною поверхнею.

На ділянці входу в трубу Вентури такі поверхні співпадають з перерізами, перпендикулярними осі правій декартовій системі координат (рис.4), їх площа постійна і дорівнює площі прямокутника, сторони якого дорівнюють висоті і ширині вхідної ділянки.

Для того, щоб побудувати контрольну поверхню в конфузорній частині, продовжимо її плоскі грані до перетину (див.рис. 4, 5 і 6). Вважатимемо що поверхня, нормально до якої газ поступає в конфузор є циліндричною поверхнею зв'язану з кінців з сферичними поверхнями. Висота циліндричної частини дорівнює висоті горловини. Радіуси сферичної і циліндричної поверхні дорівнюють довжині відрізка AQ (чи BQ, DI, CI і рівні між собою).

Для контрольної поверхні, обмеженої частиною сфери радіусом R і пірамідою QAA|BB| (див. рис. 5 і 6) координати будь-якої її точки рівні :

$$\begin{cases} Z^I = R \cdot \cos \beta \cos \alpha; \\ X^I = R \cdot \cos \beta \sin \alpha; \\ Y^I = R \cdot \sin \beta; \end{cases}$$

де Z^I, Y^I, X^I -координати з центром в точці Q, причому $Z^I = -Z$, застосовуємо для спрощення викладень.

Виберемо сферичну систему координат і зробимо перетворення: введемо кутові координати α, β , тоді диференціал радіус-вектор r уздовж кривої лежить на поверхні S має вигляд [7]: $dr = r_\alpha d\alpha + r_\beta d\beta$; і отже, квадрат диференціала дуги $dS = |dr|$, на поверхні в точці (α, β) :

$$dS^2 = |dr^2| = E(\alpha, \beta)d\alpha^2 + 2F(\alpha, \beta)d\alpha d\beta + G(\alpha, \beta)d\beta^2;$$

де Гаусові коефіцієнти цієї поверхні:

$$E = \left(\frac{\partial Z^|}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y^|}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{\partial X^|}{\partial \alpha} \right)^2 = R^2;$$

$$G = \left(\frac{\partial Z^|}{\partial \beta} \right)^2 + \left(\frac{\partial Y^|}{\partial \beta} \right)^2 + \left(\frac{\partial X^|}{\partial \beta} \right)^2 = R^2 \cos^2 \beta;$$

$$F = \frac{\partial Z^|}{\partial \beta} \frac{\partial Z^|}{\partial \alpha} + \frac{\partial Y^|}{\partial \beta} \frac{\partial Y^|}{\partial \alpha} + \frac{\partial X^|}{\partial \beta} \frac{\partial X^|}{\partial \alpha} = 0;$$

У симетрії розглянемо тільки майданчик сфери AA|EE| і множитимемо на 2:

$$S_k^{cf} = 2\sqrt{EG - F^2} d\alpha d\beta = 2 \int_0^\alpha d\alpha \int_0^\beta \sqrt{R^2 \cdot R^2 \cos^2 \beta - 0} d\beta = 2r^2 \alpha \sin \beta;$$

Капля має координати X,Y,Z на контрольній поверхності S_k (рис. 4,6), тоді радіус сфери: $R = \sqrt{(X - X_Q)^2 + (Y - Y_Q)^2 + (Z - Z_Q)^2}$,

де Q – центр сфери, $X_Q=0$, $Y_Q=b-a \operatorname{ctg} \alpha_{\text{кр}} \operatorname{tg} \beta_{\text{кр}}$, $Z_Q=a \operatorname{ctg} \alpha_{\text{кр}}$, $AB=2a$, $AD=2b$;

Площа обмежена циліндром: $S_k^u = 4\alpha R h$; h – висота циліндра QI.

Майданчик усієї контрольної поверхні: $S_k = 2S_k^{cf} + S_k^u = 4R\alpha(R \sin \beta + h)$;

Вектори початкової швидкості газу в конфузорі в проекції на осі координат запишуться так:

$$\begin{cases} U_X = -U_0 \cos \beta_k \sin \alpha_k; \\ U_Z = U_0 \cos \beta_k \cos \alpha_k; \\ U_Y = -U_0 \sin \beta_k; \end{cases} \quad (12)$$

де α_k, β_k – кутова координата точки(краплини) на поверхні S_k (див. рис. 4,6)

котра дорівнює $\alpha_k = \alpha_{\text{кр}} = \alpha$, $\beta_k = \beta_{\text{кр}} = \beta$; но якщо

$$R > QE, \text{ то } \beta_k = \arcsin \frac{EE^|}{R} = \arcsin \left(\frac{a \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{R} \right);$$

$$\text{або } R > QA^|, \text{ то } \alpha_k = \arcsin \frac{A^|E^|}{R} = \arcsin \frac{a}{R};$$

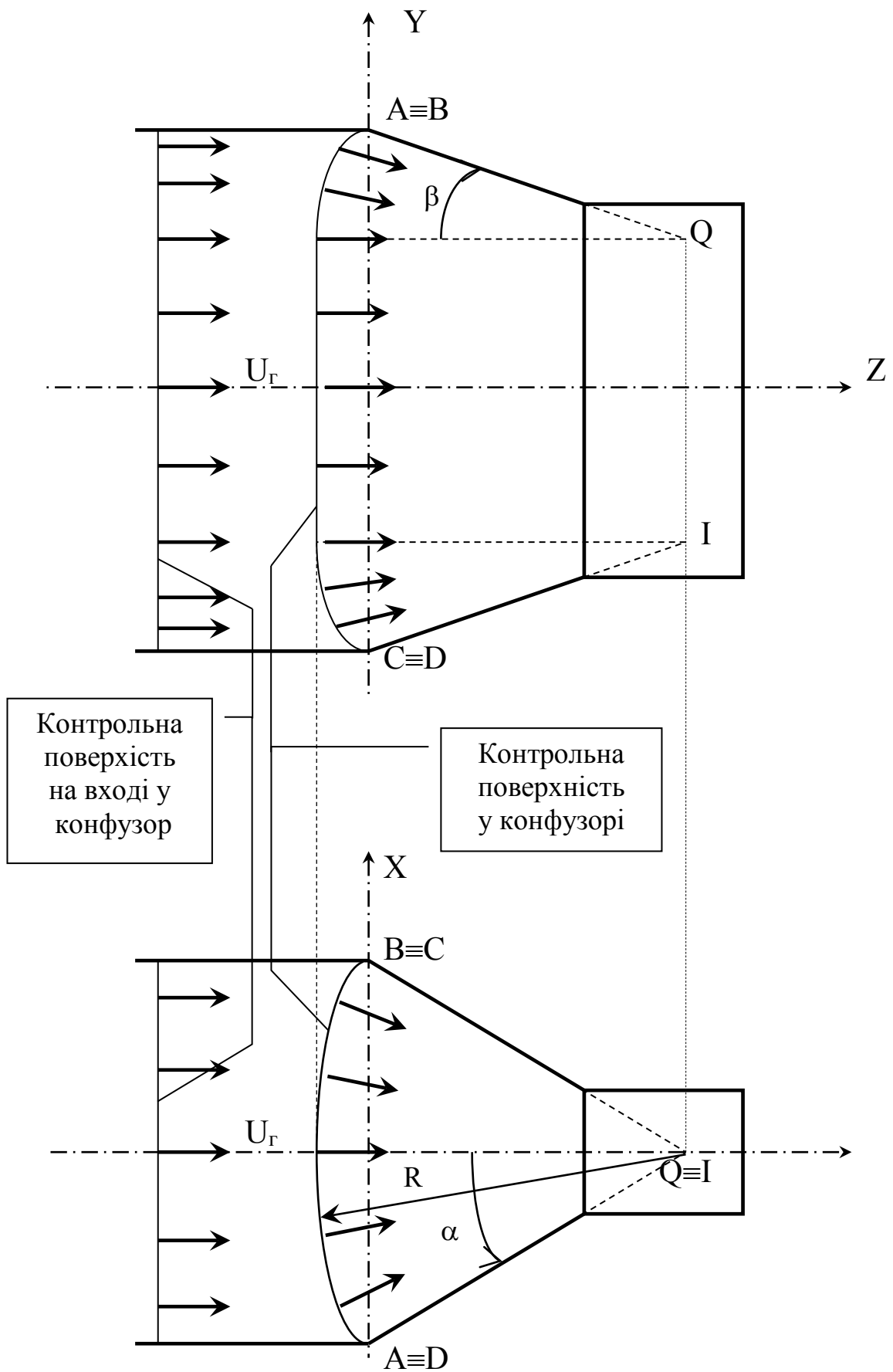


Рис.4. Напрямок швидкості газу у конфузори

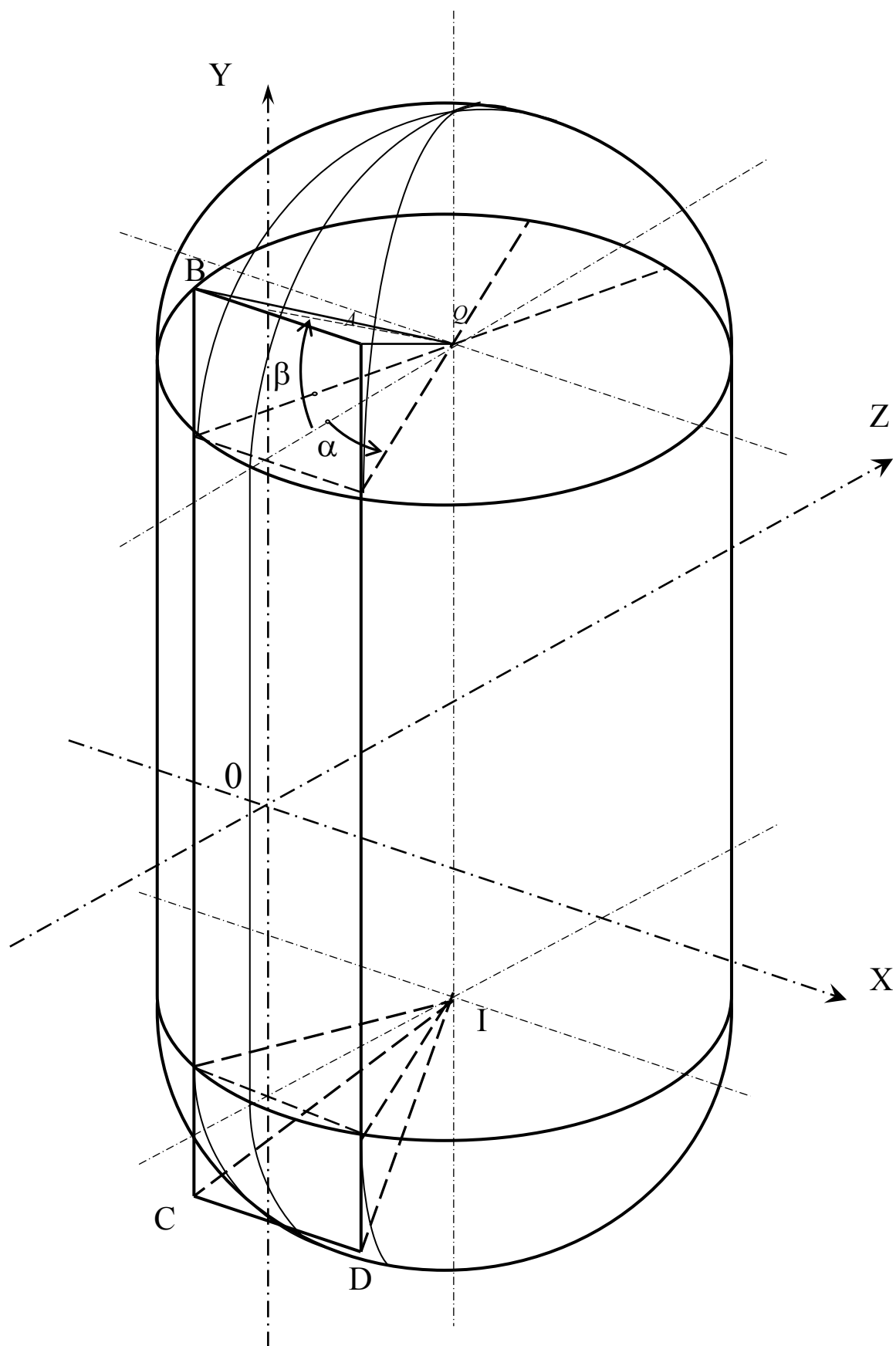


Рис.5. Схема до розрахунку контрольної поверхні.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

025.160101.MP.2020.001

Арк.

28

Виділимо в конфузорі у крапельному потоці область dZ (див.рис 7)

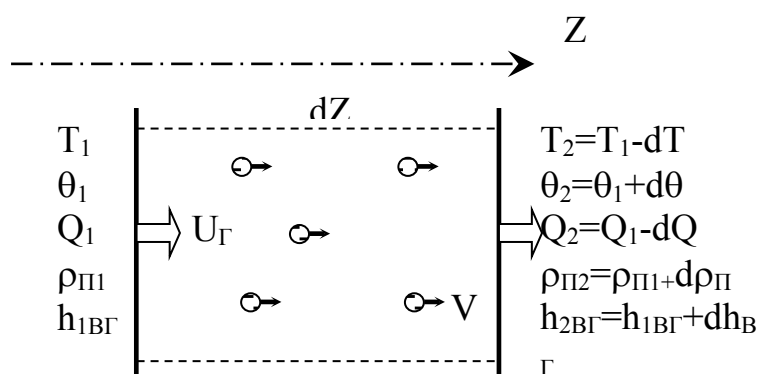


Рис.6.Елементарна площа у конфузорі

Рівняння балансу для газу має вигляд:

$$dQ = G_{CG} dh_{BГ};$$

де G_{CG} - масові втрати сухого газу; $h_{BГ}$ - ентальпія вологого газу;

Кількість тепла котре віддає газ краплинам у слої dZ дорівнює зміні

ентальпій вологого газу. $h=u+PV$; u - внутрішня енергія; P -тиск; V -об'єм;

тоді $dh=du+PdV$, при $P=\text{const}$ для вологого газу

$$dh_{BГ} = c_{P_{CB}}(\theta - T_{Г}) + x(L + c_{P_{П}}(\theta - T_{Г})), \quad x - \text{ вологовміст пару } x = \frac{\rho_{П}^T}{\rho_{Н}^{\theta}};$$

тоді $dh_{BГ} = c_{P_{CB}}dT_{Г} + dxL + dx c_{P_{П}}(\theta - T_{Г})$. Перепишемо рівняння балансу у вигляді: $dQ = Q_{\alpha} + Q_{\beta} + c_P(\theta - T_{Г})dG = G_{CG}dh_{BГ}$;

Q_{α} -тепловіддача зіткненням $Q_{\alpha} = \alpha_f(\theta - T_{Г})F_{ox}$;

Q_{β} - тепловіддача у наслідок випаровування $Q_{\beta} = LI$;

де α_f - коефіцієнт тепловіддачі; $\theta, T_{Г}$ - температура краплі і газу; F_{ox} - площа охолодження $F_{ox}=\pi d^2 n S_k$; L - теплота пароутворення; I - дифузійний потік пару від краплини; n -кількість крапель середнього діаметру в одиниці

об'єму $n = \frac{6}{\pi d^2} \frac{q}{V_Z}$; q - густина зрошування $q=Q_B/S_k$, Q_B - витрати води;

$$\alpha_f = \frac{Nu \lambda_{Г}}{d}; \quad I = \beta_{pf}(\rho_{Н}^{\theta} - \rho_{П}^T)F_{ox}; \quad \beta_{pf} - \text{коефіцієнт масовіддачі } \beta_{pf} = \frac{Sh \cdot D}{d};$$

$\lambda_{Г}$ - теплопровідність газу; D - дифузія пару із краплини у газ; $\rho_{Н}^{\theta}, \rho_{П}^T$ - густина пару у поверхності краплини і у газі;

тоді dQ буде дорівнювати:

$$dQ = -\frac{Nu\lambda}{d}(\theta - T_r)\pi d^2 n S_k dZ + L dZ + c_p(\theta - T_r)dG_{II} = \\ = c_{p_{св}} dT_r + dxL + dx c_{p_{II}}(\theta - T_r);$$

$$dG_{II} = -\beta_{pf}(\rho_H^\theta - \rho_{II}^T)\pi d^2 n S_k dZ; \text{ з цього отримаємо}$$

$$G_{II} c_{p_{II}} dT_r = -\frac{Nu\lambda_r}{d}(\theta - T_r)\pi d^2 n S_k dZ + c_{p_{II}}(\theta - T_r) \frac{Sh \cdot D}{d}(\rho_H^\theta - \rho_{II}^T)\pi d^2 n S_k dZ;$$

після перетворення отримаємо рівняння зміни температури газу по довжині конфузора коагулятора:

$$\frac{d}{dZ} T_r = -\frac{n S_k \pi d}{G_{II} c_{p_{II}}} [\lambda_r(\theta - T_r) Nu + c_{p_{II}}(\theta - T_r) D(\rho_H^\theta - \rho_{II}^T) Sh]; \quad (13)$$

Зміна вмісту пари dG_{II} у газі:

$$dG_{II} = d(\rho_{II} V_Z S_k) = -\beta_{pf}(\rho_H^\theta - \rho_{II}^T)\pi d^2 n S_k dZ;$$

Перетворюючи, отримаємо рівняння зміни вмісту пари у газі по довжині конфузора:

$$\frac{d}{dZ} G_{II} = -n S_k \pi d D(\rho_H^\theta - \rho_{II}^T) Sh; \quad (14)$$

де $\rho_{II}^T = \frac{P_s}{RT} \frac{\phi}{100}$, - густина пари у газі; P_s - парціальний тиск водяного пару в

газі, ϕ - питома вологість газу, R - газова постійна;

Фізичні властивості димового газу у залежності від температури [5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_r = (0.01124 \cdot 10^{-4} t_{cp}^2 + 0.07435 \cdot 10^{-2} t_{cp} + 0.116) \cdot 10^{-4}, \quad \frac{M^2}{c}; \\ \lambda_r = (0.1491 \cdot 10^{-6} t_{cp}^2 + 0.7261 \cdot 10^{-2} t_{cp} + 2.21) \cdot 1.163, \quad \frac{Вт}{м \cdot C^0}; \\ c_r = (10^{-7} t_r^2 + 5 \cdot 10^{-5} t_r + 0.249) \cdot 4.1868, \quad \frac{Дж}{кг \cdot C^0}; \\ D_r = 31.93 \cdot 10^{-10} T_{cp}^{1.5}, \quad \frac{м^2}{с}; \end{array} \right. \quad (15)$$

де $t_{cp} = T_{cp} - 273$, $T_{cp} = \theta + 0.6(T_r - \theta)$, $t_r = T_r - 273$;

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2.3. Уловлювання краплями частинок золи

Зміна за проміжок часу dt концентрації $d\gamma_{ij}$ частинок золи, має розмір r_i при русі зі швидкістю U_{ij} відносно крапель розміром R_j

$$-d\gamma_{ij} = \gamma_{ij} N_j \pi(r_i + R_j)^2 E_{ij} U_{ij} dt; \quad (16)$$

де γ_{ij} і N_j - рахункові концентрації частинок золи, уловлюючих j -тими краплями і крапель рідини відповідно; E_{ij} - коефіцієнт захвату i -тих частинок золи j -тими краплинами.

При $t=0$ $\gamma_{ij}=\gamma_{ij}^{(0)}$ тоді із рівняння (15) отримаємо

$$\gamma_{ij} = \gamma_{ij}^{(0)} \cdot \exp\left[-\pi(r_i + R_j)^2 \int_0^t E_{ij} U_{ij} N_j dt\right];$$

або у відносній формі

$$P_{ij} = \frac{\gamma_{ij}}{\gamma_{ij}^{(0)}} = \exp\left[-\pi(r_i + R_j)^2 \int E_{ij} U_{ij} N_j dt\right]; \quad (17)$$

P_{ij} можна розглянути як вірогідність того, що частинки радіусом r_i не уловлюються краплями радіусом R_j за час dt . Оскільки уловлювання частинок краплями різноманітного розміру незалежно одна від одної, вірогідність того, що частини i -тої фракції не будуть уловлюватися краплями усіх розмірів

$$P_i = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_{im}; \quad \text{або}$$

$$P_i = \exp\left[-\pi \sum_{j=1}^m (r_i + R_j)^2 \int_0^t E_{ij} U_{ij} N_j dt\right]; \quad (18)$$

Замінико лічильні концентрації на масові для золи n_i і $n_i^{(0)}$

$$\gamma_i = \frac{n_i}{4/3\pi r_i^3 \rho}, \gamma_i^{(0)} = \frac{n_i^{(0)}}{4/3\pi r_i^3 \rho}, n_i^{(0)} = \xi_i n^{(0)}; \quad \text{де } \rho - \text{густина золи; } r_i - \text{середній}$$

об'ємний радіус частини j -тої фракції; ξ_j - масовий вміст j -тої фракції у всій золи; $n^{(0)}$ -масова концентрація частинок усіх розмірів;

$$\text{для крапель } N_j = \frac{V_j}{4/3\pi R_j^3}, \quad \text{або } N_j = \frac{\psi_j V}{4/3\pi R_j^3};$$

де V_j - об'єм крапель j - тої фракції в одиниці об'єму газу; R_j - середньооб'ємний радіус крапель j - тої фракції; ψ -масовий вміст j -тої фракції у всьому об'ємі розпиленої води ; V - об'ємна (масова) концентрація крапель усіх розмірів ,оскільки $\frac{\gamma_i}{\gamma_i^{(0)}} = \frac{n_i}{n_i^{(0)}}$, то рівняння (19) перепишеться у вигляді

$$P_i = \exp \left[- \frac{3}{4} \sum_{j=1}^{j=m} \frac{(r_i + R_j)^2}{R_j^3} \int_0^t E_{ij} U_{ij} \psi_j V dt \right]; \quad (19)$$

Відносний залишковий вміст золи у газі після улавлювання усіх фракцій краплями води

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{i=k} n_i}{\sum_{i=1}^{i=k} n_i^{(0)}} \quad \text{или} \quad P = \sum \frac{P_i n_i^{(0)}}{n^{(0)}}$$

Після підстановки (4) в (5) отримаємо

$$P = \sum_{i=1}^{i=k} \xi_i \exp \left[- \frac{3}{4} \sum_{j=1}^{j=m} \frac{(r_i + R_j)^2}{R_j^3} \int_0^t E_{ij} U_{ij} \psi_j V dt \right]; \quad (20)$$

Із (20) витікає, що зниження вмісту золи в газі відбувається за експоненціальним законом і тим інтенсивніше чим більше концентрації золи і розпорошеної води, час взаємодії і відносна швидкість руху крапель і золи.

Концентрація крапель води V , швидкість крапель U_{ij} і залежний від неї коефіцієнт захоплення E_{ij} , визначається геометрією факела форсунки і конфузора.

Радіуси часток золи гі відомі і визначаються видом вугілля і завтовшки помелу. Для АШ спалюваних на котлі ТП- 90 розподіл часток золи по розмірах представлені в таблиці.1[1], і на рис.7.

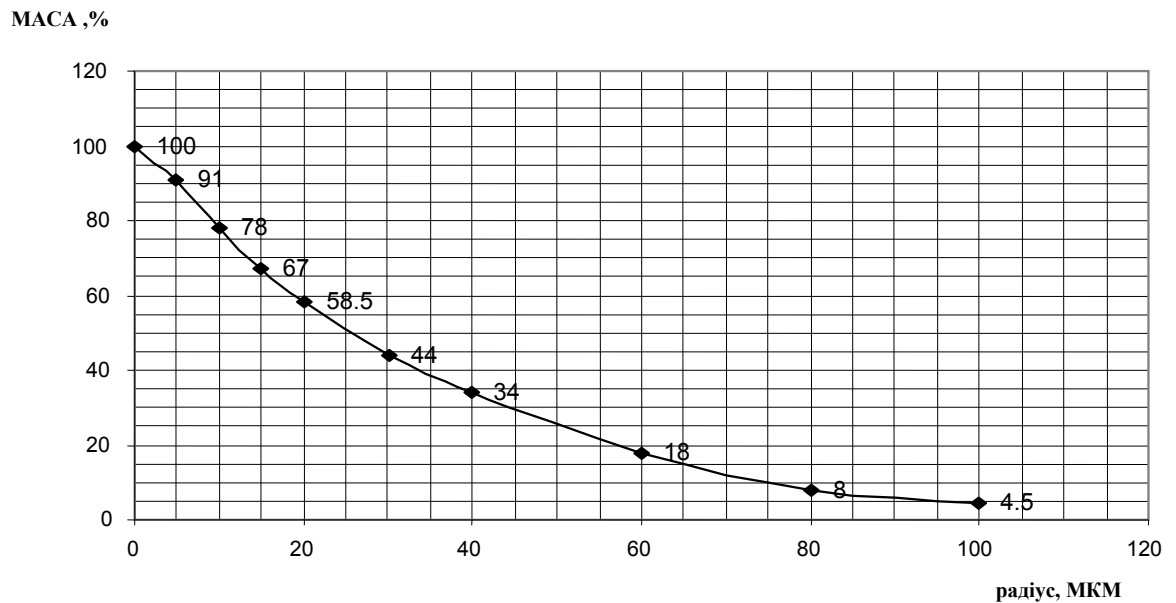


Рис.7. Інтегральний розподіл маси часток золи по розмірах при спалюванні АШ % по масі

Таблица 1

Дисперсний склад і щільність легкої золи перед золоуловлювачами

вид палива	тип млина	Щільність кг/м ³	Фракція пилу ,мкм								
			>5	>10	>15	>20	>30	>40	>60	>80	>100
Донецький АШ	Шарова барабанна	2.0-2.2*10 ³	91,0	78,0	67,0	58,5	44,0	34,0	18,0	8,0	4,5

Концентрація ξ_i і золи по довжині конфузора в наслідок збільшення швидкості газу можна прийняти, що частки золи рухаються із швидкістю газу і, отже, уздовж ліній струму. Тоді концентрація буде визначатися

$$\text{із співвідношень } \xi_i = \frac{q_i^{(0)}}{q^{(0)}} \frac{U_z}{U_{zi}};$$

де $q_i^{(0)}, q^{(0)}$ - щільність зрошування U_z, U_{zi} - лінійна швидкість газу

Радіус крапель розпорошеної води визначений за результатами дослідженням дисперсного складу за допомогою рахунково-імпульсного методу запропонованого М.Виксом і Д.Даклером в 1966г.[3]. Апаратура для його реалізації розроблена на ИПМаш Ан України[4].

Диференціальну і інтегральну функції розподілу крапель зручно представити у виді [8]:

$$VD = \frac{2}{3\pi} \alpha^4 d^3 K_1(\alpha d), \quad (21)$$

$$V = \frac{2\alpha^4}{3\pi} \int_{d_{\min}}^{\infty} d^3 K_1(\alpha d) dd, \quad (22)$$

де $K_1(\alpha d)$ — функція Бесселя, а параметр $\alpha = \frac{3\pi}{4d_{32}}$. На рис.9. представлені результати розрахунку VD і V для того, що розпиляло залежно від середнього об'ємно-поверхневого діаметру крапель d_{32} . Діаметр d_{32} підбираєм в ході оптимізації.

Коефіцієнт захоплення E_{ij} визначається відношенням поперечного перерізу трубки струму, утворений граничними траєкторіями центру тяжіння частки, що ще потрапляють на краплю, до миделеву перерізу краплі.

Згідно з дослідженнями [6] коефіцієнт захоплення буде визначатися

$$\text{співвідношенням: } E_{ij}^{(a,b)} = \begin{cases} 0, & \text{(а) } k < 1/12; \\ k^2 / (k + 0.5)^2, & \text{(б) якщо, } k > 0.2; \\ \left[1 + 0.75 \ln 2k / (k - 1.214) \right]^2, & \text{(в) } k > 2.214; \end{cases} \quad (23)$$

де $k = \frac{\rho d^2 U_{\infty}}{18\mu R}$; число Стокса, що характеризують відношення сил інерції

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

що діють на частку, до аеродинамічних сил. U_{∞} - швидкість лінійного потоку, що набігає на краплю; ρ - щільність частки.

Для перехідних режимів течій коефіцієнт захоплення визначається емпіричною формулою Лэнгмюра

$$E_{ij} = \left(E_{ij}^{(b)} + E_{ij}^{(a)} \frac{Re}{60} \right) / \left(1 + \frac{Re}{60} \right); \quad (24)$$

Тут індекс (a) відповідає потенціальному режиму течії, а індекс (b)- потенційному.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

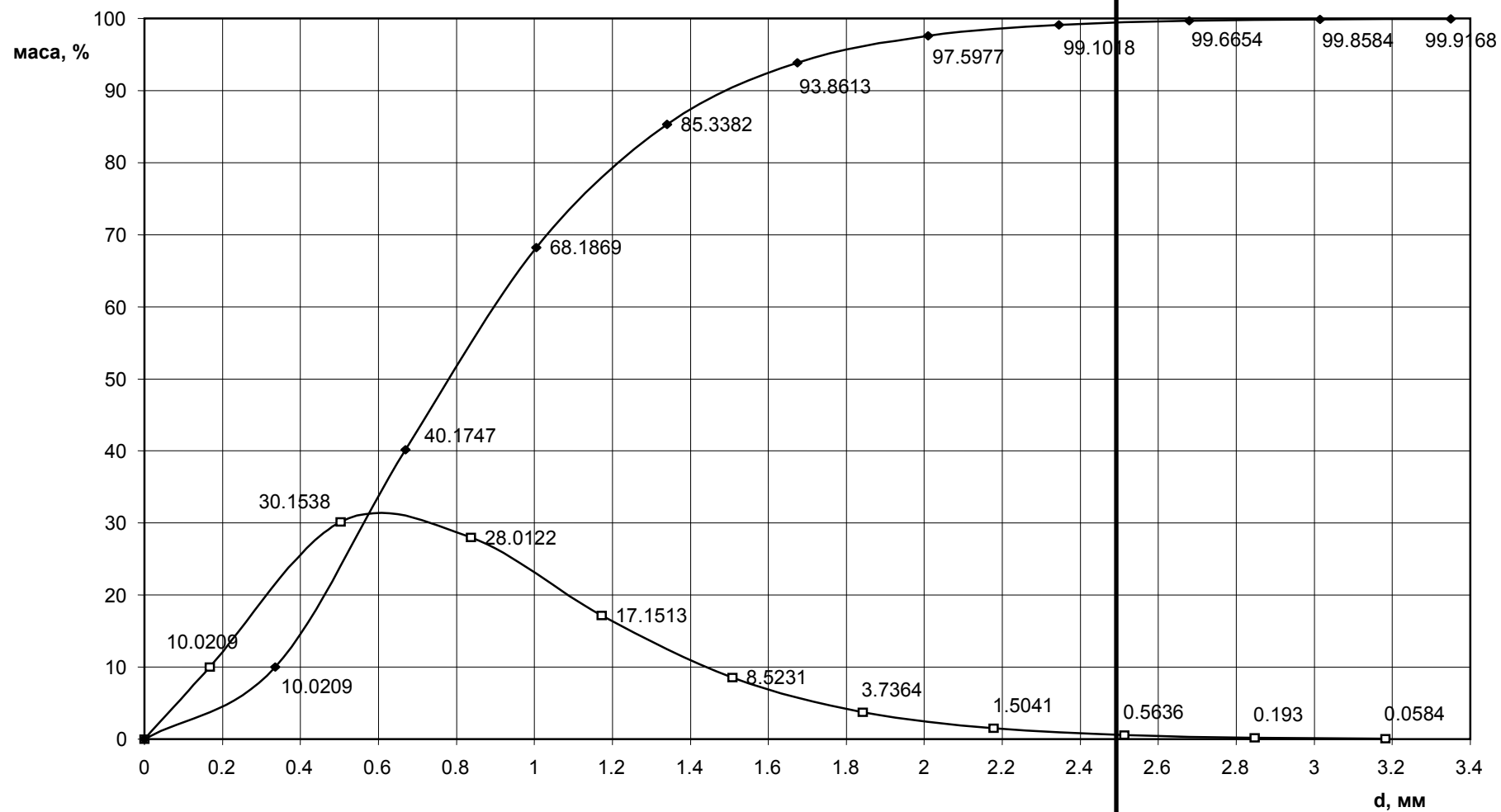


Рис.8. Характеристики розпилювання крапельного потоку при $d_{32}=596$ мкм

—□— диференціальна і —◆— інтегральна

2.4. Математична модель мокрого очищення димових газів в щілинних коагуляторах Вентурі

Система рівнянь руху краплі, що випаровується, в конфузорі (5) - (7) - (8) і (9) - (10) з початковими умовами $Z=Z_0$, $Y=Y_0$, $X=X_0$, $\tau=\tau_0$, t_B, Q_B, V_0, α (кут розпилювання), і система рівнянь руху газу, що охолоджується, (11) - (12) і (13) - (14) - (15) з початковими умовами t_r, Q, q_B , і рівняння (20) - (21-22) і (23) - (24) уловлювання золи краплями, буде математичною моделлю мокрий очищення димовий газ в конфузор коагулятор Вентурі.

Систему рівнянь руху вирішуватимемо чисельним методом Рунге-Кутта четвертого порядку точності [7].

$$\begin{cases} \frac{dU}{d\tau} = f(\tau, \bar{U}); \\ U(0) = U_0; \end{cases} \quad U_{i+1} = U_i + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4);$$

где $\bar{U} - X, Y, Z, V, V, \theta_B, T_r, d, \rho_{\Pi}^T$

$$k_1 = f(\tau_i, U_i);$$

$$k_2 = f\left(\tau_i + \frac{h}{2}, U_i + \frac{h}{2}k_1\right);$$

$$k_3 = f\left(\tau_i + \frac{h}{2}, U_i + \frac{h}{2}k_2\right); \quad h - \text{шаг інтегрування};$$

$$k_4 = f\left(\tau_i + h, U_i + hk_3\right);$$

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ І ЇХ АНАЛІЗ

Вихідні дані для розрахунку і разработкчі технічного рішення задачі оптимізації коагулятора Вентурі парового котла ТП-90 наведені в табл.2.

Таблица 2

Вихідні дані золоуловлювальної обладнання блоку 150 МВт
Придніпровської ТЕС

№	Найменування	Од. Вим.	Значення
1	2	3	4
1	Котел		ТП-90
2	Кількість золоуловлювачів на котел	Шт.	4
3	Паливо		АШ, шлам
4	Склад палива: Q_H^p :	МДж/кг	18,2
	A^p	%	33,2
	W^p	%	10
	S^p	%	1.7
5	Витрати палива	т/ч	85-90
6	Склад горючих в уносе	%	18-20
7	Об'єм димових газів перед золоуловлювачем	м³/с	274,4
8	Температура димових газів перед золоуловлювачем	°С	155
9	Температура димових газів після золоуловлювача	°С	65
10	Розрядження перед золоуловлювачем	Па	1373-1471
11	Гідравлічний опір коагулятора Вентурі	Па	882
12	Гідравлічний опір краплеуловлювача	Па	392
13	Коефіцієнт надлишку повітря перед золоуловлювачем		1,6

Продовження табл.2

1	2	3	4
14	Тип димососа продуктивність димососа повний напір димососа	м ³ /ч Па	Д25-2Ш 467000 3257
15	Кількість димососів	Шт.	2
16	Склад СаО у золі	%	2-3
17	Загальна довжина коагулятора Вентурі	мм	6590
18	Довжина конфузора І-ої ступені	мм	1000
19	Довжина конфузора ІІ-ої ступені	мм	1000
20	Довжина дифузора І-ої ступені	мм	1700
21	Довжина дифузора ІІ-ої ступені	мм	2450
22	Перетин входу у конфузори І-ої ступені	м ²	4,95
23	Перетин входу у конфузори ІІ-ої ступені	м ²	3.66
24	Перетин горловини І-ої ступені	м ²	2x0,746
25	Перетин горловини ІІ-ої ступені	м ²	1.29
26	Перетин на вході у краплеуловлювач	м ²	3,02
27	Найбільший кут звуження конфузора І-ої ступені	град	37
28	Найбільший кут звуження конфузора ІІ-ої ступені	град	43
29	Найбільший кут розширення дифузора І-ої ступені	град	11
30	Найбільший кут розширення дифузора ІІ-ої ступені	град	12
31	Внутрішній діаметр краплеуловлювача	мм	4500
32	Площа живого перетину краплеуловлювача	м ²	15,9
33	Кількість форсунок зрошення в коагуляторі	Шт.	4
34	Діаметр вихідного отвору форсунки	мм	12
35	Кількість сопел зрошування в краплеуловлювачі	Шт.	36

Продовження табл.2

1	2	3	4
36	Діаметр сопла зрошування краплеуловлювача	мм	6
37	Тиск води перед форсунками зрошування	КПа	2,94
38	Тиск води перед соплами зрошування краплеуловлювача	КПа	9,8-14,7
39	Швидкість димових газів на вході у конфузори I-ої ступені	м/с	13,8
40	Умовна швидкість димових газів у горловині I-ої ступені	м/с	46
41	Умовна швидкість димових газів у горловині II-ої ступені	м/с	53
42	Умовно швидкість димових газів на вході у краплеуловлювач	м/с	22,7
43	Витрати води на зрошування у коагуляторі Вентурі	т/ч	128
44	Витрати води на зрошування у краплеуловлювачі	т/ч	32
45	Загальні витрати води на зрошування у золоуловлювачі	т/ч	160
46	Питома витрата води на зрошування коагулятора Вентурі (н.у. газа)	кг/м ³	0,2
47	Питома витрата води на зрошування краплеуловлювача (н.у. газа)	кг/м ³	0,05
48	Загальні питомі витрати води на очистку димових газів (н.у. газа)	кг/м ³	0,25

Алгоритм чисельного рішення показаний на Рис.10.

В ході підбору початкових умов характеристик розпилювання та місця розташування форсунок, визначаємо траєкторії польоту крапель і

приймаємо місце розташування форсунок в коагуляторі з максимальним улавлюванням вугільної золи.

З отриманих результатів для двох ступеневого коагулятора Вентурі котла ТП-90 Придніпровської ТЕС був зроблений висновок:

1. Проведена на початку 80-х роках Львів ОРГРЕС реконструкція з добудови II-го ступеня з двома вузькими шийками, не виправдовує себе, на бічні стінки конфузора потрапляє майже вся розпорошена вода, не беручи участь в золоуловлюванні.

2. Використовуючи стару схему з одноступеневим коагулятором і новою конструкцією розпилювача, дозволило зменшити витрату води в 4 рази, з 128 до 28,8 т/год і домогтися 99% уловлювання золи.

Результати чисельного рішення показано на Рис 9-15., де α кут вильоту краплі щодо горизонтального перерізу сопла.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

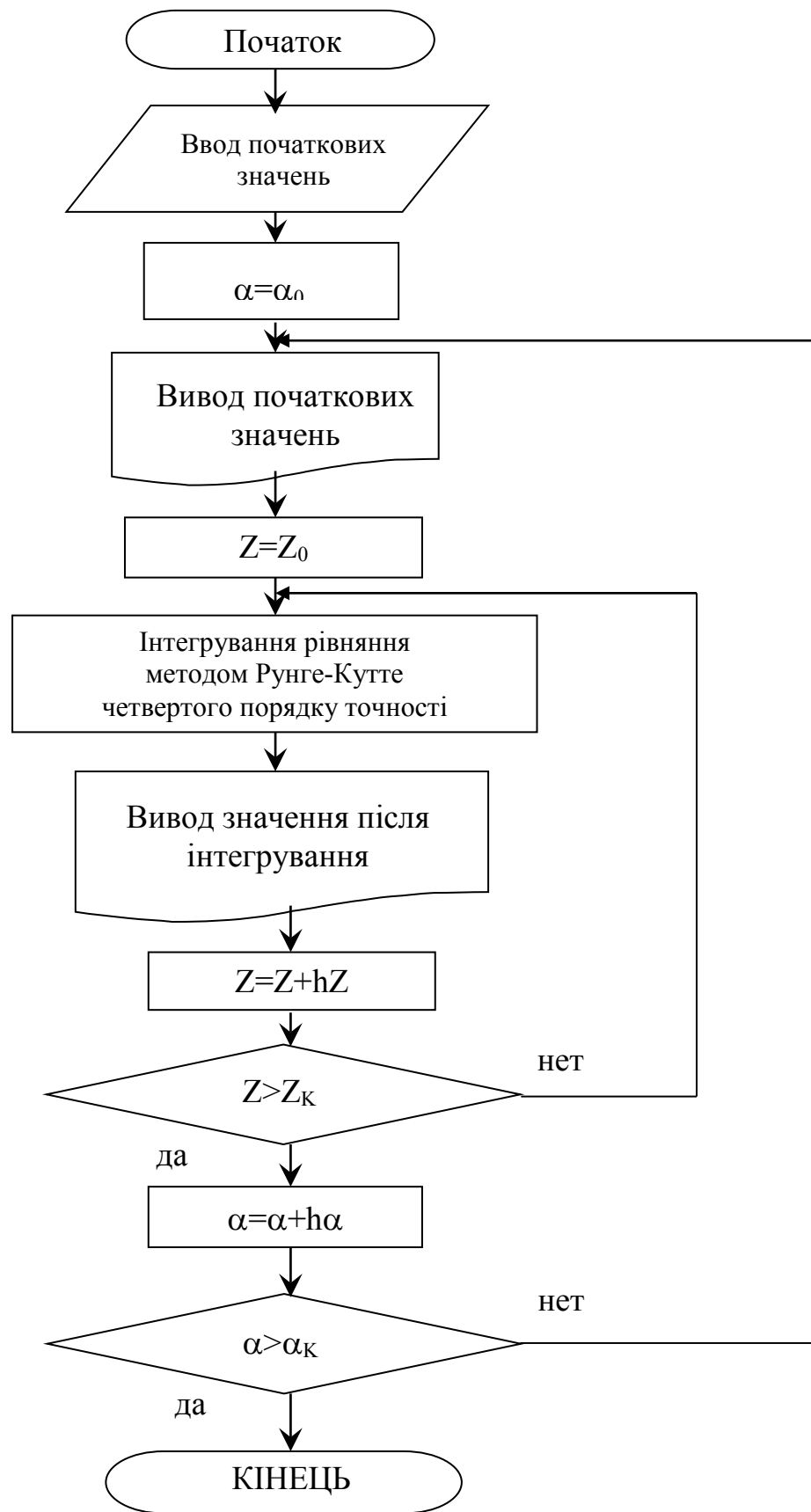
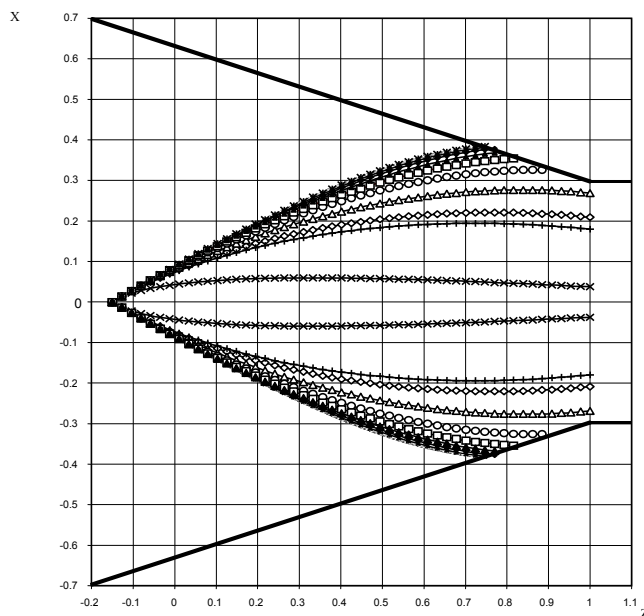
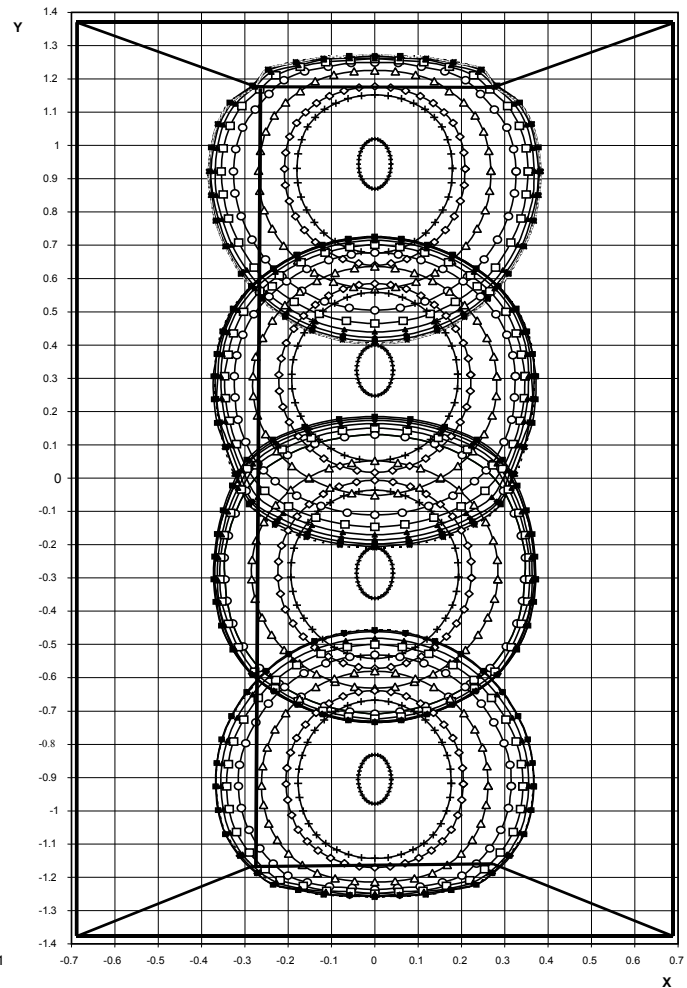
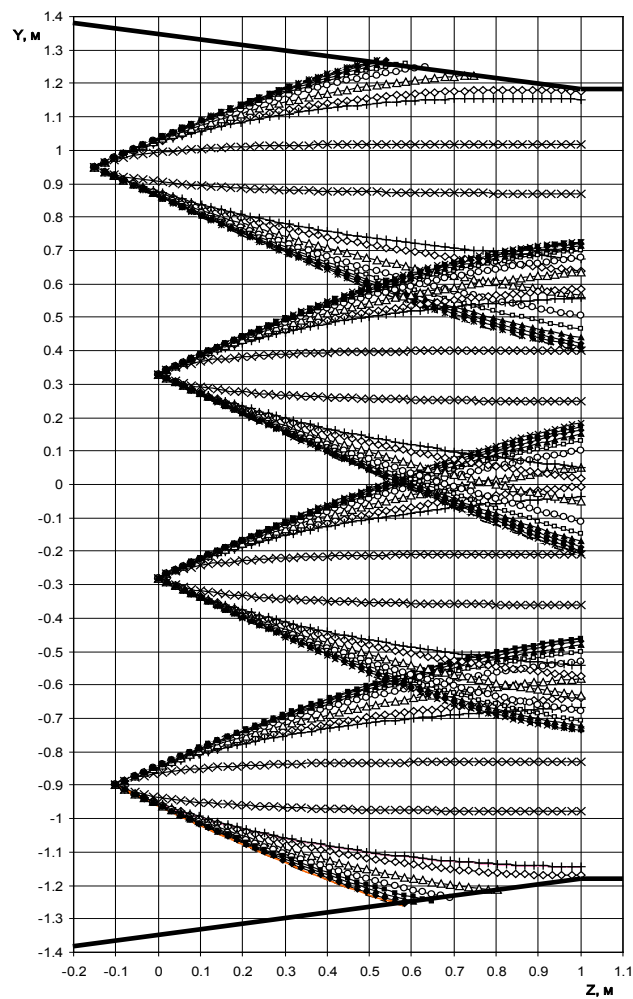


Рис.9. Алгоритм чисельної реалізації задачі α -кут вильоту краплини відносно горизонтального перерізу сопла.



- d32=596 мкм
- ×— 169 мкм
- +— 505 мкм
- △— 841 мкм
- 1176 мкм
- 1512 мкм
- 1848 мкм
- 2184 мкм
- 2520 мкм
- *--- 2856 мкм
- 3192 мкм

Рис.10.Траекторія крапель у конфузори щілинного коагулятора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

025.160101.MP.2020.001

Арк.

43

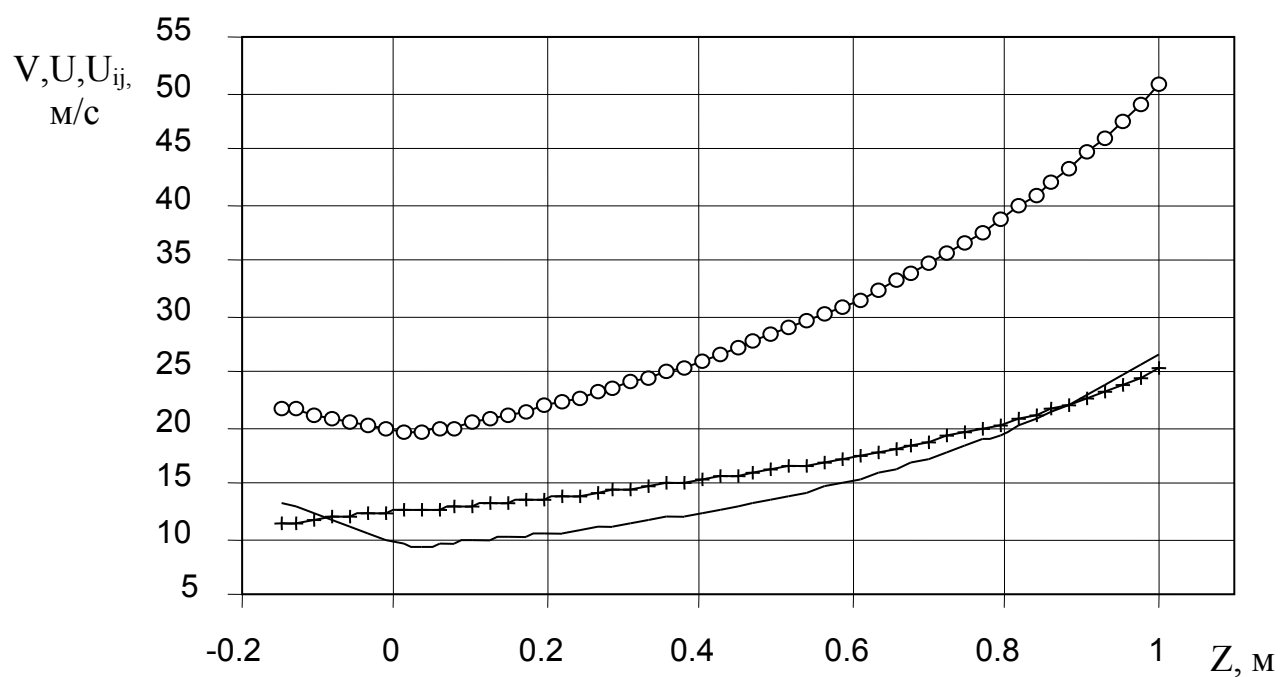


Рис.11. Зміна швидкості у конфузорі коагулятора
 —+— крапель V — \circ —, димового газу — U відносна швидкість U_{ij}

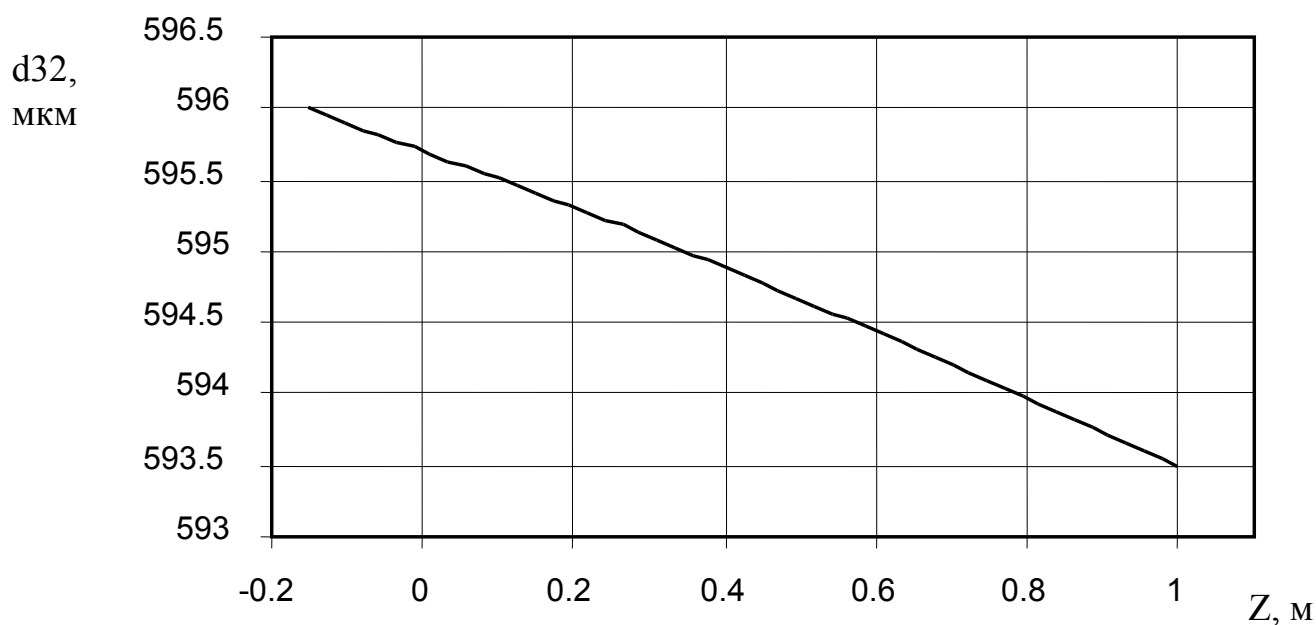


Рис.12. Зміна діаметру крапель по довжені конфузора

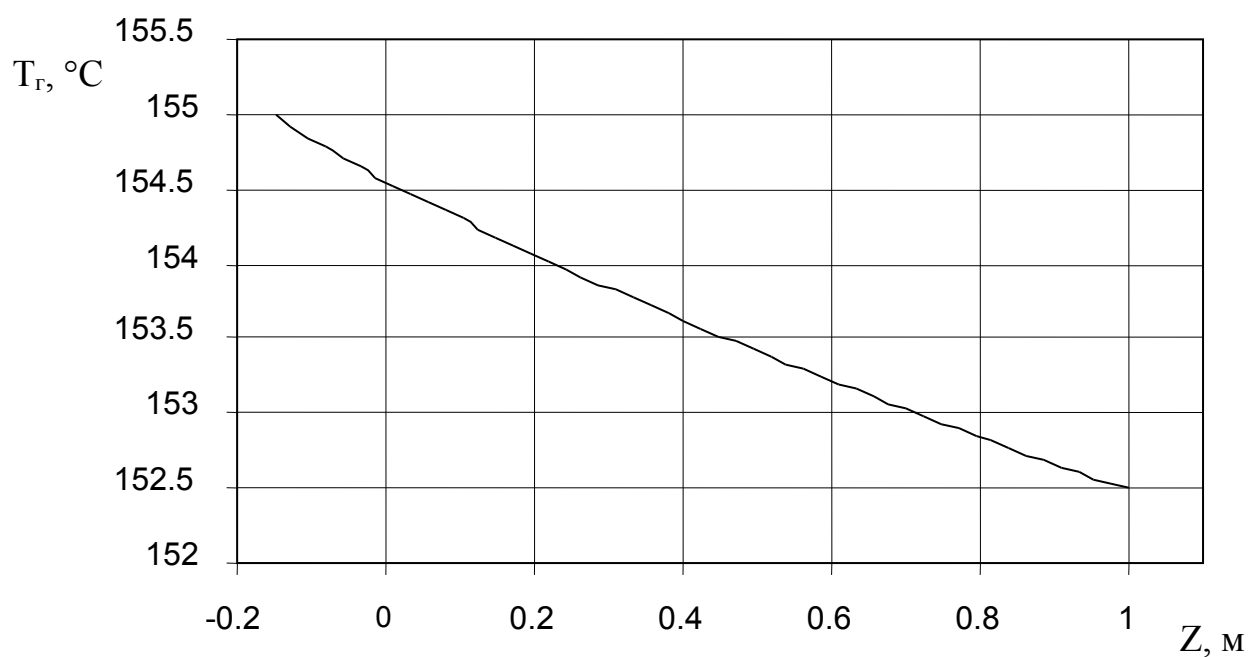


Рис. 13. Температура димових газів у конфузорі

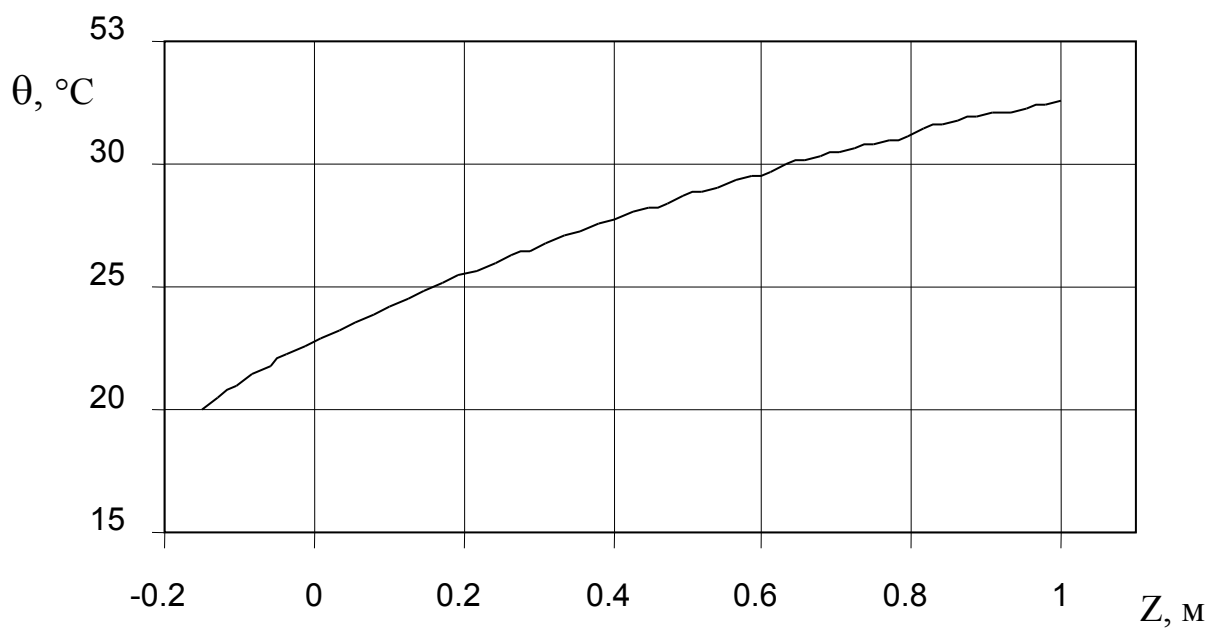


Рис.14. Температура крапель d_{32} в конфузорі

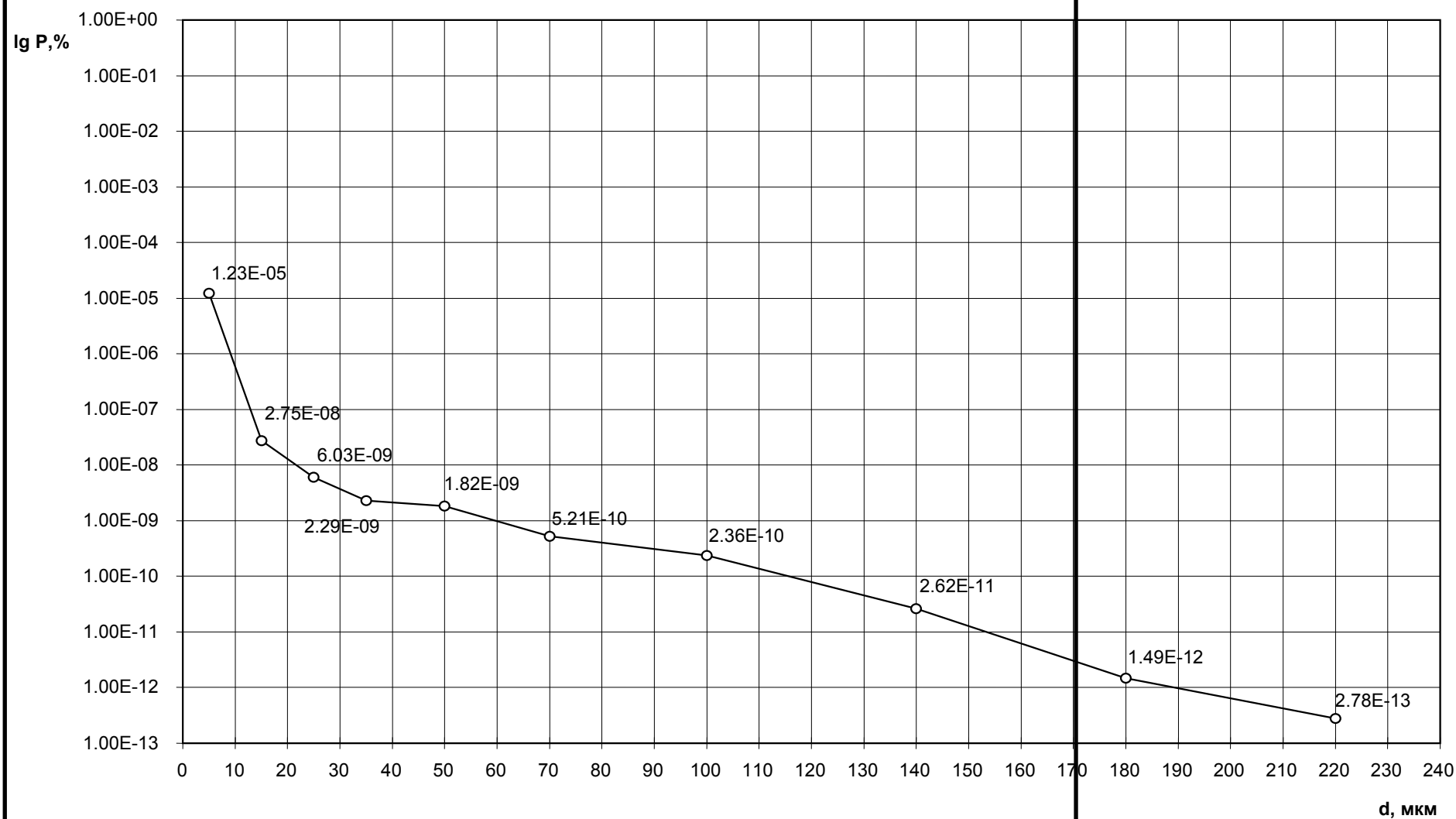


Рис.15. Ймовірність неуловлювання краплями частинок золи діаметром d_3

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЗРОШУВАННЯ КОАГУЛЯТОРА

4.1 Розрахунок форсунки розпилювача

Початковими даними для розрахунку форсунки, являються характеристики розпилювання (V_0, α, d_{32}), отримані в ході підбору початкових умов. В результаті розрахунку вибираємо конструктивну схему форсунки і розміри камери закручування. При цьому зразковий порядок вибору розмірів форсунки наступний[9]:

1. Вибераємо форму камери закручування : кут нахилу торцевої стінки $\delta=10-20^\circ$, сопло плоске. Приймаємо турбулентний аналог числа Рейнольдса $k_* = 1.8 - 1.9$.

2. Знаходимо коефіцієнт заповнення сопла ε по графіках (рис. 4.11. [9]), при якому виконується вимога по куту розкриття.

За ε і k^* знаходимо A_Γ гідродинамічну характеристику камери закручування . При $\varepsilon=1$ значення A_Γ набуваємо безпосередньо за (рис. 4.11. [9])

3. Задавшись першим наближенням $\frac{r_c}{R_0} = 0$, відповідаюче камері з плоскими торцевими стінками, із рис. 5.1. [9] по k знаходимо $\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0$.

Приймаємо $l_k=2r_c$ і уточнюємо $\frac{r_c}{R_0} = \left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0 \frac{1}{1 + \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} \frac{l_k}{2R_k}}$ а по графіку

$\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0$ і вираховуємо $\frac{R_k}{R_0} = \frac{1}{1 + \frac{2}{\operatorname{tg} \delta} \left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0}$.

4. По k , ε , $\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0$ і $\frac{R_k}{R_0}$ знаходимо коефіцієнт витрат μ (табл. П 1.6[9]). При $\varepsilon=1$ знаходимо μ по A_Γ (табл. П 1.7[9]).

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

$$5. \text{ Розраховуємо радіус сопла } r_c = \sqrt{\frac{Q}{\pi \mu}} \sqrt{\frac{\rho}{2 \Delta P}},$$

і радіус закрутки рідини

$$R_k = \frac{r_c}{\left(\frac{r_c}{R_k} \right)_0}$$

по k , $\frac{r_c}{R_k}$, $\frac{R_k}{R_0}$ знаходимо (табл. П. 1.2[9]) f_0 поправочну функцію на гідродинамічну характеристику закрученого потоку A_r , а далі вираховуємо геометричну характеристику $A_0 = \frac{1}{\eta} f_0 A_r$, задавшись по опиту $\eta=0,8-0,9$.

$$\text{Площа входних каналів } m f_k = \frac{\pi r_c^2}{A_0} \sin \beta \cos \theta.$$

Відхилення кутів від тангенціального напрямку в осевій і меридіональній площині призводить до зменшення швидкості початкової закрутки.

Знаходимо $r_{\phi m}$ радіус максимальної закрутки:

$$r_{\phi m} = \frac{r_c}{1.07 \cdot A_0^{-0.139}}, \quad 0.03 < \frac{1}{A_0} < 0.28$$

$$r_{\phi m} = \frac{r_c}{1.55 \cdot A_0^{-0.43}}, \quad 0.28 < \frac{1}{A_0} < 5$$

і уточнюємо f_0 , A_0 , $m f_k$.

6. Необхідний середній діаметр крапель забезпечується вибором геометричної характеристики входу

$$B = \left(\frac{30 r_c}{d A_0^{0.9} 10^{0.7k}} \right)^{1.429}$$

Обчислюємо уточнений відносний радіус камери $\frac{R_0}{R_k} = \frac{B}{2 \delta A} \left(\frac{r_c}{R_k} \right)_0 + 1$.

На цьому етапі розрахунку можна уточнити $\frac{r_c}{R_0}$ і, знайти найкраще приближення для $\left(\frac{r_c}{R_k} \right)_0$.

7. Вичисляємо за R_0 і максимальних витратах комплекс k . Якщо

отримаємо $k < k_*$, то режим автотермопідтримки не забезпечується і необхідно понизити в'язкість. При неможливості підвищення k , необхідно виконати розрахунок при отриманому його значенні, починаючи з вибору $\left(\frac{r_c}{R_k}\right)_0$.

Якщо $k > k_*$ продовжуємо розрахунок $k = 0.96 \ln \left(\frac{G}{2\pi l_k \mu} \frac{mf_k}{R_k^2} \right)$.

8. Обчислюємо геометричні розміри входних каналів:

діаметр круглого каналу $d_{BX} = \sqrt{\frac{4 f_k}{\pi \chi}}$, де $\chi = 0,82$ коефіцієнт витрати входних каналів

9. Оскільки в першому наближенні розміри камери закручування встановлені, можна знайти коефіцієнт відновлення швидкості і зробити їх уточнення.

$Re_{BX} = \frac{4Q}{m \Pi_k v}$, $\Pi_k = \pi d_{BX}$ і геометричну характеристику входу $B = \frac{2\pi R_k \delta (R_0 - R_k)}{mf_k}$, визначаємо за a_1 і $a_2 = 1$ з допомогою (рис. 3.4[9])

10. Внутрішній діаметр камери закручування і її довжину знаходимо за формулами $D = 2R_k + d_{BX}$, $h = (R_0 - R) \tan \delta$.

11. Осьова швидкість $V = \frac{Q}{\pi r_c^2 \epsilon}$, окружна швидкість

$W = \frac{\eta Q}{mf_k \left(\exp \left(1.132 \frac{r_c}{R_k} \right) - 1 \right)^{k-1}}$, середній кут розкриття факелу

форсунки $\alpha = \arctg \frac{W}{V}$; середній діаметр крапель $d_{32} = 0.154 P^{-0.44} d_0^{0.23}$, де

d_0 – діаметр сопла, мм; P – тиск в МПа.

Результати розрахунків приведені в табл.3.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таблиця 3

№	Діаметр камери D, мм	Радіус кривки R _к , мм	Радіус сопла r _с , мм	Висота вихревої камери h, мм	Кількість каналів n, шт	Діаметр вхідних каналів d _{вх} , мм	Тиск перед форсунками Р, МПа	Витрати G, кг/с	Початкова швидкість U ₀ м/с	Кут розкриття α, град	Ср. діаметр d32, мкм
1	32	12	4,5	40	4	9	0,1	1,8	11,2	60	596

4.2 Розрахунок зрошувача

Зрошувач встановлюється в газоході перед конфузоровим коагулятором (см рис.19). Для захисту від абразивного зносу встановлюється куточок $70 \times 70 \times 6$ ГОСТ 8509 – 72. Робочий тиск води в зрошувачі 101325 Па, по Ст.20 ГОСТ 1050 – 74. Цьому розрахунок зводиться до вибору по ГОСТах конструктивних матеріалів і визначенні геометричних розмірів.

Конструкція зрошувача показана на складальному кресленні (см. лист 1). Він складається з: колектора - нержавіюча труба $80 \times 5 \times 12$ Х1МФ ГОСТ 11068-64 для трубопроводів під тиском $P=4$ МПа, довжиною 2618 мм, з приварним штуцером і знімною заглушкою, що дозволяє продувати колектор від забруднень. По довжині в колектор вваривається чотири штуцери, що виготовляються з нержавіючої труби $55 \times 4 \times 12$ Х1МФ ГОСТ 11068-64 для трубопроводів під тиском $P=4$ МПа, довжиною 83 мм, 233 мм, 133 мм. На ці штуцера нагвинчує форсунка з нержавіючої сталі 15ХФ ГОСТ 4543-71. Сопло і завихорювач піддати дифузійному барированню на глибину 70-120 мкм що підвищить зносостійкість.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

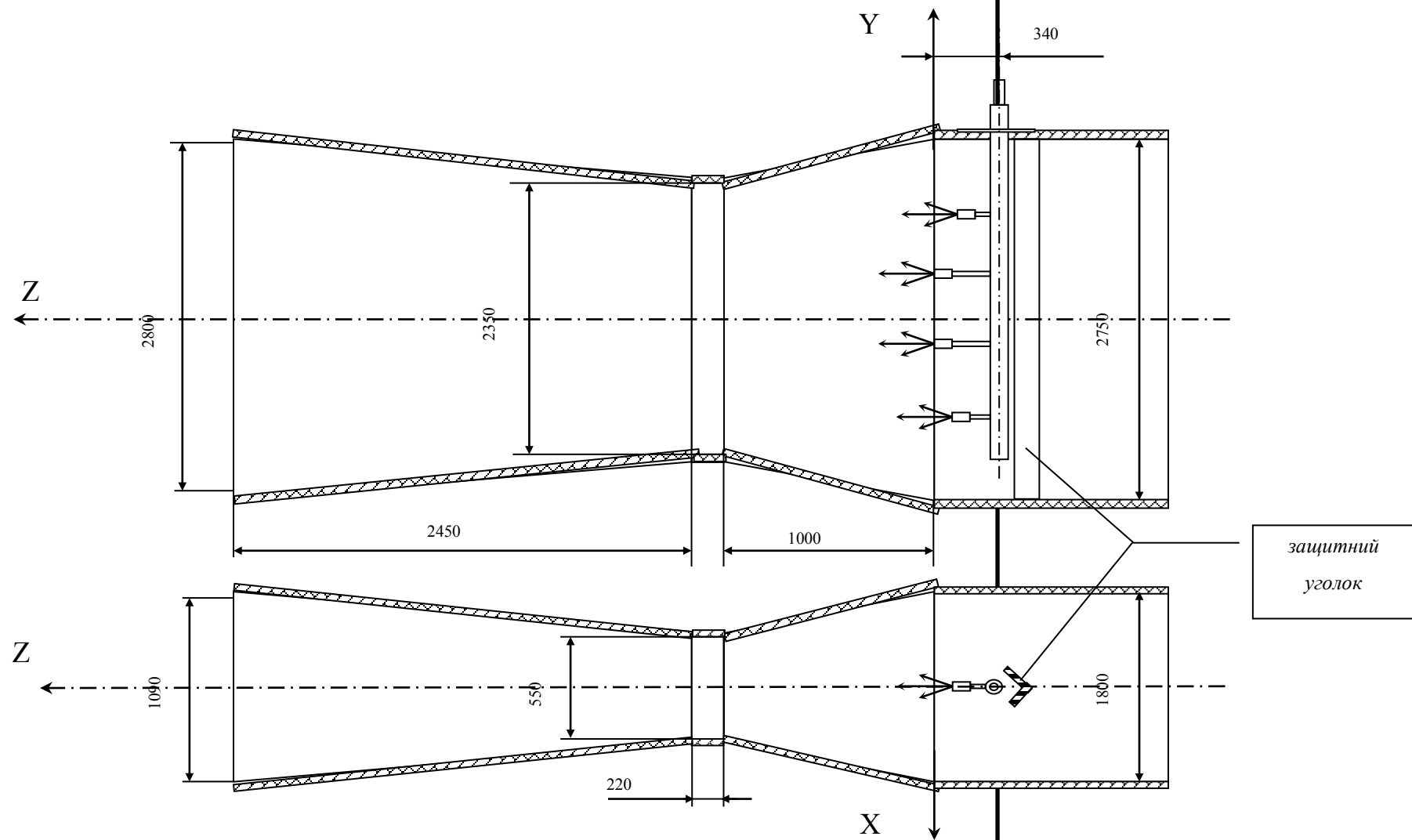


Рис. 16. Схема розташування зрошувача у коагуляторі

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ЕКОЛОГІЯ

Охороною праці називають систему організаційних і технічних заходів, здійснюваних на виробництві для захисту здоров'я і життя працівників від шкідливих умов, нещасних випадків і травматизму.

Заходи по промисловій санітарії забезпечують зниження дії на людину промислових отрут, газів, пилу, шуму, вібрації, а також раціональне облаштування опалювання, вентиляції і освітлення.

По санітарних нормах гранична температура повітря у виробничому приміщенні являється 28°C і вологість не більше 55%. Для цього передбачена загальна і місцева вентиляція приміщення, установка кондиціонерів.

Перед допуском робітників в топки і газоходи робиться вентиляція топок і газоходів для усунення шкідливих газів і зниження температури повітря.

Зменшення шуму робиться шляхом поліпшення режиму експлуатації устаткування, центрування і балансування механізмів, накладення шумоізоляції. Забезпечення нормальної освітленості робочих місць зменшує втому, підвищує продуктивність праці. Робиться забезпеченість питною водою з температурою не вище 20°C і не нижче 10°C.

Слюсарний інструмент.

Основна вимога безпеки до інструменту - його справність. Інструмент зберігається в інструментально-роздавальних коморах (ІРК). Спеціальний інструмент і пристосування робітники отримують під час роботи і повертають його в ІРК. Ручний спеціальний інструмент повсякденного застосування закріплюється за робітниками і зберігається в переносних інструментальних ящиках. Періодично, не рідше за один раз в місяць, майстер оглядає увесь інструмент і інвентар, що як знаходиться в коморі, так і виданий робітникам на руки. Інструмент, що не відповідає вимогам по

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

безпеці, видаляється із звернення.

Електрофіціровальний інструмент (дрелі, вібратори) під час роботи випробовує механічні дії, в результаті яких руйнується ізоляція токоведущих частин і може статися їх замикання на корпус. Для безпеки робіт корпус електрофіцірованого інструменту заземляють або (зашунтують!), застосовують накладене сполучення, систематично контролюють справність інструменту. Допустима напруга встановлена залежно від типу приміщення. У приміщеннях особливо небезпечних в усіх випадках допускається напруга не більше 36 В.

Пневматичний інструмент наводиться в дію стислим повітрям під тиском, який подається від компресора з допомогою шланга. Щоб не було зриву шланга, усі приєднання мають бути герметичними, надійними. Шлагн включають не в магістраль безпосередньо, а до її відведень, якщо компресор стаціонарний, або через вентиль по повітророзподільній коробці, якщо компресор пересувний. Другий кінець шлагна приєднують до штуцера іструмента. Від'єднати шланг можна тільки після відключення стислого повітря вентилем. При роботі треба стежити, щоб шланг не перегинався і не натягався.

Такелажні роботи складаються з підйому і переміщення важкого устаткування. Як правило, такелажні роботи з вантажем масой більше 60 кг і підйому вантажу на висоту більше 3 м здійснюються за допомогою вантажопідйомних машин і механізмів. До них відносяться крани усіх типів, вантажні електричні візки, пересуваються по підземних рейкових шляхах спільно з кабіною управління, ручні і електричні талі, лебідки для підйому вантажу або людей. Важке устаткування і деталі підвішуються на крюк механізму за допомогою вантажозахватного органу-крюка і знімних пристосувань - строп, траверс, кліщів, тари. Мостовий кран зазвичай встановлюється в машинному залі і в приміщенні котлоагрегатів електростанції.

Вантажопідйомні машини і механізми повинні міститися і

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатуватися в строгій відповідності з "Правилами пристрою і безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів". Вони піддаються періодичному огляду: частковому 1 раз на рік і повному 1 раз в 3 роки. При повному огляді машина піддається огляду, статичному і динамічному випробуванням. Під час огляду перевіряється справність приладів і облаштувань безпеки, гальм, кінцевих вимикачів, апаратури управління, освітлення, сигналізація. Оглядаються і перевіряються конструкції, сходи, майданчики, стан крюків, блоків.

Такелажні роботи є небезпечними. Вони виконуються спеціально навченими особами: машиністами кранів, стропальниками і зачіпниками, що має посвідчення, під керівництвом досвідченого працівника. До підйому вантажу відповідальна особа або майстер, а в особливо відповідальних випадках - начальник цеху, перевіряють пристрій, стійкість підйомного механізму і міцність кріплення самого вантажу. Якщо вантаж переміщують над працюючим устаткуванням, то роботою керує начальник цеху або його заступник, або старший майстер.

Джерелами пожежі на електростанціях є самозаймисті суміші витоків водню з повітрям (у акумуляторних приміщеннях, поблизу генераторів з водневим охолодження), горючих газів, пилу, олії. Тому взриво- і пожежобезпека є однією з основних вимог експлуатації електростанцій.

Вибухонебезпечними називаються приміщення і зовнішні установки, в яких при технологічному процесі можуть утворитися вибухонебезпечні суміші : горючих газів або пари з окисником - повітрям, киснем, хлором, паливних пилей з повітрям. До вибухонебезпечних відносяться суміжні приміщення, приміщення, в яких спалюють паливо. Приміщення є пожежонебезпечним, якщо в них виготовляють, переробляють або зберігають горючі речовини.

Найбільш вірогідними джерелами займання є електричні іскри. Тому устаткування для пожаро- і вибухонебезпечних приміщень вибирають спеціального типу і виконання залежно від класу приміщення.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Будівлі і спорудження електростанцій виконуються вогнетривкими. Вогнестійкістю називається здатність конструктивних частин будівлі зберігати свою міцність в умовах пожежі. Підлога в приміщеннях теплових цехів виконується рівним, нековзними, вогнетривкими, їх твердих, міцних матеріалів, що не згорають. У кожному цеху на випадок виникнення пожежі забезпечують можливість швидкої і безпечної евакуації людей через евакуаційні виходи - двері, ворота, проходи. У приміщеннях електростанції встановлюють пожежні крани з брандсбойтами, вогнегасниками, ящики з піском і протипожежний інвентар. Для гасіння пожежі в електроустановках, як правило, в першу чергу застосовують вуглекислотні і легко-механічні, пінні вогнегасники, а також розпорошену воду.

За правилами пожежної безпеки в кожній виробничій і адміністративній будівлі має бути пост пожежогасінні, маршрут евакуації персоналу, а також встановлені пожежні пости, укомплектованні первинними засобами пожежогасінні, такими як ОП, ОУ для гасіння устаткування, що знаходиться під напругою; ОХП, ОВП і вище - для гасіння горючезмазувальних матеріалів і інших що не знаходяться під напругою устаткування, пожежними сливами і рукавами, і іншими необхідними протипожежними засобами.

Заходи з довілля охорони.

Розвиток енергетики характеризується високими темпами, які зберігаються і на найближчий період часу. Виробництво електроенергії у світі на цьому етапі розвитку подвоюється в течії 10 років. Це означає, що повинне практично подвоюватися і кількість спалюваного органічного палива.

Теплові електростанції, споживаючи близько 40% палива, що добувається у світі, роблять істотний вплив на довкілля. Ця дія ТЕС визначається викидом в атмосферу продуктів згорання, що містять шкідливі гази і дрібні тверді частки, видаленням шлаків і забрудненням

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

стічних вод, а також супутнім процесом викиду теплоти з димовими газами в атмосферу і з циркуляційною водою з конденсаторів турбін у водні басейни.

Різні речовини, що викидаються електростанціями, чинять шкідливу дію на увесь комплекс живої природи, який називається біосферою. Так, в газоподібних викидах ТЕС до шкідливих речовин відносяться оксиди азоту NO_2 і оксиди сірки SO_2 , а також тверді частки золи і пил, перекису ванадію V_{2O_5} . При неповному згоранні палива в димових газах можуть знаходитися окисел вуглецю, вуглеводні тип CH_4 , C_2H_4 , $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$, сажа.

У стічних водах електростанцій знаходяться неорганічні розчинні токсичні речовини, молекулярно-розчинні органічні речовини, розчинені гази, нерозчинені тверді домішки. Усі стічні води ТЕС проходять ретельне очищення з проведенням контролю за рівнем забруднень перед їх випуском в природні басейни. Миття із забруднень стічних вод отруйні для рослинного середовища і тваринного світу водних басейнів.

У викидах вугільних ТЕС містяться радіоактивні частки, оскільки у вугіллі завжди є присутніми у малій кількості домішки, уран, що містять, і кюрій.

Частки золи, що викидаються з димовими газами, сажі і коксу мають розміри від доль мікрона до десятків і сотень мікрон.

В цілях забезпечення санітарних норм навколишньої місцевості міра уловлювання часток золи з потоку димових газів повинна складати $\text{hз.у.}=0.995$, що при переході від $\text{hз.у.}=0.98$ відповідає зменшенню долі золи в 4 рази.

Викид оксидів азоту розраховується на кількість NO_2 . Визначення масового утворення оксидів азоту в ядрі факела досить скрутно, оскільки NO_2 залежить від багатьох чинників, у тому числі від температурного рівня горіння, надлишку повітря, наявності азоту. В середньому, при спалюванні палив концентрація NO_2 в газах, що йдуть, складає близько 1 г/м^3 .

Викиди часток золи в основному осідають на землю. Забруднення

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приземного повітря і поверхні твердими частками, шкідливими для дихальних шляхів, в золі палив містяться мікродомішки з'єднань металів, що мають високу токсичність.

Скорочення шкідливих викидів в атмосферу і їх розсіювання. Що міститься в органічному паливі і робить істотний вплив на довкілля домішкою є сірка.

Основними способами зниження кількості серничастих з'єднань, що викидаються в атмосферу, є глибока переробка жидкого і твердого палив на самій ТЕС з отриманням газоподібного палива і подальшим його очищенням від сірчистих з'єднань, очищення димових газів після парових котлів від оксидів сірки.

Гідроочищення фракцій дистилятів нині досить добре розроблене і економічно ефективне. Проте вона пов'язана з великими капітальними витратами. Зниження сірчистості спалюваного палива можна здійснити на ТЕС, піддавши його, до вступу в котел, дії високих температур з використанням окислителей. Процес газифікації здійснюється в умовах високих температур при обмеженому доступі кисню. Видалення SO_2 при низьких концентраціях пов'язано з необхідністю спорудження дорогих очисних пристроїв. Простим і найбільш дешевим матеріалом для сіркоочисних установок є використання винищити CaO або вапняку CaCO_3 . Розроблений ряд способів очищення від оксидів сірки, при яких отримані продукти використовуються для отримання товарної сірчаної кислоти.

Основні способи пригнічення утворення оксидів сірки в топках котлів:

1. Зменшення надлишку повітря в топці до мінімального за умови повного згорання палива.
2. Пониження температури підігрівання повітря, що поступає в топку, в межах допустимого.
3. Рециркуляція димових газів в топку.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Застосування двоступінчатого горіння, коли в нижні пальники подається паливо при недостатній кількості повітря, а у верхні пальники подається збіднена суміш або чисте повітря.

5. Зниження теплової напруги в топці.

6. Збільшення міри екранування топки.

7. Застосування топок з гранульованим шлаковидаленням.

8. Уприскування води на початковій стадії утворення факела.

Значно знижується теплове навантаження на водойми при використанні оборотних систем охолодження з використанням водосховищ або градирень. При цьому істотно підвищуються капітальні витрати і дещо знижується ККД ТЕС за рахунок збільшення температури охолоджувальної води і зниження вакууму в конденсаторах. При оборотній системі середньорічна температура охолоджувальної води, що поступає в конденсатори турбін, складає 22°C, а при прямотоюної 11°C. Це призводить до зниження ККД ТЭС до 34%.

Для очищення стічних вод від нафтопродуктів використовуються методи відстоювання, флотації і фільтрування.

Унаслідок недостатнього очищення і великої валової витрати стічних вод потрібно дуже багато чистої води для розведення мастильних вод до ГДК у водоймах. Тому необхідно виконувати вдосконалення технології, корінна зміна технологічних процесів, використання оборотних систем, експлуатація пилезбірників.

Техніка безпеки при монтажі.

До роботи на висоті допускаються робітники не молодше 18 років, що мають стаж роботи не менше 1 року і дозвіл медичної комісії.

Монтажники, працюючи на висоті, зобов'язані одягати запобіжні пояси, забезпечені паспортом-біркою, і мати нековзке взуття. Під час роботи запобіжні пояси прикріплюють ланцюгами до надійної опори.

Перед початком роботи слюсар повинен оглянути своє робоче місце і

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

переконатися, що його стан відповідає вимоги техніки безпеки. Не можна приступати до праці до усунення загрозливих життю несправностей, про які слід негайно повідомляти майстра або прораба.

Щоб уникнути перетирання і обриву канатів потрібно стежити, щоб вони не торкалися один одного і будівельних конструкцій, і не стикалися з електричними кабелями і дротами.

Забороняється підтягати вантаж по землі краном при косому положенні каната. При підйомі вантажів відхилення вантажного каната від вертикалі не допускається.

Не дозволяється поправляти вузли і петлі на канаті, натягнутому вантажем.

Встановлюючи деталі на місце, потрібно поправляти їх не руками, а ломиками, важелями, відтяжками. Збіг отворів в косинках і інших деталях потрібно перевіряти конусними оправляннями. Робітникам забороняється ходити по балках і рейках, розташованих на висоті і обгороджувальних, що не мають. Забороняється також переміщатися по мокрих після дощу і металоконструкціям, що обледеніли.

Деталі, що вільно лежать на вантажі, і інструменти мають бути зняті до початку підйому вантажу.

Забороняється приєднувати електроінструмент оголеними кінцями дротів з мережі або контактам рубильників.

Не дозволяється користуватися ручними молотками, що мають задирки, зубилами і (крейцмастерами!) з косими або збитими кінцями.

При роботах поряд із зварювальником слюсар повинен захищати очі від світла дуги.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

ЕКОЛОГІЧНІ ВТРАТИ ВІД ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ ПИЛУ

На Придніпровській ТЕС на даний момент працює чотири енергоблоки 150 МВт, 3-а черга (блок №7) * і 4-а (блоки №8-10). Енергоблок №7 викидає димові гази через димар №4, заввишки $H=100\text{м}$ і вихідним діаметром $d=6\text{м}$. Блоки, що раніше працювали на цю трубу, 100 МВт демонтовані. Енергоблоки №8-10 відводять димові гази на трубу №5, заввишки $H=125\text{м}$ і вихідним діаметром $d=8\text{м}$. Об'єм димових газів, що йдуть, після мокрого газоочищення від енергоблока складе $219,87\text{ м}^3/\text{з}$ при температурі 70°C .

Концентрація шкідливих речовин в приземному шарі атмосферного повітря на висоті $1,5\text{м}$ від землі, $\text{мг}/\text{м}^3$:

$$C_m = \frac{A m n M F}{H^2} \sqrt[3]{\frac{N}{V \cdot \Delta T}},$$

де $A=160$ - коефіцієнт температурної стратифікації атмосфери України, $\text{с}^2/3\text{м}^2/\text{г К}^{1/3}$; M - сумарний викид забруднюючих речовин, $\text{г}/\text{з}$; H -висота димаря, м ; V - об'єм димових газів, $\text{м}^3/\text{з}$; F - коефіцієнт, що враховує швидкість осідання часток золи, $F=2-3$; N - число димарів; ΔT - різниця температур газу і повітря; m, n - коефіцієнти, залежні від швидкості газів на виході з труби, для теплових електростанцій $n=1$;

$$m = \frac{1}{0.67 + 0.1\sqrt{f} + 0.34\sqrt[3]{f}}, \quad \text{де} \quad f = 10^3 \frac{w_0^2 D}{H^2 \Delta T}, \text{ м/с}^2\text{К};$$

$w_0 = \frac{4V}{\pi D}$ – швидкість газу на виході з труби, $\text{м}/\text{с}$; D - діаметр вихідного отвору труби;

* – тут і далі нумерація устаткування Придніпровської ТЕС.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Кількість золи $M_3^l = 10(A^{PP} + 0.03 q_4) a_{yH} Q, \text{г/с};$

A^{PP} —приведена зольність, $A^{PP} = A^P / Q_H^P$; q_4 — втрати тепла від механічного недопалення, $q_4 = 2\%$; a_{yH} — доля золи відноситься з топки з рідким шлаковидаленням, $a_{yH} = 0,85$; Q — втраті тепла; $Q = B_P Q_H^P$, МВт; B_P —втрати палива, кг/с;

Кількість золи у викидах в атмосферу: $M_3 = M_3^l (1 - \eta),$

η — степінь золоулавлювання;

Економічні втрати від забруднення атмосфери при відомій концентрації шкідливих речовин, в грн:

$$Z_B = \sum_{i=1}^n Z_d^{3H} + \sum_{i=1}^n Z_d^{KX} + \sum_{i=1}^n Z_d^{CX} + \sum_{i=1}^n Z_d^{PP},$$

де $Z_d^{3H}, Z_d^{KX}, Z_d^{CX}, Z_d^{PP}$ — питомі збитки здоров'ю населенню, комунальному господарству, сільському і лісовому господарству, промисловості; R - чисельність населення в зон впливу; S - площа сільськогосподарських і лісових угодьєв; Φ - вартість основних промислово-виробничих фондів;

Для Придніпровської ТЕС $R=400$ тис. чол., $S_{CX}=31,65$ тис. Га $S_L=9,043$ тис. Га, загальна площа $S=40,693$ тис. Га, $\Phi=800$ млн. грн.

Розрахунок значень приведені у табл.3 .

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Таблиця 4

№	Найменування Величини	Ед. Из.	До реконструкції (η=94%)		Після реконструкції (η=94%)	
			4-я труба (блок №7)	5-труба (блоки№8-10)	4-я труба (блок №7)	5-труба (блоки№8-10)
1	2	3	4	5	6	7
1	об'єм димових газів V	м³/с	219,87	659,61	219,87	659,61
2	швидкість газу W ₀	м/с	46,66	104,98	46,66	104,98
3	f		30,38	131,22	30,38	131,22
4	Швидкосний коеф. m	м/с²К	0,438	0,282	0,438	0,282
5	Кількість золи M ₃ ^I	г/с	7285,146	21855,43 8	7285,146	21855,43 8
6	Кількість викидів M ₃	г/с	437,11	1311,326	72,85	218,55
7	Концентрація викидів у атмосферу C ₃	мг/м³	0,362	0,310	0,061	0,052
8	Z _d ^{3H} на одну особу	грн.	211.25	181.9	35.6	30.15
9	Z _d ^{KX} на одну особу	грн.	91.45	56.9	10.15	8.6
10	Z _d ^{CX} на 1 Га	грн.	133.325	128.9	30.5	25.85
11	Z _d ^{PP} на 1 млн. грн.	грн.	1655.5	1526	305	258.5
12	Економічні втрати від забруднення Z _Б	грн.	229415700		36543850.6	
13	Економія після зниження викидів Э _{ат} = Z _Б ^{94%} – Z _Б ^{99%}	грн.	192871849			

ВИСНОВКИ

У результаті виконаного аналізу основних шляхів очистки димових газів від золи на ТЕС із точки зору їхньої економічної доцільності та екологічної безпеки можна зробити такі висновки:

1. В роботі розглянуті існуючі способи очищення димових газів від золи на теплових електростанціях і проведений аналіз ефективності їх застосування. Виявлено, що існуюче обладнання не забезпечує ефективне золоуловлювання і характеристики його роботи можуть бути покращені. Сучасні методи очищення шкідливих викидів котельних мають низьку ефективність.

2. Найбільш поширені – вологі методи очищення відхідних газів (зрошенням водою) супроводжуються значним зменшенням температури газів, а відтак різко скорочують можливість подальшого використання їхнього теплового потенціалу. Окрім того, вони пов'язані з додатковими енергетичними та матеріальними витратами, а ефективність очистки в них вдвічі нижче, ніж в електрофільтрах.

3. Апарати сухого типу теж не забезпечують необхідного ступеня очищення, доволі громіздкі, а їхнє включення у тракт відпрацьованих газів потребує додаткових енергетичних витрат на подолання аеродинамічного опору. Очистка димових газів від золи в основному здійснюється в електрофільтрах, на більшості котельних давно морально і фізично застарілих, що вимагає їх заміни або реконструкції.

4. Проблема екологічної безпеки котелень загострюється ще тим, що заміна недосконалих апаратів вологого золоуловлювання і електрофільтрів на сухі сучасні апарати потребує значних матеріальних і фінансових витрат. Природоохоронні заходи на таких об'єктах мають реалізовуватися при розробці плану виробництва таким чином, щоб зростання виробничих потужностей випуску продукції супроводжувався відповідним зростанням продуктивності очисних споруд, підвищенням якості очищення.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

5. Через недосконале природоохоронне обладнання необхідний ступінь очистки у більшості випадків є недосяжним. Таким чином, пошук резервів скорочення токсичних викидів від котельних доцільно здійснювати в напрямі скороченні витрат палива, що в них спалюється, тобто самих джерел цих викидів, а не тільки ліквідації наслідків непродуктивного використання паливних і водних ресурсів. Реалізація цього напрямку, в свою чергу, пов'язана з раціональним використанням теплоти і теплоносія (води) в технологічних процесах, а відтак паливних і водних ресурсів. Проведена оцінка техніко-економічних показників засвідчила ефективність технології, що пропонується.

6. Розроблені заходи з охорони праці при експлуатації обладнання по очищенню димових газів на ТЕС.

7. Високий ступінь очистки відхідних газів від таких забруднювачів атмосфери, як SO₂ і NO₂ також може бути досягнутий, але на певному етапі фінансові затрати різко збільшуються.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кропп Л.И. и Акбрут А.И. Золоуловители с трубами Вентури на тепловых электростанциях. М. Энергия, 1977.
2. Krafwerk Schkopon. VEBA Krafwerke Ruhr AG. Германия. Рекламный проспект.
3. Виск М., Даклер Д. Новый метод измерения распределения размеров капель электропроводной жидкости в двухфазном потоке – В книге: Достижение в области теплообмена. –М: Мир,1970.–с 170-187.
4. Бершова И.В., Канило П.М., Романенко З.Д. Комплексное применение счетно-импульсной инвариантной оптической диагностики для исследования качества распыливания топлива.: Тезисы I Всесоюзной науч.- техн. конф.– Харьков, 1988.– с 11-12.
5. Палатник И.Б. Пылеуловители с трубами- коагуляторами Вентури (основы теории и методы расчета).–Алма-Ата: Наука КазССР, 1981.–208 с.
6. Смачивание пыли и контроль запыленности воздуха в шахтах/ Кудряшов Р.Р., Воронина Л.Д., Шуринова М.К., Воронина Ю.В., Большакова В.А.– М.:Наука,1979.–196с.
7. Корн Г., Корн Т., Справочник по математике.: для научных сотрудников и инженеров. / Г. Корн, Т. Корн, –М.:Наука,1975. - 830 стр.
8. Диагностика капельных потоков при внешних воздействиях/ Э.Г.Братута.–Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987.–144с.
9. Коваль В.П. Совершенствование энергетических аппаратов с вихревой камерой.: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук.–Днепропетровск, 1989.
10. Экология и энергетика/ Вороновский Г.К., Переверзев Н.П. –Х.: Курсор, 2000.–274с.: ил.
11. Справочник металлиста. В 5-и т. Т.2. Под ред. А.Г. Рахштадта и В.А. Брострема. М., Машиностроение, 1976.

					025.160101.MP.2020.001	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

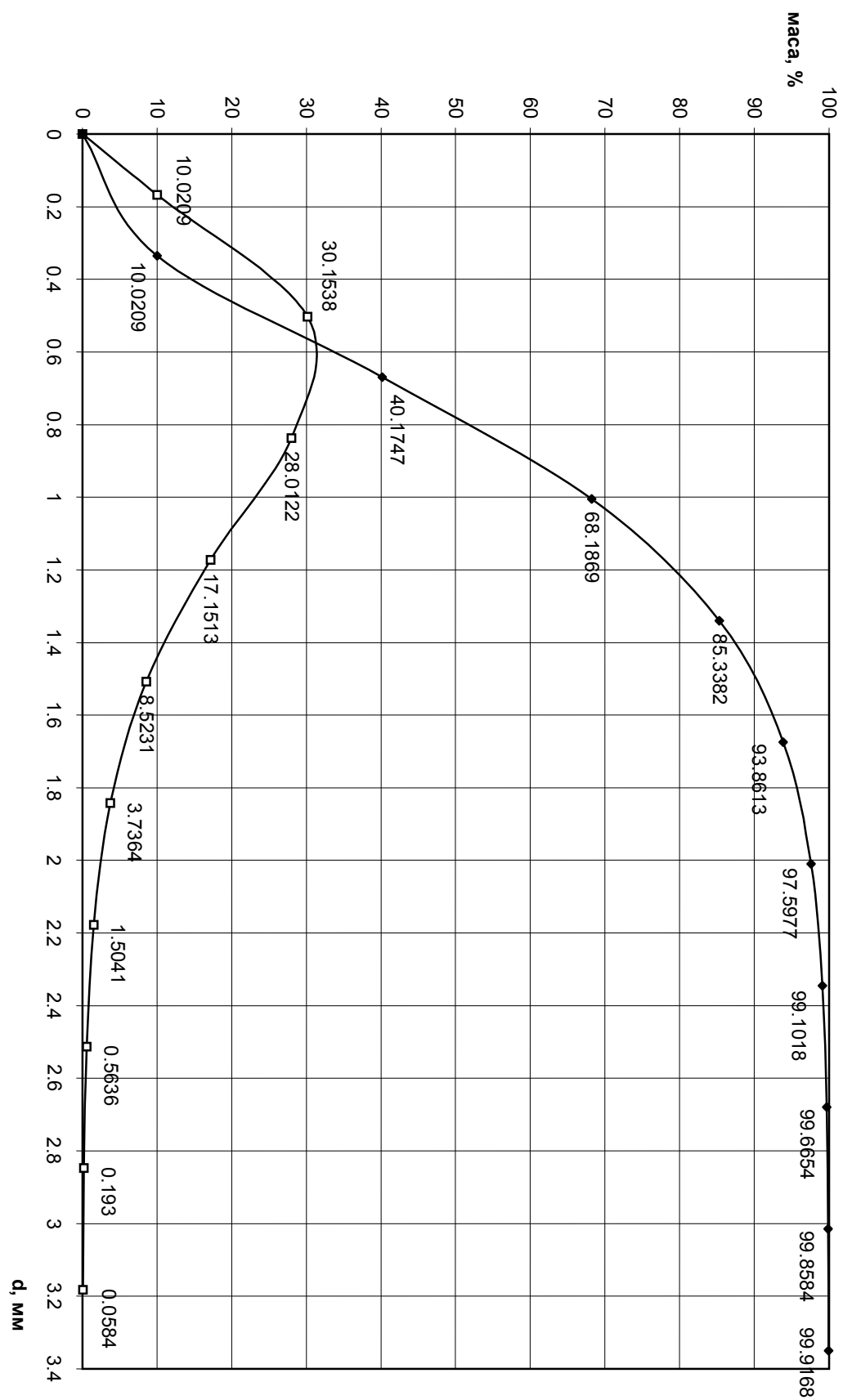


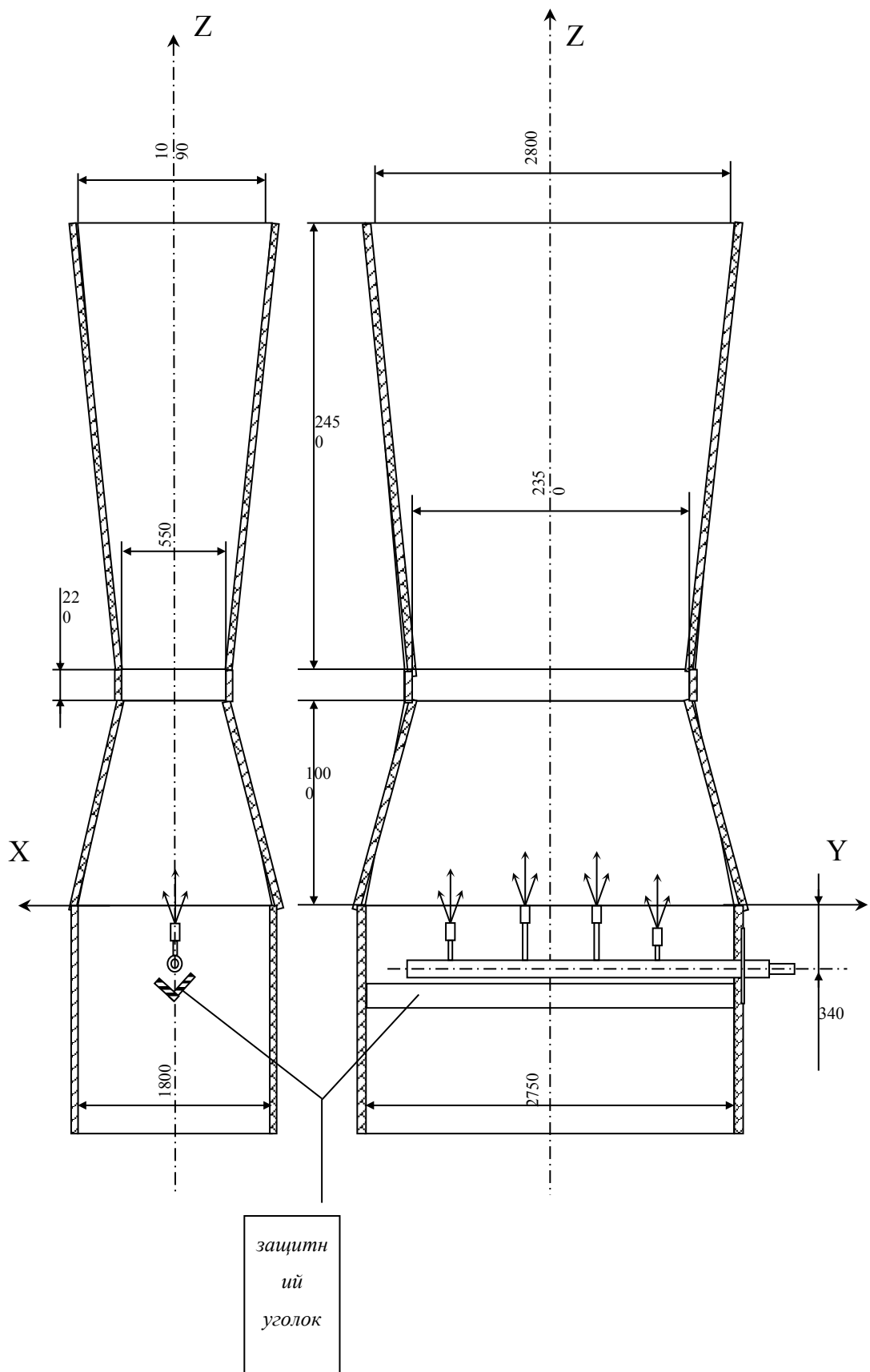
Рис.8. Характеристики розпилювання крапельного потоку при $d_{32}=596$ мкм
диференціальна і інтегральна

025.160101.MP.2020.001

Лист

35

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



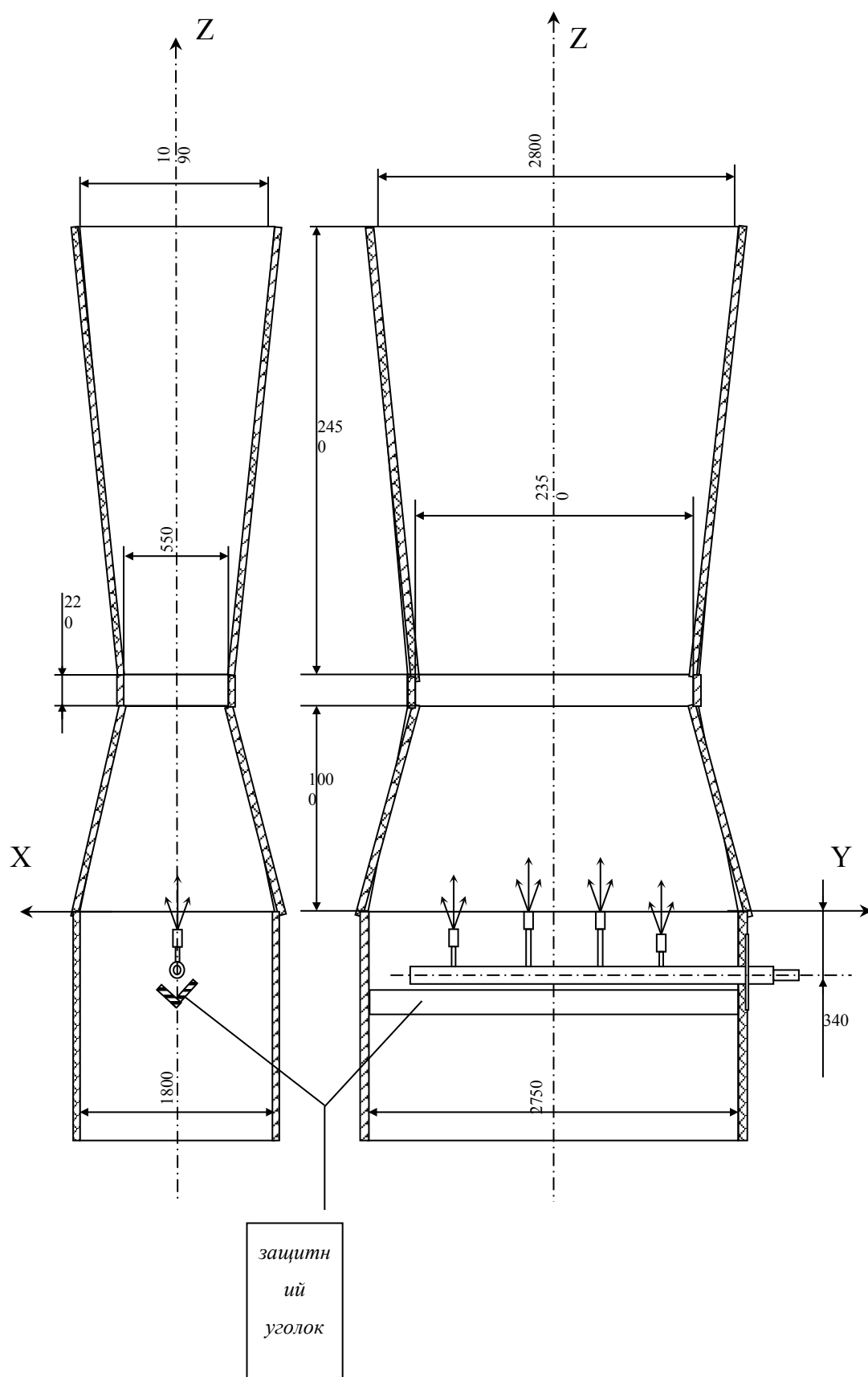


Рис. 16. Схема розташування зрошувача у коагуляторі

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

025.160101.MP.2020.001

Лист

52

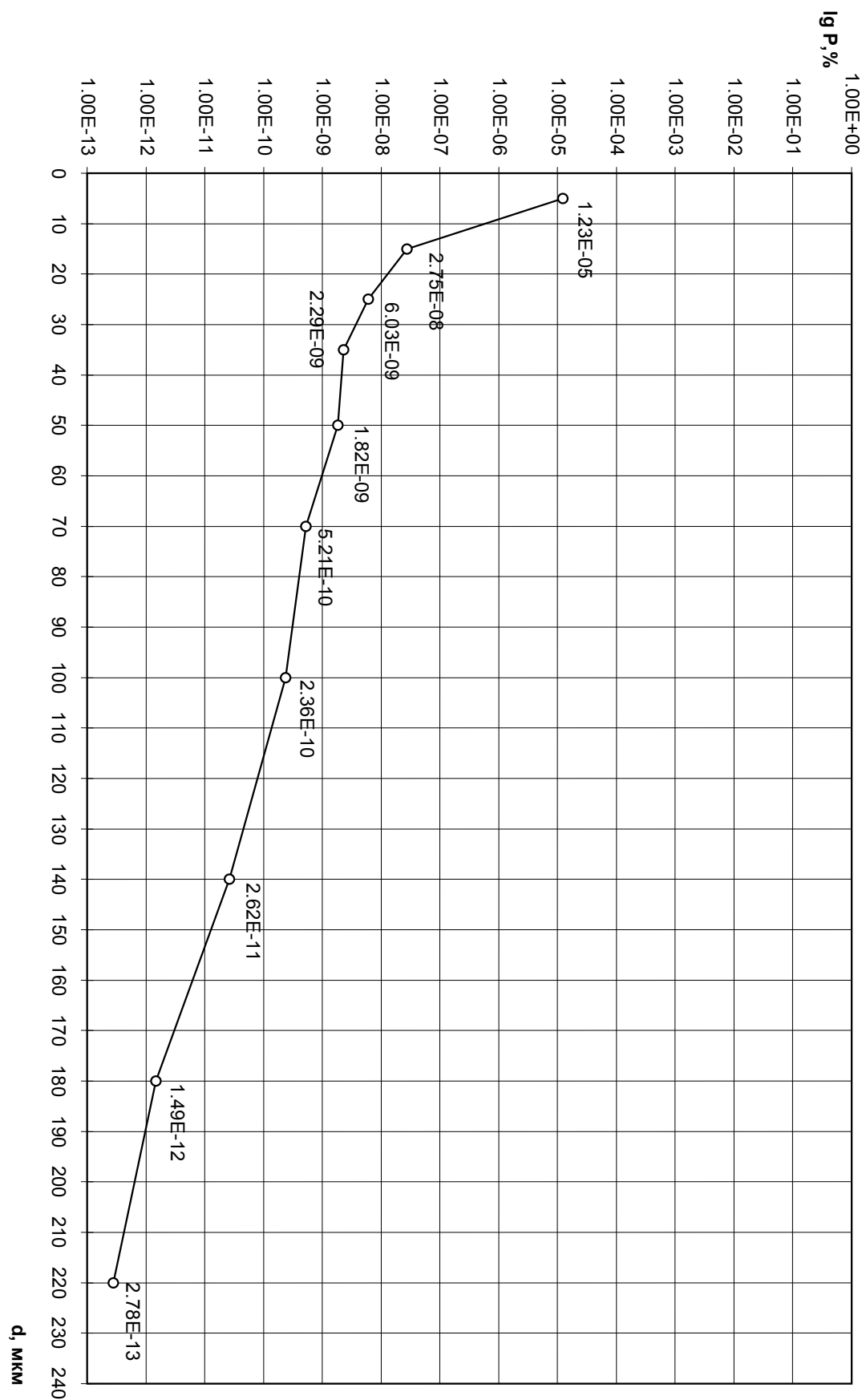


Рис.15. Ймовірність неувловлювання краплями частинок золи діаметром d_3