

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет
Академія будівництва України
Інженерна Академія України

А. О. Белятинський, В. М. Бадах,
Ю. С. Головка, В. М. Першаков,

Утилізація автошин методом гідроабразивної деструкції гуми

Монографія

Під загальною редакцією
д.т.н., професора В. М. Першакова

Київ 2018

УДК 621.924.93 (045)

Автори:

А. О. Белятинський – д-р техн. наук, проф.;
В. М. Бадах – к.т.н., с.н.с.;
Ю. С. Головка – к.т.н., доцент;
В. М. Першаков – д-р техн. наук, проф.

Рецензенти:

В. Б. Струтинський – д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет України «КПІ» ім. Сікорського);
А. І. Білеуш – д-р техн. наук, проф., голов. наук. співроб. (Інститут гідромеханіки НАН України);
О. І. Давиденко – д-р техн. наук, проф. (Національний університет біоресурсів і природокористування).

Рекомендовано до видання Вченою радою Національного авіаційного університету (протокол № 3 від 22 березня 2017 р).

Белятинський А. О.

Утилізація автошин методом гідроабразивної деструкції гуми.
Монографія / А. О. Белятинський, В. М. Бадах, Ю.С. Головка, В. М. Першаков. Під заг. ред. д.т.н., проф. В. М. Першакова. – К.: ТОВ «НВФ «Славутич-Дельфін», 2018. – 148 с.

ISBN 978-966-2071-41-2

Приведено результати розробки екологічно чистого, високоефективного методу і обладнання для утилізації зношених автомобільних шин на базі гідроабразивної деструкції гуми. Принцип дії обладнання базується на використанні ефекту силової дії струменя води високого тиску, який поєднується з роботою різання, яку виконують абразивні частки, що рухаються в потоці.

Приведено також розробку комплексу обладнання для очищення та регенерації забрудненої води з метою її повторного використання для водопостачання обладнання рідинних струменевих технологій та іншого виробничого обладнання промислових підприємств.

Для наукових та інженерно-технічних фахівців, співробітників науково-дослідних, проектних, будівельних організацій, а також аспірантів і студентів будівельних вищих навчальних закладів і факультетів.

ISBN 978-966-2071-41-2

УДК 621.924.93 (045)

© Белятинський А. О., Бадах В. М.,
Головка Ю.С., Першаков В. М., 2018

РЕФЕРАТ

Приведено результати розробки екологічно чистого, високоефективного методу і обладнання для утилізації зношених автомобільних шин на базі гідроабразивної деструкції гуми. Принцип дії обладнання базується на використанні ефекту силової дії струменя води високого тиску при цьому в рідинний струмінь додаються частки абразиву, які, рухаючись з високою швидкістю виконують роботу різання. Обробка поверхні автошин здійснюється гідроабразивними струменями високого тиску в результаті відбувається пошарове руйнування гуми і відділення її від металічного корда. При цьому гума видаляється у вигляді крихти, готової для подальшого використання, а металевий корд утилізується як металобрухт. До складу комплексу входить система підготовки води, яка забезпечує очищення відпрацьованої води і повернення її в технологічний цикл.

Комплекс обладнання для очищення води будується на модульному принципі. Модуль розраховано на очищення певної витрати води. Змінюючи кількість модулів можна забезпечити очищення необхідної кількості води в залежності від потреб виробництва. Очищення води в модулі відбувається в кілька етапів на яких забезпечується видалення нафтопродуктів та хімічних речовин, твердих частинок в залежності від їх розміру і фізичних властивостей та ін. На завершальному етапі очищення провадиться тонке фільтрування води, що забезпечує можливість її повторного використання в технологічних процесах зокрема при утилізації автошин.

Основним елементом системи, який забезпечую необхідну тонкість фільтрації є гідродинамічний фільтр з полімербетонним фільтроелементом.

УТИЛІЗАЦІЯ ШИН, ГІДРОСТРУМЕНЕВА ДЕКТРУКЦІЯ, ГІДРОАБРАЗИВНИЙ СТРУМІНЬ, ОЧИЩЕННЯ ВОДИ, СТІЧНА ВОДА, ФІЛЬТР, ПОЛІМЕРБЕТОННИЙ ФІЛЬТР, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ ФІЛЬТР.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ЗНОШЕНИХ АВТОШИН.....	11
1.1. Фізичні методи переробки гумових відходів	12
1.1.1. Низькотемпературна технологія утилізації	14
1.1.2. Бародеструктивна технологія	16
1.1.3. Механічна переробка	18
1.2. Хімічні методи переробки	21
1.3. Відновлення шин	25
2. ГІДРОСТРУМЕНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ АВТОШИН.....	27
2.1. Метод гідроабразивної деструкції гуми.....	31
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОАБРАЗИВНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ ГУМИ	34
3.1. Стенд для експериментальних досліджень.....	34
3.2. Результати експериментальних досліджень.....	38
3.2.1. Експериментальна апробація методу гідроабразивної деструкції гуми	38
3.2.2. Експериментальні дослідження процесу деструкції гуми..	41
4. РОЗРОБКА ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГІДРОСТРУМЕНЕВОЇ ДЕСТРУКЦІЇ ГУМИ.....	46
4.1. Спосіб утилізації зношених автошин	46
4.2. Пристрій для гідроабразивної деструкції автошин.....	48
4.3. Пристрій для формування гідроабразивного струменя	52

5. ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОЇ ЕРОЗІЇ ГУМИ.....	57
6. ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ДО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД І УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ.....	61
7. ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО ПРОМИСЛОВИХ ПІДРЄМСТВ	64
8. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ	67
8.1. Механічні методи очищення	67
8.1.1. Решітки.....	67
8.1.2. Пісколовки.....	68
8.1.3. Відстійники.....	69
8.1.4. Нафтоловки	70
8.1.5. Гідроциклони	70
8.1.6. Фільтри.....	74
8.1.7. Центрифуги	77
8.2. Засоби механічного обезводнення опадів.....	77
8.3. Засоби транспортування стічних вод і шлаків	79
9. ВИБІР СХЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ	81
10. ПОЛІМЕРБЕТОННІ ФІЛЬТРИ.....	83
11. ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ ПО ВИГОТОВЛЕННЮ ПОЛІМЕРБЕТОННИХ ФІЛЬТРОЕЛЕМЕНТІВ.....	85

12. ВИПРОБУВАННЯ ПОЛІМЕРБЕТОННИХ ФІЛЬТРО- ЕЛЕМЕНТІВ	88
12.1. Випробування фільтроелемента	89
12.1.1. Обладнання та методика досліджень	90
12.1.2. Результати досліджень	91
13. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ І ФІЛЬТРУ- ВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЛЬТРІВ	94
14. ГІДРОДИНАМІЧНІ ФІЛЬТРИ	119
15. ТРИМІРНЕ МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ В ГІДРОДИНАМІЧНОМУ ФІЛЬТРІ.....	125
15.1. Фізико-математична модель.....	125
15.2. Параметри розрахункової моделі фільтра	128
15.3. Результати досліджень.....	129
ВИСНОВКИ.....	132
ЛІТЕРАТУРА	136
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	142

ВСТУП

В усьому світі гостро стоїть проблема збору та утилізації використаних автомобільних покришок. В зв'язку з динамічним ростом парку автомобілів в усіх розвинених країнах світу має місце постійне накопичення зношених шин. За даними Європейської асоціації з вторинної переробки шин (ETRA) у Європі щорічно виходять з експлуатації понад 2 млн. тон автомобільних шин. З цього об'єму лише 10% утилізуються шляхом подрібнення і 20% використовуються як паливо решта накопичується на звалищах. В Україні це питання стоїть ще гостріше тому, що відсоток утилізованих шин в нашій країні значно нижчий ніж у Європі. Запаси відходів автошин в Україні на даний момент складають приблизно - 0,8 млн. тон (відходів, що враховуються), лише по місту Київ кожен рік складається - 40 тис. тон а в цілому по Україні приблизно 150 тис. тон автомобільних шин /1,34 /. Відпрацьовані автопокришки являють собою джерело забруднення навколишнього середовища по-перше тому, що вони не піддаються біологічному розкладу, по-друге вони вогнебезпечні і в разі загоряння їх складно загасити а при горінні в повітря виділяються шкідливі речовини, зокрема канцерогени і нарешті при складуванні автопокришок вони слугують ідеальним місцем для розмноження паразитів.

Існує декілька методів утилізації відпрацьованих автошин це як фізичні так і хімічні методи. Використання шин як дешевого палива, як показали дослідження, не є достатньо ефективним, що пов'язано з необхідністю затрат на обладнання, що знижує викиди

шкідливих речовин в атмосферу. Найбільш перспективними є технології, що дозволяють розділяти основні компоненти автопокришок: гуму, сталь, текстиль. Це перш за все валкові машини, за допомогою яких виконується механічне подрібнення фрагментів шини з подальшим розділенням часток гуми та корду на віброситах та магнітних вловлювачах. Потім криогенні та вибухові технології, їх загальними недоліками є занадто велика енергоємність і неможливість отримати необхідний ступінь подрібнення гуми, а також не вирішення екологічних проблем. Одним з методів утилізації автопокришок, в якому відсутні зазначені недоліки є рідинно струменевий метод, який передбачає деструкцію гуми і відділення її від металевого та текстильного корду при її взаємодії зі струменем води високого тиску. Даний метод є достатньо ефективним і екологічно чистим. Крім того за допомогою обладнання рідинних струменевих технологій, принцип дії якого базується на використанні силової дії високо напірних водяних струменів, на промислових підприємствах вирішується широке коло питань. Зокрема це очищення технологічного обладнання, транспортних засобів, металоконструкцій, трубопроводів нафтоналивних ємностей та ін. від забруднень, старих лакофарбних та ізолюючих покриттів, корозії тощо. Робочим тілом для цього обладнання є технічна вода, витрати якої досягають значних розмірів. Відпрацьована вода, що забруднена продуктами очистки, повинна очищуватися перед зливом в каналізаційну систему. Ще однією специфічною проблемою є очищення води та її повторне використання на мобільних комплексах по очищенню нафтопроводів від старих ізолюючих покриттів перед

ремонт в польових умовах. Ці фактори зумовлюють необхідність створення систем очищення води та зворотного водопостачання. Застосування таких систем суттєво зменшує витрати води та вирішує екологічні проблеми.

Системи очищення води, що застосовуються в даний час на промислових підприємствах, недостатньо ефективні, відрізняються великими габаритами та високою вартістю витратних матеріалів, непридатні для мобільного використання. В зв'язку з цим є актуальною проблема створення ефективних, компактних, здатних до адаптації до умов експлуатації систем очищення води, що можуть забезпечити зворотне водопостачання як для обладнання рідинних струменевих технологій, так і для іншого промислового обладнання, робота якого пов'язана з великими витратами води.

1. МЕТОДИ УТИЛІЗАЦІЇ ЗНОШЕНИХ АВТОШИН

Проблема переробки зношених автомобільних шин та інших гумових виробів, що вийшли з експлуатації має велике екологічне та економічне значення для всіх розвинених країн /25,40/. В таблиці 1.1 наведено матеріали стосовно способів використання відпрацьованих автопокришок в провідних країнах світу.

Таблиця 1.1

Переробка зношених автошин

Країна/ Реґіон	Способи використання старих автопокришок (%)					
	Спалювання	Переробка в сировину	Відновлення	Експорт	Вивіз на звалище	Інше
США	23	10		3	63	1
Японія	43	12	9	25	8	3
Німеччина	38	15	18	18	2	9
Великобританія	9	6	18		67	
Європейський Союз	30		20		50	

Як видно з наведених даних лідерами в переробці відпрацьованих автопокришок є Японія і Німеччина однак і в цих країнах більшість автопокришок утилізується методом спалювання, що не є ефективним в енергетичному сенсі. Дослідження показали, що на виробництво автопокришки витрачається енергії в 3-4 рази більше ніж можна отримати при спалюванні.

Невідновлюваність природної нафтової сировини диктує необхідність ефективного використання вторинних ресурсів. Виведені з експлуатації шин містять в собі цінну сировину таку як каучук, метал, текстильний корд (рис1.1). Ці матеріали в процесі експлуатації практично не змінюють своїх властивостей і можуть бути використані для подальшого виробництва.

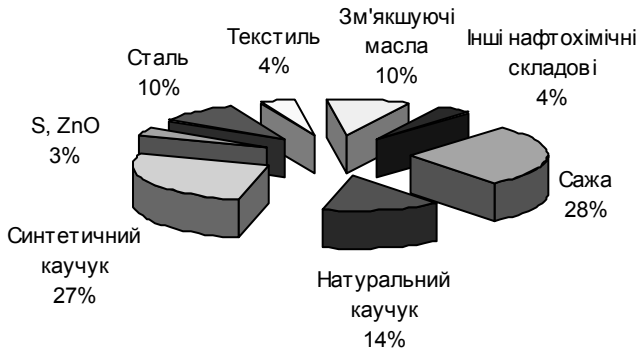


Рис. 1.1. Середньостатистичний склад радіальної шини легкового автомобіля

Всі відомі методи переробки зношених шин можна розділити на дві основні групи: фізичні методи, хімічні методи.

Розглянемо ці методи детальніше.

1.1. Фізичні методи переробки гумових відходів

В даний час все більше значення набуває напрям використання гумових відходів у вигляді дисперсних матеріалів /43/. Первинна структура і властивості каучуку та інших полімерів, що міс-

тяться у відходах, найкраще зберігаються при подрібненні гуми фізичними методами.

Процес подрібнення, не дивлячись на уявну простоту, дуже складний не тільки за визначенням характеру, величини і напрямків навантажень, але і по складності кількісного обліку результатів руйнування. Процес подрібнення може провадитися при низькій або підвищеній температурі (рис.1.2). Відповідно застосовується той чи інший метод подрібнення.

Хімічні методи			Фізичні методи	
Піроліз	Спалювання	Крекінг		
Способи подрібнення вторинних гум				
За температурою подрібнення				
При від'ємних температурах			При додатних температурах	
За механічною дією				
Ударом	Стиранням	Стисненням	Стисненням із зрушенням	Різанням

Рис. 1.2. Методи утилізації автомобільних шин

Встановлення взаємозв'язку між розмірами часток матеріалу, їх фізико-хімічними і механічними властивостями а також витратами енергії на подрібнення і параметрами устаткування для

подрібнення необхідно для розрахунку подрібнювачів і визначення оптимальних умов їх експлуатації /41/.

1.1.1. Низькотемпературна технологія утилізації

При низькотемпературній обробці зношених шин подрібнення проводиться при температурах (-60...-90) °С, коли гума знаходиться в псевдо крихкому стані. Результати експериментів показали, що дроблення при низьких температурах значно зменшує енерговитрати на дроблення, покращує відділення металу і текстилю від гуми, підвищує вихід гуми. У всіх відомих установках для охолодження гуми використовується рідкий азот. Але складність його доставки, зберігання, висока вартість і високі енерговитрати на його виробництво є основними причинами, що стримують впровадження низькотемпературної технології. Для отримання температур в діапазоні (-80... -120) °С. Більш ефективними є турбоохолоджувальні машини. У цьому діапазоні температур застосування турбоохолоджувальних машин дозволяє знизити собівартість отримання холоду в 3-4 рази, а питомі енерговитрати в 2-3 рази в порівнянні із застосуванням рідкого азоту. Продуктивність лінії 6000 т/год.

Загальну схему лінії криогенної переробки гуми показано на рис.1.3. Зношені автомобільні шини подаються в машину для видалення бортових кілець. Після цього шини поступають в шиноріз і далі в ножову роторну дробарку. Потім слідує магнітний сепаратор і аеросепаратор. Для охолодження порізані і заздалегідь очищені шматки гуми подаються в холодильну камеру, де охолоджуються

до температури (-50 ... -90) °С. Холодне повітря для охолодження гуми подається від генератора холоду повітряної турбохолодильної машини. Далі охолоджена гума потрапляє в подрібнення роторно-лопатки, звідки вона прямує на повторне очищення в магнітного сепаратора і аеросепаратора, де відбирається гумова крихта менше 1 ... 0,5 (мм), а також крупніша і тарується в мішки та відправляється до замовника.

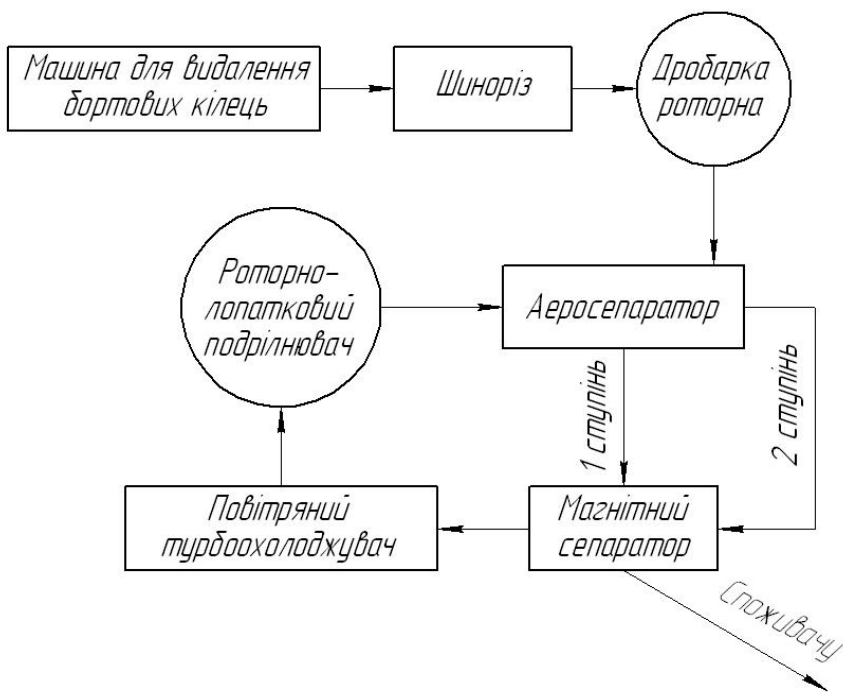


Рис. 1.3. Схема криогенної переробки автошин

1.1.2. Бародеструктивна технологія

Технологія заснована на явищі "псевдо зріджування" гуми при високому тиску і витіканні її через отвори спеціальної камери. Гума і текстильний корд при цьому відділяються від металевого корду і бортових кілець, подрібнюються і виходять з отворів у вигляді первинної резино-тканинної крихти, яка піддається подальшій переробці: до дрібненню і сепарації. Металокорд витягується з камери у вигляді спресованого брикета. Схема лінії показана на рис 1.4.

Автопокришка подається під прес для різання шин, де ріжеться на фрагменти масою не більш 20 кг. Далі шматки подаються в установку високого тиску.

У установці високого тиску шина завантажується в робочу камеру, де відбувається екструзія гуми у вигляді шматків розмірами (20-80) мм і відділення металокорда.

Після установки високого тиску гумовотканинна крихта і метал подаються в апарат очищення брикетів для відділення металокорда (поступає в контейнер) від гуми і текстильного корду, виділення бортових кілець. Далі решта маси подається в магнітного сепаратора, де уловлюється основна частина брикетного металокорда. Маса, що залишилася, подається в роторну дробарку, де гума подрібнюється до 10 мм.

Далі – в кордовідділювач, де відбувається відділення гуми від текстильного корду і розділення гумової крихти на дві фракції:

- менше 3 мм;
- від 3 до 10 мм.

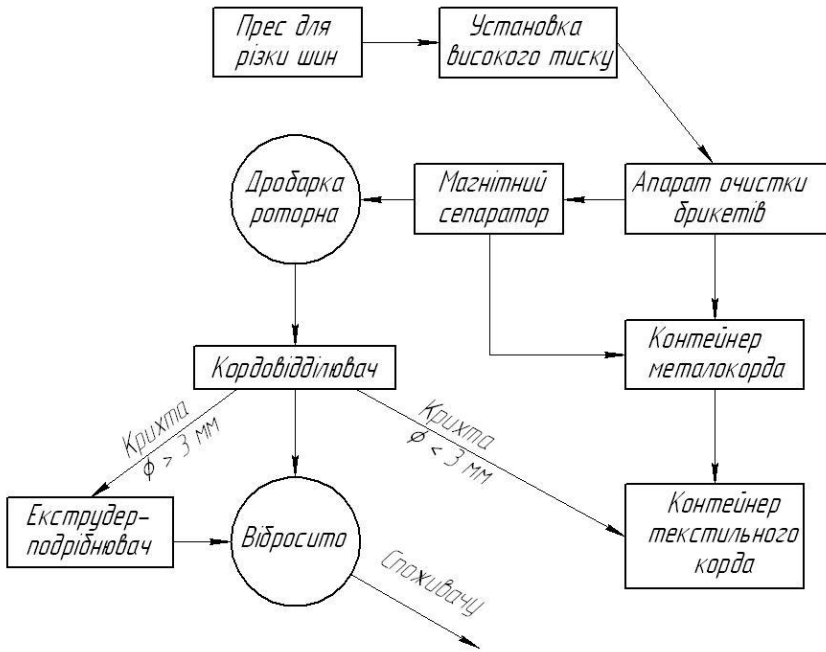


Рис. 1.4. Схема бародеструктивної переробки автошин

Текстильний корд, що відділився від гуми, поступає в контейнер.

У випадку якщо гумова крихта фракцією більше 3 мм цікавить споживача як товарна продукція, то вона фасується в паперові мішки, якщо ні, то вона потрапляє в екструдер-подрібнення.

Після подрібнення знов в кордовідділювач. Текстильний корд - в контейнер, а гумова крихта - у вібросито, де відбувається подальше її розділення на три фракції:

I - від 0,3 до 1,0 мм;

II - від 1,0 до 3,0 мм;

III - понад 3,0 мм.

Фракція гумової крихти більше 3 мм повертається в екструдер-подрібнення, а гумова крихта I і II фракції відвантажуються покупцю.

1.1.3. Механічна переробка

У основу технології переробки закладене механічне подрібнення шин до невеликих шматків з подальшим механічним відділенням металевго і текстильного корду, заснованому на принципі "підвищення крихкості" гуми при високих швидкостях зіткнень, і отримання тонко дисперсних гумових порошків розміром до 0,2 мм шляхом екструзійного подрібнення одержаної гумової крихти.

Технологічний процес включає три етапи:

- попереднє різання шин на шматки;
- дроблення шматків гуми і відділення металевго і текстильного корду;
- отримання тонко дисперсного гумового порошку.

Схему лінії показано на рис. 1.5.

На першому етапі технологічного процесу поступаючи з складу шини подаються на ділянку підготовки шин, де вони мийються і очищаються від сторонніх включень. Після миття шини поступають в блок попереднього подрібнення - агрегати трьох каскадної ножової дробарки, в яких відбувається послідовне подрібнення шин до шматків гуми, розміри яких не перевищують (30x50) мм.

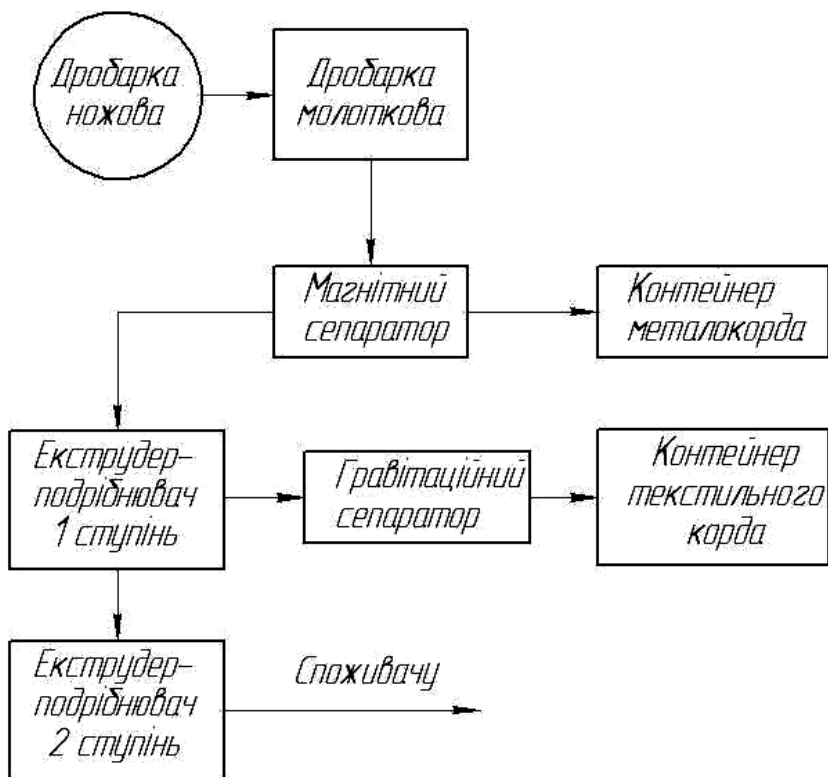


Рис. 1.5. Схема механічної переробки автошин

На другому етапі заздалегідь подрібнені шматки шин подаються в молоткову дробарку, де відбувається їх дроблення до розмірів 10x20 мм. При дробленні шматків оброблювана в молотковій дробарці маса розділяється на гуму, металевий корд, бортовий дріт і текстильне волокно. Гумова крихта з виділеним металом поступає на транспортер, з якого вільний метал віддаляється за допомогою магнітних сепараторів і поступає в спеціальні відсіки. Після цього металеві відходи брикетуються.

На третьому етапі шматки гуми подаються в екструдер-подрібнення. На цій стадії обробки відбувається паралельне відділення залишків текстильного волокна і відділення його за допомогою гравітаційного сепаратора від гумової крихти. Очищений від текстиля гумовий порошок подається в другу камеру екструдера-подрібнення, в якому відбувається остаточне тонко дисперсне подрібнення.

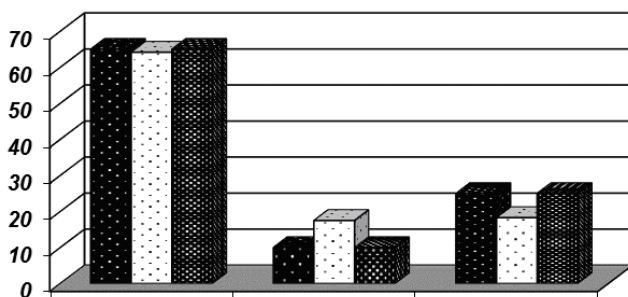
По виходу з екструдера крихта потрапляє у вібросито, де здійснюється її розділення на три фракції.

1-а фракція (0,5...0,8) мм;

2-а фракція (0,8...1,6) мм;

3-а додаткова фракція (поставка за замовленням) (0,2...0,45) мм.

На рис. 1.6 показані порівняльні характеристики технологічних ліній за витратами електроенергії і за виходом товарного продукту.



■ Низькотемпературна	65	10	25
□ Бародеструкційна	64,2	17,5	18,3
■ Механічна	65	10	25

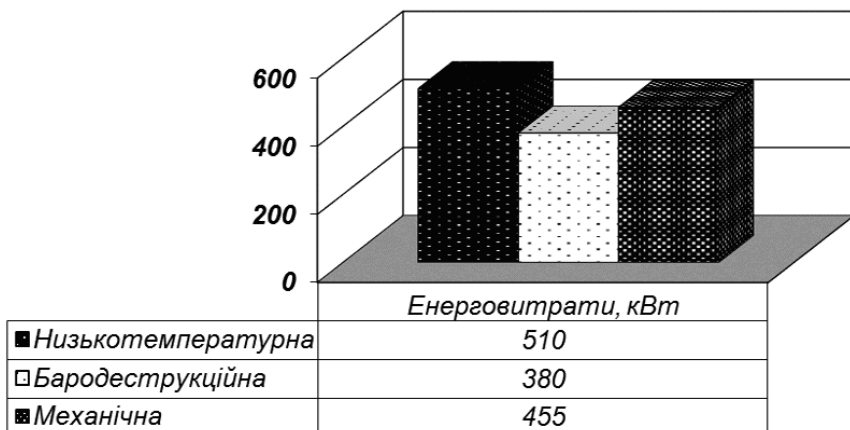


Рис. 1.6. Порівняльні діаграми технологічних ліній

З наведених графіків видно, що при приблизно однакових показниках виходу продукції найбільш ефективним, з точки зору витрат енергії є механічний спосіб утилізації автомобільних шин.

1.2. Хімічні методи переробки

Хімічні методи переробки приводять до глибоких необоротних змін структури полімерів, які містяться у гумових відходах. Як правило, ці методи здійснюються при високих температурах і полягають в термічному розкладанні (деструкції) полімерів в тому або іншому середовищі і отриманню продуктів різної молекулярної маси /18/. До цих методів відносяться спалювання, крекінг, піроліз.

Існують два способи спалювання з метою утилізації енергії: прямий і непрямий.

У першому випадку шини, грубоподрібнені або цілком, спалюють в надлишку кисню. Іноді грубо подрібнені шини додають до іншого спалюваного матеріалу для підвищення його тепло-

творної здатності, (теплотворна здатність гуми складає 32 ГДж/т, що відповідає вугіллю високої якості).

Так в США Фірма "Waste Management Inc" споруджує установки по дробленню шин і поставляє гумову крихту як паливо на целюлозно-паперові комбінати і цементні заводи. Також гумова крихта як паливний матеріал використовується у вигляді 10% добавки при спалюванні вугілля.

Цією ж фірмою проводиться експеримент по спалюванню гуми крупного дроблення (до 25 мм) в циклонних топках енергетичних казанів. Частка гуми складає 2-3% від маси вугільного палива.

Складність процесу дроблення зношених шин (особливо з металокордом) стимулювала розвиток технології спалювання шин в цільному вигляді. У Англії фірма "Avon Rubber" експлуатує печі для спалювання шин в цільному вигляді з 1973 р., тобто має вже майже 45-річний досвід в цій області.

У США, у свою чергу, розвивається будівництво електростанцій, що використовують як паливо тільки автомобільні шини. Фірма "Oxford Energy" побудувала і експлуатує в м. Модесто електростанцію потужністю 14 МВт для спалювання 50 тис. тон шин в цільному вигляді. На підставі успішного досвіду спалювання шин в США планується побудувати 12 таких електростанцій.

У Великобританії розглядається питання будівництва електростанцій потужністю 20-30 МВт для спалювання 12 млн. шин в рік масою 90 тис. тон.

В країнах бувшого СРСР за такою технологією працюють лише в Казахстані.

Одним з головних недоліків переробки спалюванням є той факт, що при спалюванні зношених шин, як і при спалюванні нафти, знищуються хімічно цінні речовини, що містяться в матеріалі зношених шин.

Енергетичний баланс спалювання зношених шин не вигідний як при порівнянні витрат енергії на виробництво шин, так і в порівнянні з іншими методами переробки, оскільки використовується тільки енергетичний ресурс шини, а цінний матеріал при цьому знищується.

Так, для виробника шини необхідна витрата енергії складає близько 115 МДж/кг. Це відповідає 3-4 разовій теплоті згорання шини. У зв'язку з необхідністю захисту навколишнього середовища і відповідними правовими розпорядженнями, установки по спалюванню використаних шин повинні бути забезпечені дорогим устаткуванням, що обмежує викид шкідливих речовин в атмосферу. Потрібні для цього великі капіталовкладення знижують економічну цінність автопокришки як енергоносія. Таким чином, втрачається економічна перевага від використання покришок у вигляді дешевого палива по відношенню до інших методів переробки.

У другому випадку на спалювання поступає газ, одержаний в процесах переробки зношених шин, наприклад, при піролізі (засновані на термічному розкладанні відходів за відсутності або великому дефіциті кисню з метою збереження вуглеводневої сировини).

Енергія горючого газу використовується для отримання гарячої води або водяної пари за допомогою теплообмінників.

На Міжнародній виставці-конгресі "Високі технології. Інновації. Інвестиції" був представлений проєкт ЗАТ "Каменя" (Петербург) по створенню ефективної системи збору і комплексної утилізації покришок в Петербурзі і Ленінградській області. Суттю проєкту є оригінальний спосіб утилізації подрібнених автопокришок спільно з горючим сланцем, який дозволяє на газогенераторах утилізувати до 100 тис. тон старих покришок і гуми в рік, при цьому одержуючи рідке і газоподібне паливо.

Так при термообробці цілих і подрібнених шин найвищий вихід мастил спостерігається при 500 °С, при 900 °С виявлено найбільший вихід газу. При цьому вихід продуктів визначається тільки температурою, а не розмірами шматків шин. З тонни гумових відходів можна одержати піролізом (450...600) л піролізного масла і (250...320) кг піролізної сажі, 55 кг металу, 10.2 м³ піролізного газу.

У США в даний час фірмою "Firestone Tyres" проведені успішні дослідження по трансформації гуми в метанол з отриманням пилоподібної сажі, відповідної стандарту для гумотехнічного виробництва. Перша установка має продуктивність по метанолу 300 т/добу. Установка розрахована на переробку шин легкових автомобілів діаметром 50 см. Основним процесом деструкції гуми для подальшої трансформації продуктів розкладання в метанол є піроліз в окислювальній камері при температурі 1000 °С. Для переробки шин необхідно їх розрізати на частини з відділенням борту, який використовується як побічний товарний продукт.

Рідкі і газоподібні продукти піроліза можна використовувати не тільки як паливо. Рідкі продукти піроліза можна використо-

вувати як плівкотвірні розчинники, пластифікатори, пом'якшувальних засобів для регенерації гум. Пек піролізної смоли є хорошим пом'якшувальним засобом, який може використовуватися самостійно або в суміші з іншими компонентами. Важка фракція піролізау як добавка до бітуму, що використовується в дорожньому будівництві, може підвищити його еластичність, стійкість до холоду і вологи.

З газоподібної фракції піролізу можна виділяти ароматичні масла, придатні для застосування у виробництві гумових сумішей. Низькомолекулярні вуглеводні можуть бути використані як сировина для органічного синтезу і як паливо.

1.3. Відновлення шин

Одним з методів використання зношених шин є їх відновлення. Варто зауважити, що в країнах Західної і Центральної Європи співвідношення продажів нових і відновлених покришок становить 1 до 2. Як це не покажеться дивним, але серед фірм, що займаються відновленням покришок, лідирують шинні заводи.

Так компанія Marangoni (Італія) окрім виробництва покришок для вантажних і легкових автомобілів і автобусів випускає устаткування і матеріали не тільки для відновлення покришок, але і для їх безвідходної утилізації.

Існує декілька технологій відновлення зношеного протектора. Найбільш поширені нарізка і гаряча вулканізація спеціальної гладкої стрічки з одночасним формуванням малюнка (цей процес був добре відомий у нас в країні як «наварювання»).

Проте, найбільші надії і перспективи зв'язані на сьогоднішній день саме з «холодною» (при температурах до 100 °С) вулканізацією із застосуванням стрічок з наперед нанесеним малюнком. В більшості випадків для цього використовується стрічка, рівна розмірам основних типів покришок. Проте та ж Marangoni успішно реалізує технологію відновлення покришок за допомогою готових протекторів кільцеподібної форми. Спеціальний верстат розтягує гумове кільце і надыгає його на підготовлений брекер.

Стосовно економічної доцільності відновлення шин необхідно зауважити, що ціна одного нового колеса кар'єрного самоскида (залежно від вантажопідйомності) складає 8000\$ - 20000\$, а відновлення методом холодної вулканізації обходиться в 2 - 5 разів дешевше. Шини легкових автомобілів, з причини їх більшого розповсюдження і при тому значно меншій вартості, відновлювати не завжди вигідно, тому доцільно їх утилізувати для отримання грануляту або використовувати їх як вторинний енергоресурс /1/.

2. ГІДРОСТРУМЕНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ АВТОШИН

Для утилізації автошин застосовуються технології різки гуми водяними струменями високого тиску, які мають ряд переваг відносно інших сучасних технологій утилізації відпрацьованої гуми /30, 31/.

Найважливішою з них є відсутність нагріву гуми, що розрізається, тобто відсутність термічної дії на матеріал що виключає зміну структури та обгорання гуми, яка використовується для подальшої переробки. Тепло, що генерується в процесі різання, практично миттєво несеться водою. В результаті не відбувається помітного підвищення температури поверхні, яка оброблюється. Жодна технологія, окрім гідроструменевої різки, не може забезпечити відсутність термічного впливу на матеріал в області різання.

Важливим аспектом є високий ступінь екологічної безпеки процесу. В даному випадку відсутні шкідливі випаровування і гази, що можуть утворюватись при інших технологіях різання.

Також, варто зазначити, що гумова крихта, що утворилась одразу вимивається водою з області різання і далі може бути розділена за розмірами в процесі фільтрування.

Швидкість різання - висока.

Можлива автоматизація процесу. Достатньо легко використовувати системи комп'ютерного управління, оптичні пристрої стеження і повномасштабних шести координатних роботів.

Доступність. Використовування таких щодо недорогих компонентів, як вода, і, наприклад, кварцовий пісок, як абразив робить процес доступним.

Рівень шуму коливається в межах (85...95) дБ.

До недоліків гідрорізки відносять: конструктивні труднощі, що виникають при створенні високого тиску рідини, невисока стійкість сопла формування струменю і складність його виготовлення.

Серед відомих способів утилізації автошин є спосіб /29/ відділення гуми від металевго корду і бортових кілець шляхом зрізання гуми струменями води (рис. 2.1).

Гума відділяється від корда та бортових кілець поетапно, залежно від кількості кордів. Кожен етап складається з процесу відділення гуми водними струменями одночасно по всій твірній поверхні шини, що потрапляє в площину дії інструменту, та послідовного процесу гідро абразивного різання корду. Особливістю є також те, що механізм утримування та обертання шини має центруючі упори без скосів поверхні, направлених від центру обертання. Це дає можливість утримання обох бортових кілець.

До недоліків даного способу можна віднести те, що використовується значна (більше 6-ти) кількість діючих струменів високого тиску, що потребує великих витрат рідини, а відповідно і потужності приводу насоса. Основна деструктивна дія виконується без абразивним струменем, який має нижчу швидкість різання, та потребує значного підвищення тиску робочої рідини. Насадки струменів розміщені на оправці певного розміру (9, 12), що обмежує кількість типів шин для утилізації. В іншому випадку – встановлення

іншої оправки займатиме певний час. Вказаний спосіб утримування шини не забезпечує стійкість ослабленої в процесі обробки периферійної стінки шини, що впливатиме на якість різання та розміри гумової крихти. Не запропоновано способу збору продуктів утилізації (гумової крихти, сталюого та текстильного корду).

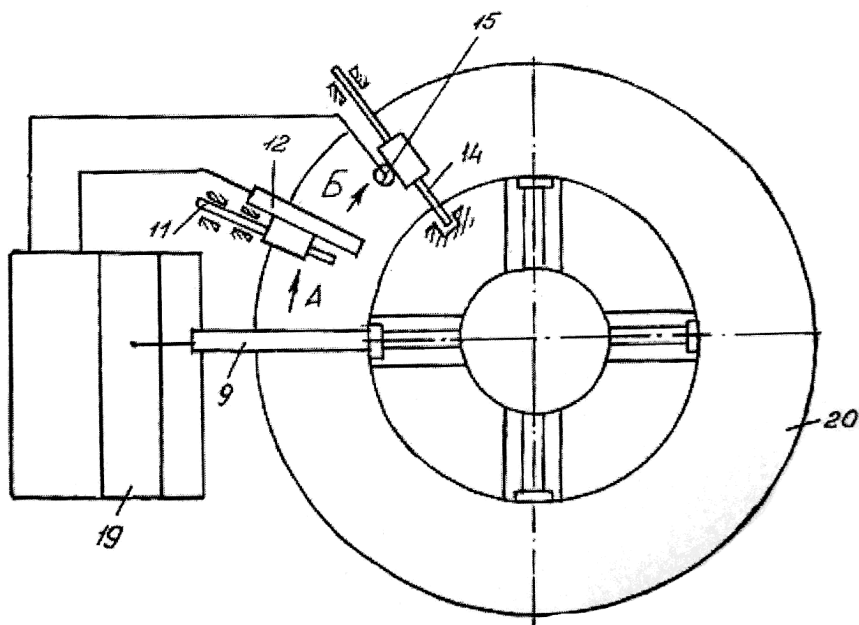


Рис. 2.1. Пристрій для водоструменевого подрібнення шин

Описано також пристрій для водоструменевого розтину шин /30/, (див. рис. 2.2).

Автошина (5) розміщується на шпindelний утримувач (4). Для рівномірності зняття гуми водоструменевий інструмент (2) може переміщуватись в напрямку осі обертання утримувача (шини), а також обертатись навколо певної стаціонарної осі, що спів-

падає з віссю твірної шини. Робоча рідина подається в систему за допомогою насоса підкачки (10), далі проходить через насос високого тиску (10). За насосом високого тиску розміщено запобіжний клапан тиску. Далі рідина проходить через фільтр (12) Запропоновано розділення подрібненої крихти за розміром шляхом фільтрування сітчастими ємкостями (9,11) потоку з крихами гуми. Рідина для фільтрування подається з баку (6).

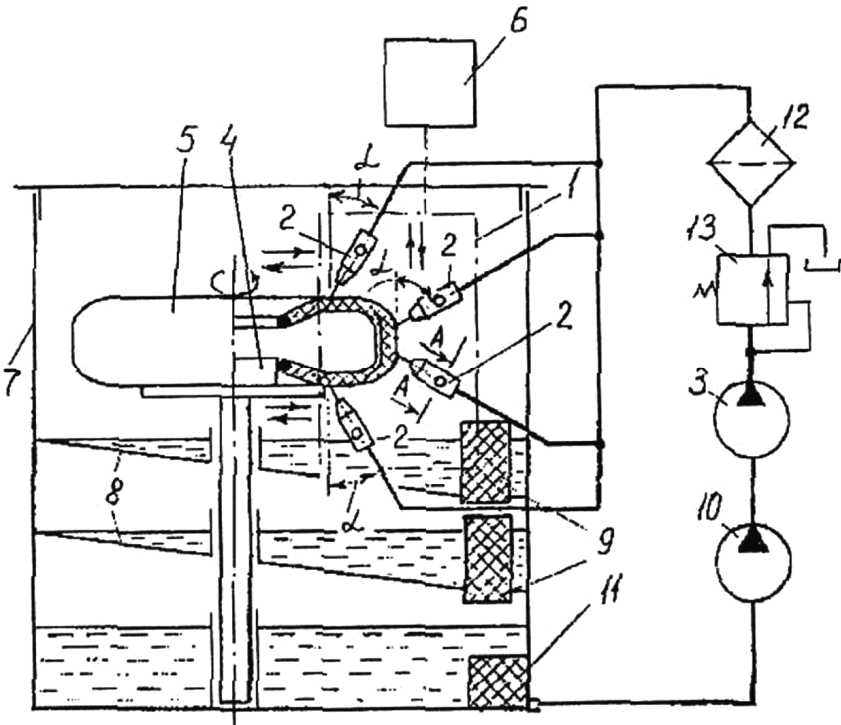


Рис. 2.2. Пристрій для водоструменевого подрібнення шин

Недоліками даного способу є, також, значна зміна відстані від насадка струменю до поверхні шини в процесі різання, що ви-

магає підвищення енергії струменю робочої рідини. Вказаний спосіб утримування шини не забезпечує стійкість ослабленої в процесі обробки периферійної стінки шини, що впливатиме на якість різання та розміри гумової крихти.

2.1. Метод гідроабразивної деструкції гуми

Розглянуті методи утилізації гуми з застосуванням водяних струменевих технологій базуються на методі різки вторинної гуми струменем води високого тиску. Цей метод передбачає різання гуми струменем в результаті чого можна отримати фрагменти автопокришки розрізані у вигляді грануляту різних фракцій.

Недоліком цього методу є те що для різання гуми необхідно створити досить високий (понад 100 МПа) рівень тиску водяного струменя. Цей струмінь, або кілька струменів повинні сканувати поверхню автошин. При цьому енерговитрати будуть приблизно такі як при низькотемпературній переробці вторинної гуми. Крім того високий рівень тиску зумовлює високу вартість обладнання і високі експлуатаційні витрати.

Пропонується виконувати деструкцію гуми автошин виключно гідроабразивним різанням. Це забезпечить вищу швидкість руйнування гуми, нижчий тиск робочої рідини та універсальність інструменту при обробці як гуми так і корду автошин. Утримувач автошини принципово іншої конструкції, який забезпечуватиме стійкість усієї поверхні, що оброблюється за допомогою направляючих роликів. Також можливою буде обробка автошин як легкових так і вантажних автомобілів на одному й тому ж утримувачі. Розді-

лення гумової крихти, абразиву та інших продуктів утилізації за допомогою комбінованого циклонного та сіткового фільтрування.

Гідроабразивна обробка є однієї з різновидів струменево-абразивної обробки, сутність якої полягає в тому, що на поверхню, яка оброблюється направляється високошвидкісний струмінь абразивних зерен. Абразивні зерна за рахунок значної кінетичної енергії, при зіткненні з поверхнею виконують роботу, змінюючи стан цієї поверхні /18, 28, 34, 50/.

Схематично процес подрібнення запропонованим способом зображено на рис. 2.3.

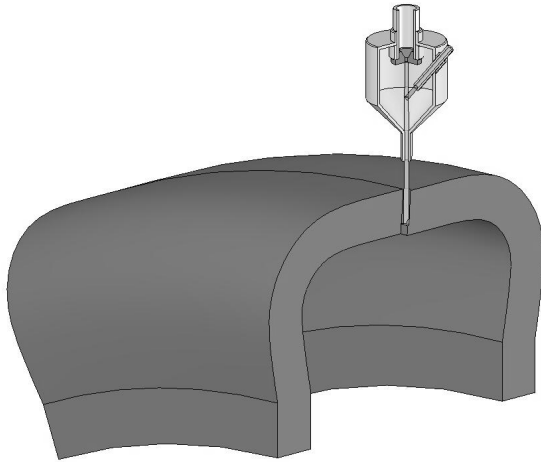


Рис. 2.3. Схеми водоструменевого подрібнення шин

Аналіз особливостей різних способів струйно-абразивної обробки показує, що найбільш ефективною є гідроабразивна обробка, при якій прискорення абразивних часток здійснюється стру-

менем рідини, що витікає з сопла під високим тиском. Це пояснюється тим, що в цьому випадку використовується як ефект силової дії струменя рідини, так і ефект абразивного руйнування поверхні твердого тіла. Струмінь рідини руйнує поверхневий шар гуми з наступним його віднесенням вторинним потоком, а абразивні частки, володіючи запасом кінетичної енергії, що перетвориться в роботу різання, відокремлює від оброблюваної поверхні мікро стружку.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОАБРАЗИВНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ ГУМИ

3.1. Стенд для експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень гідроабразивної деструкції гуми розроблено експериментальний стенд схему якого показано на рис. 3.1.

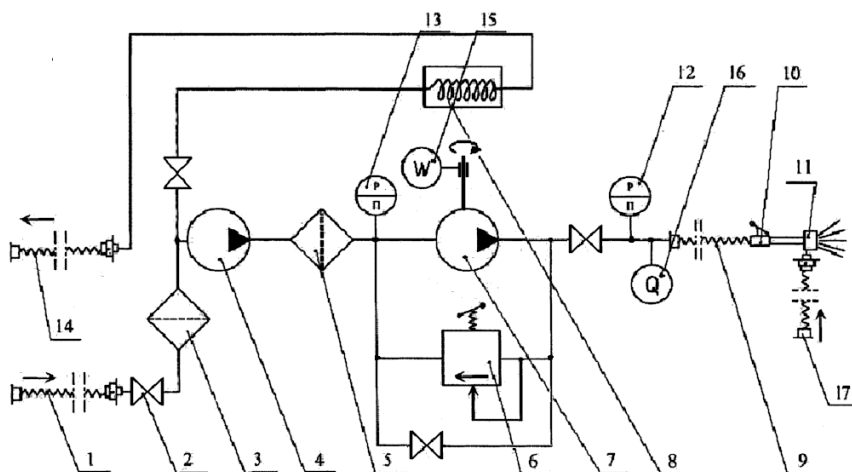


Рис. 3.1. Гідравлічна схема експериментальної установки:

1- рукав низького тиску (живлення); 2 – кран перекривання потоку; 3 - фільтр грубого очищення; 4 – відцентровий електронасос; 5 - фільтр тонкого очищення; 6 – запобіжний клапан; 7 - насосний агрегат високого тиску; 8 - блок системи охолодження підшипників ковзання проміжних опор штоків насоса високого тиску; 9 - рукав високого тиску (напірний); 10 - ручний гідро пістолет з подовжувальною штангою; 11 – гідро-абразивний насадок; 12 - манометр високого тиску; 13 - манометр низького тиску; 14 - зливний шланг системи охолодження насоса високого тиску; 15- тахометр; 16 – витратомір; 17 – рукав подачі абразиву

Основними складовими гідравлічної схеми стенду є: система живлення та підготовки води; система високого тиску, система

охолодження насосу високого тиску, система регулювання тиску та робочий інструмент.

До складу системи живлення та підготовки води входять:

- кран перекривання потоку води;
- фільтр грубої очистки;
- відцентровий електронасос підкачки (витрата 20 л/хв, потужність 350 Вт.);
- фільтр тонкої очистки (полімер бетонний, об'ємної фільтрації, тонкість очищення 30 мкм).

Система високого тиску складається:

- трьох поршневий насос високого тиску 2,3 ПТ 1/40 (витрата - 1 м³/год, потужність - 15 кВт, максимальний робочий тиск – 40 МПа);

Система охолодження насосу високого тиску складається з наступних елементів:

- кран перекривання потоку води через радіатори охолодження;
- радіатори охолодження підшипників ковзання проміжних опор штоків насоса високого тиску.

Система регулювання тиску складається з наступних елементів:

- запобіжний клапан (тиск спрацювання 40 МПа);
- одно каскадний переливний клапан регулювання тиску;
- кран „навантаження” (перекривання) робочого потоку.

Принцип роботи гідросистеми системи описано нижче.

Вода з водопроводу подається через кран перекриття потоку. Далі проходить через фільтр грубої очистки, після якого потік розгалужується на два кола: системи охолодження насосу високого

тиску та робоче коло. Витрата води через коло системи охолодження може регулюватись краном перекриття. В робоче коло вода подається насосом підкачки. Далі рідина проходить через фільтр тонкої очистки і подається на вхід насосу високого тиску. В корпус насоса вмонтований запобіжний клапан, який захищає систему від перевищення певного значення тиску. Далі потік розгалужується на основний та „бай-пас” потоки. Витрата води через „бай-пас” регулюється переливним клапаном, який дає можливість регулювати прохідний переріз потоку двома способами: різьбовим переміщенням запорного органу та натисканням на важіль регулювання. Витрата та тиск води в основному потоці регулюється краном перекриття. Далі рідина потрапляє в робочий орган – ручний гідропістолет. Через подовжувальну штангу вода потрапляє в гідроабразивний насадок, де відбувається перемішування швидкісного струменю води із абразивними частками.

Для проведення експериментальних досліджень розроблено і виготовлено установку для розміщення дослідних зразків схему якої показано на рис.3.2. Установка складається з станини 8, утримувача 2, штанги гідропістолета 3 на якій встановлено гідроабразивний ежектор 4, нахильної поверхні 7 на які закріплюється дослідний зразок автопокришки, направляючої 9, рухомої рами 10.

За допомогою рухомої рами 10, що переміщується по направляючій 9, виставляється задана відстань L від вихідного отвору гідроабразивного ежектора до досліджуваного зразку 6. Направляюча 9 та рухома поверхня 10 є металевими швелерами і фіксується одна відносно другої за допомогою болтів.

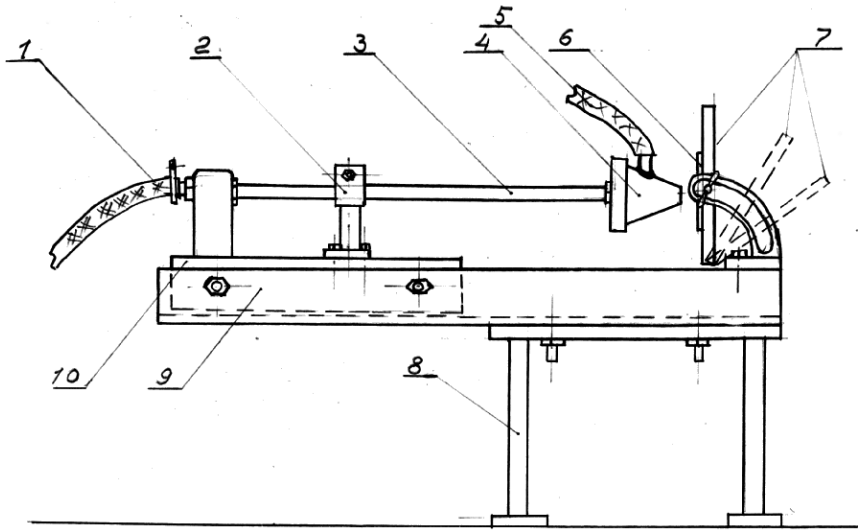


Рис. 3.2. Установа для розміщення дослідних зразків:

1 - рукав високого тиску; 2- утримувач штанги; 3- штанга гідропістолету; 4- гідроабразивний ежектор; 5- рукав подачі абразиву; 6- дослідний зразок; 7- нахильна поверхня; 8 – станина; 9- направляюча; 10- рухома рама

Необхідний кут установки досліджуваного зразку 6 щодо горизонтальної площини забезпечується нахильною поверхнею 7. Досліджуваний зразок закріплений на нахильній поверхні за допомогою струбцин.

Ручний гідропістолет з подовжувальною штангою 3 закріплений на рухомій поверхні за допомогою утримувача 2.

На кінці подовжувальної штанги пістолету знаходиться гідроабразивний ежектор 4, який здійснює перемішування швидкісного струменю води з абразивними частками. Абразив подається до гідроабразивного ежектора пластиковим шлангом 5. Вода під високим тиском подається від експериментальної установки рис.3.1. по рукаву високого тиску 1.

3.2. Результати експериментальних досліджень

3.2.1. Експериментальна апробація методу гідроабразивної деструкції гуми

На першому етапі робіт було проведено експериментальну апробацію методу гідроабразивної деструкції гуми. Експериментальна апробація методу провадилась з застосуванням експериментальної установки рис. 3.1. і гідроабразивного ежектора.

Схема проведення експерименту показана на рис. 3.3.

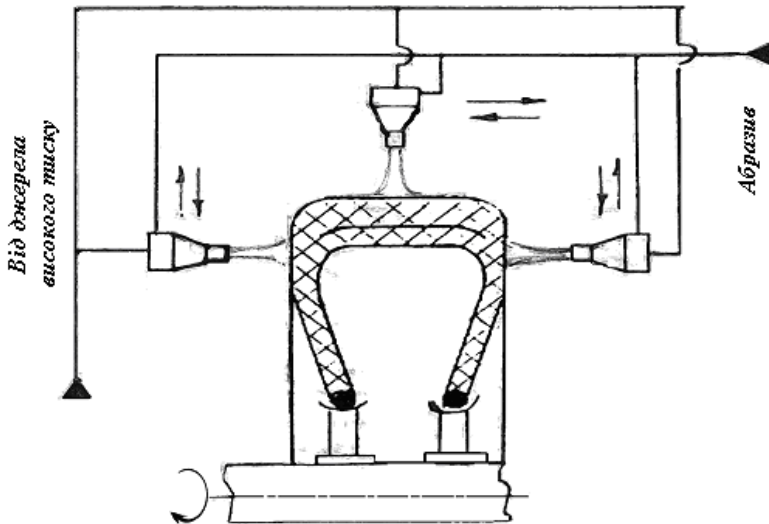


Рис. 3.3. Схема проведення експерименту

Відпрацьована автопокривка легкового автомобіля піддавалась дії гідроабразивного струменя, який сканував її поверхню, як показано на рис 3.3.

Основні робочі параметри гідроабразивного струменя:

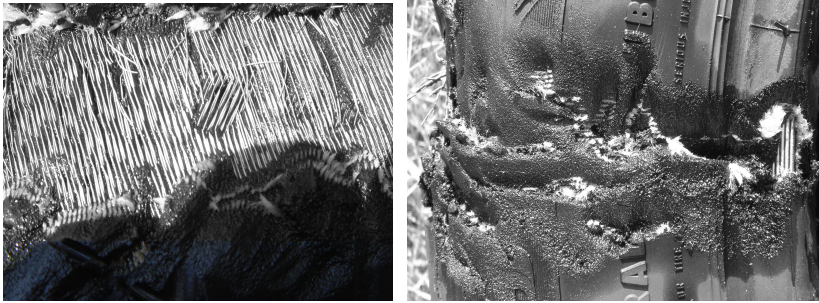
- Робочий тиск – 40 МПа;
- Витрата води – 1 м³/год;
- Витрата абразиву – 150 кг/год;
- Швидкість переміщення робочого інструменту – (1,0....3)х10⁻³ м/с.

Сканування здійснювалось по всій поверхні шини по „біговій доріжці”, боковій поверхні і бортовим кільцям. На фото (рис 3.4) показано процес взаємодії гідроабразивного струменя з поверхнею шини. Обробка поверхонь автошини здійснювалась за допомогою ручного робочого інструменту. Формування струменя забезпечувалось гідроабразивним ежектором. У якості абразиву використовувався пісок річковий з фракцією 0,5-1 мм.



Рисунок 3.4. Взаємодія гідроабразивного струменя з по верхнюю шини: а) взаємодія з „біговою доріжкою”; б) взаємодія з бортом шини

Результати гідроабразивної обробки поверхні автопокришки показано на рис. 3.5.



а)

б)

Рис.3.5. Результати гідроабразивної обробки поверхні автопокришки: а) центральна частина; б) боковина

Як видно з рисунків 3.4; 3.5 при взаємодії гідроабразивного струменя з по верхнюю центральної частини шини відбувається руйнування шару гуми і текстильного корду при цьому відбувається очищення і видалення металевго корду. При взаємодії гідроабразивного струменя з боковою частиною автопокришки повністю руйнується гума і текстильний корд при цьому видаляється бортове кільце /34/.

Таким чином експеримент показав, що при взаємодії гідроабразивного струменя з поверхнею автопокришки відбувається руйнування (деструкція) гуми і руйнування текстильного корду. При цьому металевий корд залишається неушкодженим і може бути видалений механічними засобами.

3.2.2. Експериментальні дослідження процесу деструкції гуми

Основними параметрами, що впливають на кількісні показники деструкції гуми є: відстань L від вихідного отвору насадки до поверхні зразка, тиск води P , та кут взаємодії гідроабразивного струменя з поверхнею гуми α .

За кількісний показник деструкції гуми було прийнято зменшення маси Δm дослідного зразка після його взаємодії з гідроабразивним струменем за певний проміжок часу. Цей параметр визначався шляхом зважування дослідного зразка до і після його взаємодії з гідроабразивним струменем на електронних вагах з похибкою не більше 0,1 мг.

Дослідні зразки виготовляються у вигляді фрагментів автомобільної гумової шини розміром 60x80мм.

Перед випробуваннями відібрані зразки маркують.

Випробовувані зразки встановлюють на тримачі і проводять перевіірочні заміри перед кожним випробуванням. Установка зразка в утримувачі повинна забезпечувати ширину ділянки робочої поверхні зразка, відкриту дії абразивного матеріалу, $60 \pm 5,0$ мм. Перед випробуванням визначають початкову масу зразків зважуванням.

Зразки встановлюють на випробувальній установці в положенні, відповідному вибраному зразку з матриці планування.

Зразки повинні бути встановлені так, щоб центр робочої поверхні зразка знаходився на повздовжній осі гідроабразивного насадка.

Експерименти проводились при кутах взаємодії гідроабразивного струменя з поверхнею зразка α 30, 60 та 90°. Необхідний кут забезпечується нахилом робочої поверхні зразка щодо горизонтальної площини.

Експерименти проводились при тисках води $P=20$ МПа, $P=25$ МПа та $P=30$ МПа. Необхідний тиск забезпечується робочими органами керування установки високого тиску та вимірюється за допомогою манометра.

Експерименти проводились при відстанях від перерізу сопла гідроабразивного ежектора до поверхні зразка L 100, 150 та 200 мм. Необхідна відстань забезпечується переміщенням штанги пістолету по спеціальній направляючій з шкалою довжини відносно робочої поверхні зразка.

Час проведення кожного експерименту є постійним і становить $30 \pm 0,5$ с.

Кількість абразивного матеріалу, що витрачається при випробуваннях, є величиною постійною і складає 180 кг/год.

Порядок проведення експерименту наступний: спершу зразки встановлюють на випробувальній установці в заданому положенні. Для цього встановлюють відповідний кут нахилу та відстань від насадки пістолета до зразка. Далі зразок закривається спеціальною пластиною, а установка виводиться на заданий режим по тиску. Після виведення на режим спеціальний всмоктувач поміщається в ємність з абразивом, що забезпечує подачу останнього до насадки змішувача. По завершенню всіх перерахованих операцій установка є виведеною на конкретний режим проведення експерименту, після

чого знімається зі зразка захисна пластина і одночасно засікається час експерименту. По проходженню $30 \pm 0,5$ с. зразок знову затуляється захисною пластиною, після чого установка зупиняється. Аналогічно проводяться решта експериментів з відповідними параметрами.

Після закінчення кожного експерименту, установку зупиняють, зразки знімають, промивають і зважують відповідно встановленим вимогам. При установці та зніманні зразків не допускається пошкодження їх поверхонь.

Результати експериментів показано на графіках рис. 3.6.- 3.8.

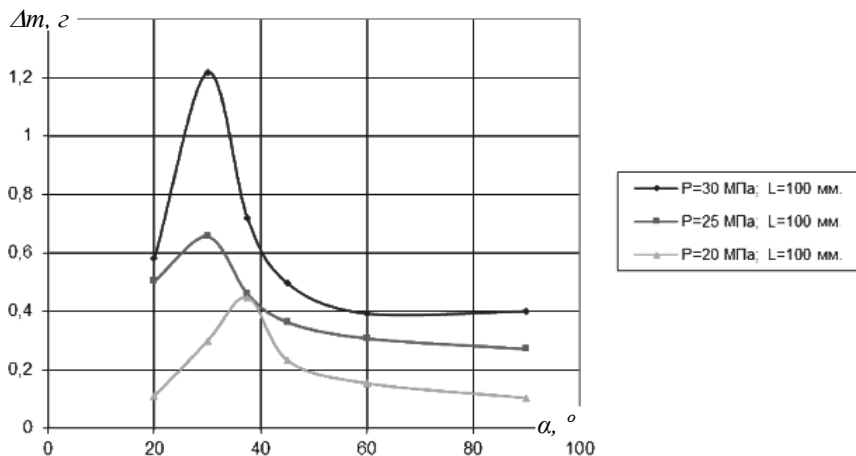


Рис. 3.6. Залежність зносу маси гуми Δm від кута взаємодії α струменя з поверхнею зразка при різних значеннях тиску

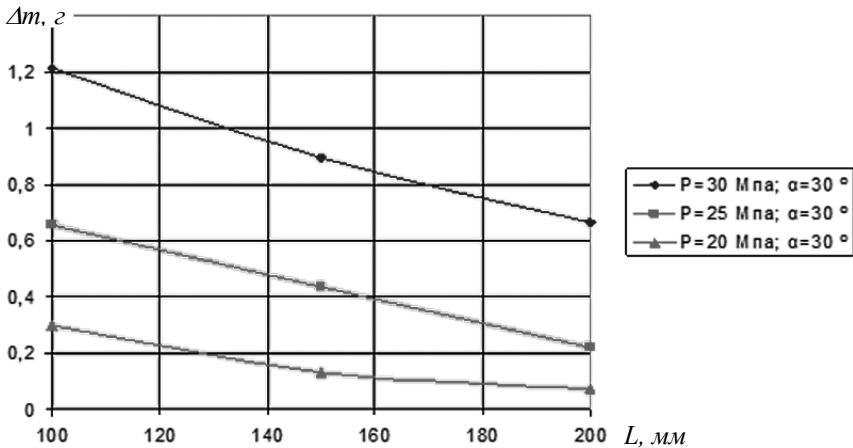


Рис. 3.7. Залежність зносу маси гуми Δm від відстані від перерізу сопла до зразка L при різних значеннях тиску

Як видно з фото при $\alpha=30^0$ візуально спостерігається збільшення сліду взаємодії струменя з гумою, що відповідно приводить до збільшення маси зруйнованої гуми.

Аналіз графіків дає можливість зробити наступні висновки:

- Основними факторами, що впливають на інтенсивність процесу гідро абразивної деструкції гуми є рівень тиску гідро абразивного струменя, відстань від перерізу фокуруючого сопла гідро абразивного ежектора до поверхні гуми а також кут взаємодії гідро абразивного струменя з поверхнею гуми.
- Максимальний знос маси гуми досягається при куті взаємодії струменя з поверхнею α у межах $30^0 - 40^0$.
- Знос маси гуми практично лінійно залежить від тиску.

Ширина сліду струменя або ширина сліду зносу залежить від вищезазначених параметрів і для $\alpha=30^0$ при $P=30$ МПа становить приблизно 15 мм. Цей параметр необхідно враховувати при розрахунках кількості гідро абразивних ежекторів при розробці установки для утилізації автопокришок.

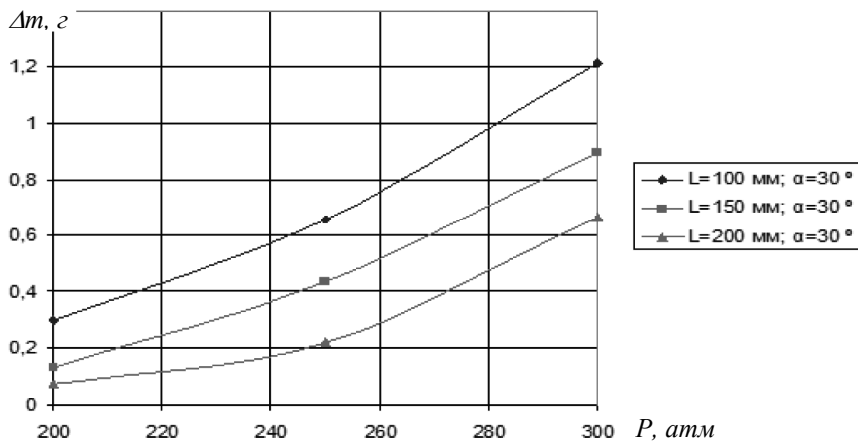


Рис. 3.8. Залежність зносу маси гуми Δm від тиску P води при різних значеннях відстаней від перерізу сопла до зразка та фіксованих кутах взаємодії

Вплив кута взаємодії гідро абразивного струменя показано на фото рис. 3.9.

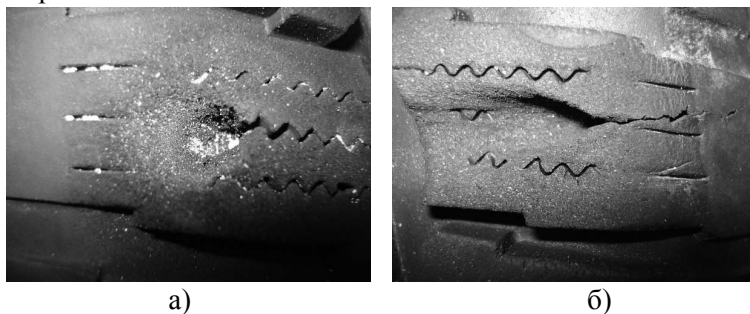


Рис. 3.9. Вплив кута взаємодії струменя з поверхнею зразка на деформування гуми: а) $\alpha=45^0$; б) $\alpha=30^0$

4. РОЗРОБКА ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ГІДРОСТРУМЕНЕВОЇ ДЕСТРУКЦІЇ ГУМИ

4.1. Спосіб утилізації зношених автошин

В даний час відомо декілька способів утилізації автопокришок за допомогою струмени рідини високого тиску. У відомому способі утилізації гумовотехнічних виробів для досягнення результату використовуються водяні струмені високого тиску при цьому ширина різку водяного струменя не перевищує 2 мм, що не дозволяє отримати високу продуктивність процесу руйнування гуми і вимагає використання значної кількості струменів. Крім того для організації ефективного процесу різки необхідно забезпечити рівень тиску до 150 МПа, що в свою чергу пов'язано з великими енергетичними витратами. Суттєвим недоліком відомого способу є неможливість отримання однорідної фракції подрібненої гуми, що пояснюється особливостями процесу зрізання шарів гуми з поверхні шини.

При застосуванні відомого способу утилізації зношених автопокришок та інших гумовотехнічних виробів результат досягається за рахунок того, що гуму зрізають фіксованими струменями води високого тиску, кількість яких визначається по формулі

$$m = L / (d + d I \operatorname{tg} \beta),$$

де L – довжина зовнішньої утворюючої поверхні покришки, d – діаметр каналу сопла, що формує струмінь, $I = 5-7$ мм – оптимальне експериментально визначене значення відстані від зрізу

сопла, що формує струмінь до поверхні покриття, $\beta=6^\circ$ - половина теоретичного кута розкриття струменя.

В цій формулі ($d + d \cdot \tan \beta$) фактично є шириною різку водяного струменя, яка для водяного струменя не перевищує 5 мм. При інших рівних умовах для гідроабразивного струменя цей показник становить 15-20мм., що досягається за рахунок більшого діаметру сопла, що формує водоабразивний струмінь і більшої відстані від нього до поверхні покриття. Таким чином застосування водоабразивних струменів дозволяє суттєво (в 4-5 разів) зменшити їх кількість, що значно підвищує енергетичні показники процесу. Це пояснюється більшою ефективністю водоабразивного струменя в якому абразивні частки переміщуються з високою швидкістю в потоці рідини і при взаємодії з по верхньою покриття виконують роботу різання. Таким чином ефект гідро різання поєднується з ефектом струменево-абразивної обробки. Крім того застосування водоабразивного струменя дає можливість виконання процесу на нижчих рівнях тиску, що зменшує енергетичні та експлуатаційні витрати. Застосування ефекту гідроабразивного різання дозволяє отримати більш якісну, однорідну по фракції, гумову крихту. Схемі способу показано на рис.4.1.

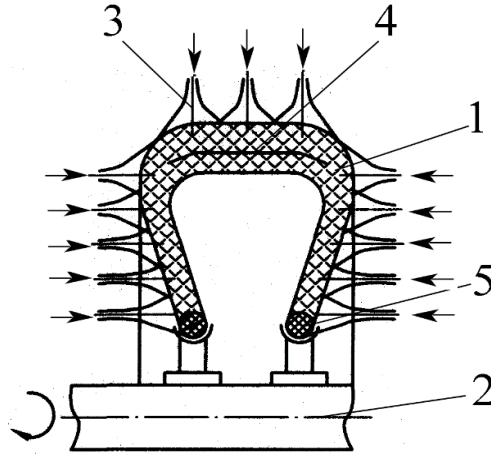


Рис. 4.1. Схема способу утилізації автопокришок

Спосіб утилізації автопокришок /51/ працює наступним чином: за допомогою групи фіксованих водоабразивних струменів 3, гуму, що знаходиться в робочій зоні пошарово зрізають і відділяють її від металевго кордуну 4 та бортових кілець 5. Робоча зона при цьому має вигляд суцільної смуги, яка охоплює зовнішню поверхню покришки 1. При цьому переміщення робочої зони досягається за рахунок обертання покришки 1 навколо осі 2.

4.2. Пристрій для гідроабразивної деструкції автошин

Пристрій для гідроабразивної деструкції автопокришок /52/ містить водоструменевий інструмент з по меншій мірі одним соплом, яке зв'язано з джерелом високого тиску та засіб розміщення шини, який виконано у вигляді оправки. Сопла водоструменевго інструменту розташовані під кутом до осі оправки, який відрізня-

ється тим, що водоструменевий інструмент виконано у вигляді водоабразивного насадка, який встановлено на шарнірі паралелограмного механізму, з можливістю переміщення і установки інструменту на певний кут.

Засіб розміщення шин виконано з двома парами підпружених обертових качалок і колеса вільного обертання а привід шини здійснюється за допомогою колеса подачі. Схему пристрою показано на рис. 4.2.

Пристрій складається з двох компонентів:

- направляючий пристрій;
- пристрій утримування автошин.

Направляючий пристрій (рис. 4.3) призначений для установки гідроабразивного робочого інструменту у певному положенні у просторі для виконання процесу сканування поверхні шини гідроабразивним струменем.

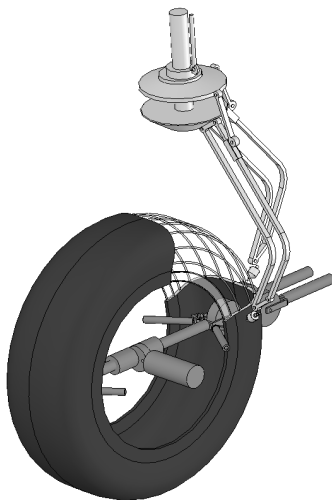


Рис. 4.2. Пристрій для гідроабразивної деструкції автошин

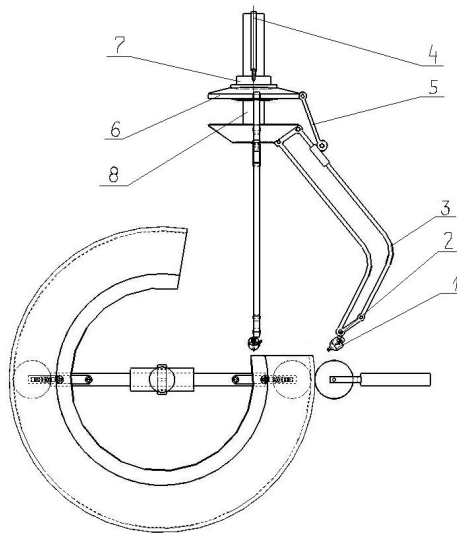


Рис. 4.3. Направляючий пристрій:

1 – гідроабразивний насадок; 2 – шарнір; 3 – паралелограмний механізм; 4 – головна вісь обертання; 5 – важіль; 6 – втулка обертання; 7 – втулка переміщення; 8 – головний вал

Направляючий пристрій працює наступним чином. Гідроабразивні насадки 1 встановлюються під певним кутом до осі 4 за допомогою шарнірів 2. Для забезпечення можливості обробки автошин різного діаметру та висоти профілю насадки закріплюються на важелях паралелограмного механізму 3, який дає можливість віддалити насадки від головної осі обертання 4, не змінюючи кута нахилу насадків до неї. Відстань від насадків до осі обертання встановлюється централізовано через важіль 5 за допомогою втулки 6, яка обертається навколо рухомої вздовж осі 4 втулки 7. Втулка 7 переміщується за допомогою гідравлічної, або механічної передачі. В процесі різання насадки рухаються зворотно-обертальна

навколо осі 4 на певний кут різання за допомогою валу 8, який приводиться в рух гідроприводом. Кількість поворотів валу 8 на обробку ділянки вздовж профілю автошини фіксується оператором як час обробки твірної профілю. Зафіксований час є періодом подачі (повороту на певний кут коліс подачі утримуючого пристрою див. рис. 4.3.)

Пристрій утримування автошин (рис. 4.4.) призначений для фіксації положення автошини та її обертання (подачі) в процесі різання.

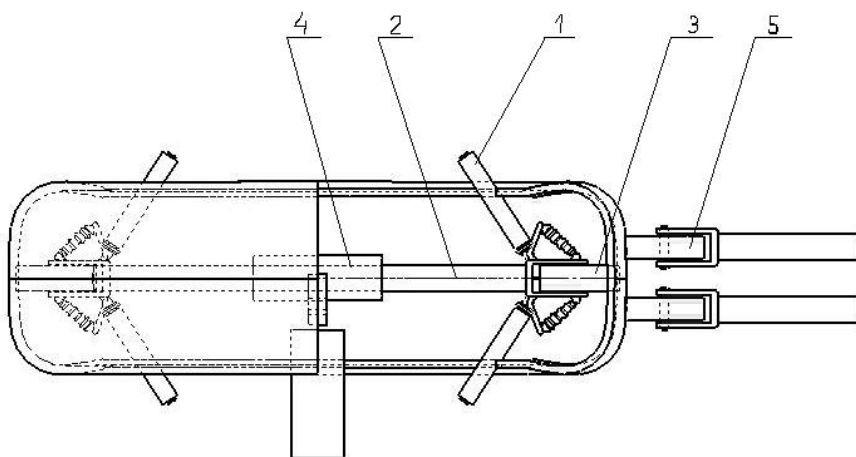


Рис. 4.4. Пристрій утримування автошин:

1 – качалка підпружинена; 2 – вісь поздовжня; 3 – колесо вільного обертання; 4 – гідроциліндр фіксації; 5 – колеса подачі

Принцип роботи пристрою утримування шин полягає в тому, що шина фіксується за допомогою підпружинених качалок 1, які можуть обертатись навколо своїх осей. Качалки 1 переміщуються в напрямку від осі 2 до контакту колеса 3 з поверхнею автошини за допомогою гідроциліндру 4. Із зовнішньої сторони ав-

тошина затискається колесами 5. Привід коліс 5 дає змогу повертати автошину на фіксований кут подачі γ . Кут подачі вибирається оператором залежно від типу (розмірів) автошини і фіксується як час обертання з постійною швидкістю коліс 5.

Переваги розробленої схеми:

- реалізована можливість автоматизації процесу різання автошин;
- завдяки такій схемі фіксації автошини, під час різання її профіль не втрачає стійкості;
- стабільність процесу різання;
- висока продуктивність;
- реалізована можливість відділення металевих складових автошини від гуми та текстилю;
- невисокий рівень енергозатрат у порівнянні з різанням водним струменем без абразиву.

4.3. Пристрої для формування гідроабразивного струменя

Пристрій, що безпосередньо формує гідроабразивний струмінь (струменеви́й апарат) і направляюче її на поверхню, що оброблюється є одним з ключових вузлів гідроабразивної установки і значною мірою визначає ефективність процесу гідроабразивної деструкції гуми.

Принципова схема струминного апарата показана на рис. 4.5. Пристрій працює в такий спосіб: у живильному соплі 5 формується водяний струмінь, що попадає в камеру змішання 4, куди по каналу 6 подається абразив. У камері змішання 4 струмінь води захоплює абра-

звив і прискорює його до швидкості 200-500 м/с. Далі гідроабразивний потік фокусується в соплі 3 і у вигляді потужного гідроабразивного потоку 3 подається на поверхню 4, що оброблюється.

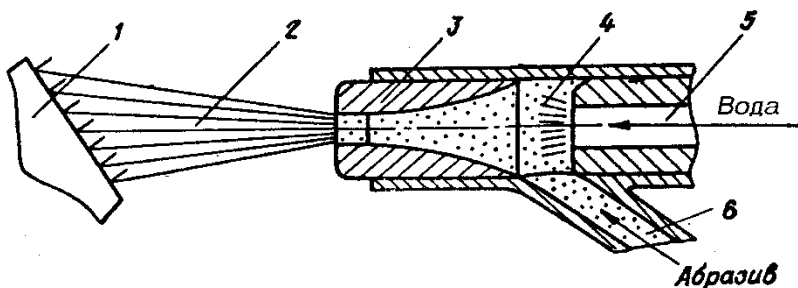


Рис. 4.5. Принципіальна схема струйного апарата

Проведені дослідження показали, що основними факторами, що визначають структуру і властивості гідроабразивного струменя, є: якість формування високонапірного водяного струменя в соплі живлення, умови формування гідроабразивного потоку в змішувальній камері і фокусуєчому соплі й особливості характеру руху гідроабразивного струменя від сопла до оброблюваної поверхні.

Струмінь, що діє на оброблювану поверхню, повинен мати достатній запас енергії при виході зі струминного апарата і досягати об'єкту впливу з мінімальними втратами. По довжині струмінь може бути схематично розділене на три ділянки, кожний з яких являє собою усічений конус, що розходить в напрямку руху струменя. Відразу ж після виходу з сопла і на деякій відстані від нього в центральному ядрі струменя подовжня швидкість має постійне значення. Ця ділянка одержала назву початкової ділянки

струменя; у її межах осьовий динамічний тиск струменя залишається незмінним і дорівнює вихідному тиску. Структура струменя в цілому, як водяного, так і водо-абразивного зв'язана з характером руху на початковій ділянці, який залежить від цілого ряду факторів, таких як тиск живлення, геометричні параметри сопла та ін.

За межами початкової ділянки струменя осьовий динамічний тиск постійно зменшується. Це відбувається в результаті постійного розширення струменя і його розпаду, що спочатку захоплює її периферійну частину, де відбувається контакт потоку з навколишнім повітрям .

Ділянку струменя, на якому ще немає розриву потоку рідини, називають основним чи робочим. На цій ділянці струмінь найбільш придатний для впливу на поверхню, що оброблюється тому що вона має найбільшу потужність.

Роздроблення струменя і зниження швидкості руху і кінетичної енергії характерні для третьої ділянки струменя.

В даний час для гідроабразивної обробки застосовуються струминні апарати двох систем: ежекторні і нагнітальні.

У ежекторних апаратах струмінь води, що випливає з сопла живлення (за рахунок ефекту ежекції), створює розрядження в змішувальній камері, куди засмоктуються абразивний матеріал і присуюється високошвидкісним струменем.

У нагнітальних струминних апаратах абразивний матеріал подається в змішувальну камеру під тиском. У процесі досліджень різними авторами були випробувані наступні способи подачі абразиву в струминний апарат: насосом у вигляді пульпи, суміш абра-

зиву з повітрям під тиском, сухий абразив, у вигляді пульпи самопливом, нагнітання пульпи за допомогою повітря.

Для гідроструменевої деструкції гуми розроблено струменевий апарат ежекторного типу /53/ схему якого показано на рис.4.6. Ежектор складається з корпусу 1, в якому встановлено фланець 3 з соплом живлення 4 і штуцером підводу води 5. Фланець і штуцер фіксуються гайкою 6. В корпусі також встановлено фокуруюче сопло 2, яке утримується накидною гайкою 11. На боковій частині корпусу розташовано штуцер підводу абразиву. Елементи конструкції пристрою виготовлено з нержавіючої сталі. Фокуруюче сопло виготовлено з карбіду бору.

Пристрій працює наступним чином.

Вода під високим тиском до 100 МПа через штуцер 5 подається в сопло живлення 4 де відбувається формування високо напірного струменя, який проходячи через ежекторну камеру потрапляє в фокуруюче сопло 2 при цьому в ежекторній камері виникає вакуум за рахунок ефекту ежекції. В ежекторну камеру за рахунок виниклого перепаду тиску подається абразив, який змішується з основним потоком і потрапляє в фокуруюче сопло а далі на поверхню що оброблюється.

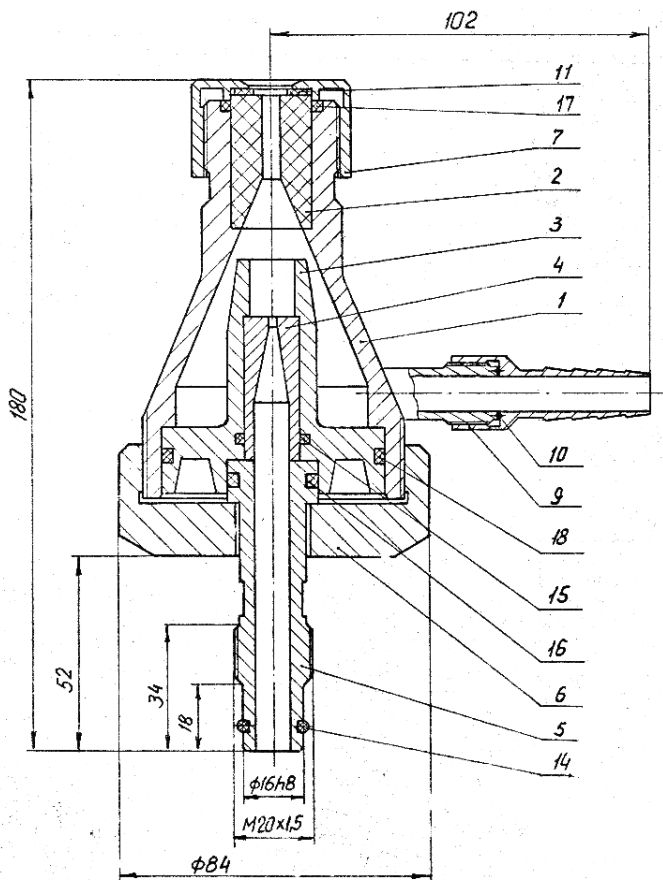


Рис. 4.6. Гідроабразивний ежектор

Особливістю даної схеми є те, що абразив підводиться тангенційно відносно рідинного струменя, що покращує умови змішування двох середовищ.

Випробування показали високу ефективність пристрою і можливість його використання для гідроабразивної деструкції гуми.

5. ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОЇ ЕРОЗІЇ ГУМИ

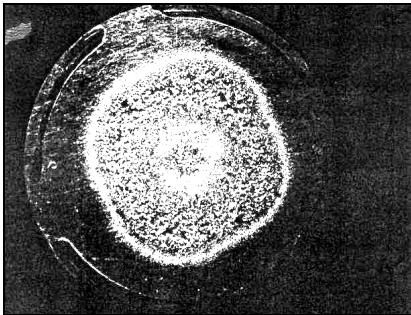
Кавітаційна ерозія являє собою процес руйнування поверхневого шару матеріалу при його взаємодії з кавітуючим потоком рідини. Це явище може бути застосовано для підвищення ефективності гідроструменевої деструкції гуми при утилізації зношених автошин.

Не дивлячись на велику кількість робіт з вивчення механізмів кавітаційної ерозії матеріалів, питання вивчено не повністю. Вивчення цього процесу ускладнюється його швидкоплинністю (порядок 10^{-6} с), а ще тією обставиною, що протікає кавітаційна ерозія у малих об'ємах. Колапс каверни розпочинається із розмірів 10^{-2} мм. Додаткові ускладнення створюють високі локальні тиски і температури. Більшість дослідників відмічають наявність двох основних видів руйнування металів. Механізм ударної хвилі /45, 46, 49/ засновано на моделі колапсу каверни у ідеальній рідині. Теорія дає значення тиску при повному змиканні каверни. Наступні дослідження дають уточнення із врахуванням стисливості рідини, в'язкості, а також демпфування із-за наявності у кавернах газу, що дозволило встановити високий рівень тиску і температури при змиканні каверн. Високі тиски від радіальних ударних хвиль викликають механічні руйнування поверхонь, що знаходяться поблизу колапсу каверн.

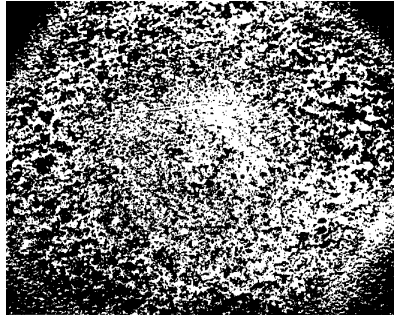
Каверни у будь-якому випадку змикаються асиметрично, оскільки колапс на відміну від розширення границь процес не стійкий. Спостереження показали, що поблизу стінки каверна у процесі де-

формації набуває тороїдальну форму із наступним утворенням у центрі тороїду мікро струменю. Доказано, що мікро струмінь має високу швидкість і при співударянні зі стінкою може викликати її механічні руйнування. Роботи /46, 49/ вказують на те, що не дивлячись на наявність як ударних хвиль, так і мікро струменів, основний внесок у руйнування вносять ударні хвилі. Експериментами на основі не прямих вимірювань встановлено, що тиск у центрі каверни, що зімкнулась становить декілька тисяч атмосфер. Це значно більше ніж границя міцності більшості матеріалів. Наприклад, сталь 45 у нормальному стані має границю міцності 610 МПа, а у загартованому стані 800 МПа, для гуми цей параметр на декілька порядків нижче.

Характер кавітаційних руйнувань залежить від багатьох факторів і найбільш вивчений для металів і сплавів, що використовуються в гідромашинобудуванні. На рис.5.1. Показано зону кавітаційної ерозії алюмінієвого сплаву.



а) Збільшення $\times 4$



б) Збільшення $\times 10$

Рис.5.1. Кавітаційна ерозія поверхонь мішеней із сплаву Д16АТВ

Схему експерименту для вивчення кавітаційної ерозії гуми показано на рис. 5.2. Зразок 2 встановлювався у оправку і піддавався впливу квітучого струменя води, що формувалася у кавітаційному генераторі 1.

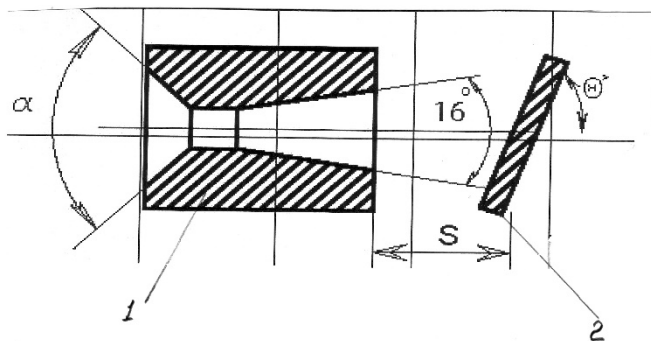


Рис. 5.2. Схема експерименту

Експериментальними дослідженнями встановлено, що найбільша інтенсивність кавітаційної ерозії досягається при куті конфузornoї частини генератора у межах $(10-30)^\circ$ дефузornoї $15-20^\circ$. Найбільша інтенсивність кавітаційної ерозії мішені спостерігається

при $\bar{d}=0,33 - 0,43$; $\bar{d} = \frac{d_c}{d_{ome}}$, де d_a - діаметр горловини; d_{ome} -

діаметр отвору. Оптимальним з точки зору руйнування гуми є розташування її поверхні під прямим кутом до напрямку дії струменя.

На основі проведених досліджень було розроблено і підготовано матеріали на патентування пристрою для кавітаційного очищення розпилувачів форсунок двигунів внутрішнього згорання, схему якого показано на рис.5.3.

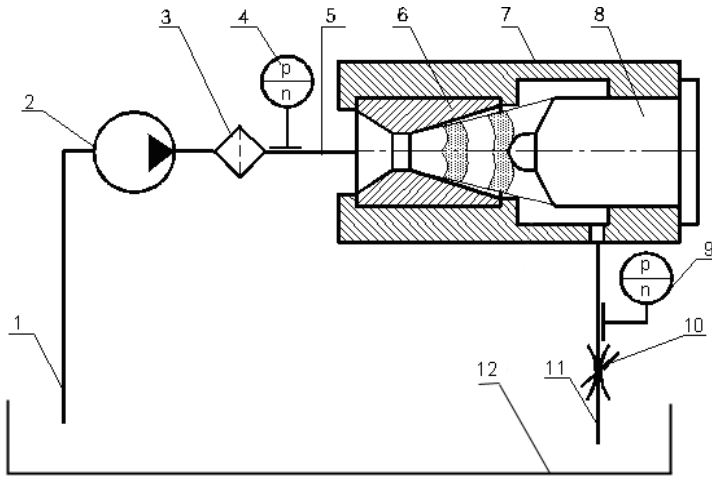


Рис. 5.3. Пристрій для кавітаційного очищення форсунок

Пристрій для кавітаційного очищення розпилювачів форсунок двигунів внутрішнього згоряння працює таким чином.

Рідина всмоктується через магістраль всмоктування 1 циркуляційним насосом 2, очищується фільтром 3 і подається по напірній магістралі 5 до автоколивного гідродинамічного генератора хвиль тиску 6. Тиск на вході контролюється манометром 4. Автоколивний гідродинамічний генератор хвиль тиску 6 створює кавітаційні хвилі тиску у робочій камері 7, які діючи на розпилювач форсунки 8, руйнують забруднення на її поверхні. Режим роботи автоколивного гідродинамічного генератора хвиль тиску задається за допомогою регулятора режиму роботи 10 і контролюється манометром 9. Видалені забруднення виносяться через зливу магістраль 11 у ємність 12.

6. ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ДО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД І УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

Ухвалою Кабінету міністрів України від 25 березня 1999 р. затверджені правила охорони поверхневих вод від забруднень оборотними водами. Ці правила направлені для попередження і запобігання забрудненням водних об'єктів /15/. Дані правила є обов'язковими для виконання всіма громадянами, підприємствами і організаціями незалежно від форм власності, якщо в результаті їх діяльності є можливість впливу на стан поверхневих вод.

Планування заходів щодо охорони поверхневих вод, контроль за їх охороною і нормування ступеня очищення скидних вод виробляється за цими правилами.

У розділі 2 приводяться термінологія до предмету ухвали. Зокрема, термін “вода поворотна” означає, що це вода, яка повертається за допомогою технічних споруд і засобів з господарської ланки кругообігу води в його природну ланку у вигляді стічної, шахтної, кар'єрної або дренажної води.

Проектування, будівництво, розширення, реконструкція, технічне переоснащення і капітальний ремонт об'єктів виробляється за умов, що категорії якості водних об'єктів, передбачені відповідними програмами використання, охорона і відновлення водних ресурсів не погіршуються.

Водокористувачі зобов'язані забезпечувати виконання відповідного санітарного стану на території, де розташовані їх об'єкти,

і не допускати винесення через дощові каналізаційні мережі сміття, продуктів ерозії ґрунтів, сировини та відходів виробництва.

Для об'єктів і споруд, які є аварійно-небезпечними (нафто- і газо продуктопроводи, нафто- і продукто сховища, накопичувачі стічних вод, каналізаційні колектори і очисні споруди, судна та інші плавучі засоби, нафтові свердловини, бурові платформи), повинні бути розроблені і забезпечені протиаварійними засобами, зокрема повинні бути розроблені плани ліквідації наслідків можливих аварій, перелік споруд і територій, які підлягають особливому захисту від забруднень (водозабори, пляжі і ін.), порядок дій у разі виникнення аварійних ситуацій, перелік необхідних технічних засобів, способів збору і видалення забруднюючих речовин, а також режим використання у разі забруднення водного об'єкту.

Для комунальних споруд повного біологічного очищення стічних вод встановлюються такі нормативи граничнодопустимого вмісту забруднюючих речовин (міліграм/л):

- біохімічне споживання кисню - не більше 15;
- хімічний зміст кисню - не більш 80;
- зважені речовини не більш - 15.

Одним з важливих питань створення комплексу по очищенню нафто- і газопроводів за допомогою обладнання рідинних струменевих технологій є рішення питання утилізації відходів, зокрема бітуму, паперу і їх суміші з піском.

Відповідно до ГОСТ 17.4.04-85 в розділі «1. Вимоги до охорони ґрунтів від забруднень» сказано про необхідність вклю-

чення в проекти на нові підприємства і технологічні лінії очисних споруд від всіх забруднюючих ґрунт компонентів .

Відповідно до ГОСТ 17.4.2.01-81 «Ґрунти» встановлена номенклатура показників санітарного стану ґрунтів при забрудненні. При цьому бітум і папір не входять в перелік матеріалів для обов'язкового визначення санітарного стану ґрунту при їх наявності в ній /16/.

У відповідності з Нормативними матеріалами «Гранично допустимі концентрації і орієнтовні безпечні рівні дії шкідливих речовин в об'єктах зовнішнього середовища», випущеними ВНІІ техніка безпеки в хімічній промисловості і НДІ гігієни праці і профзахворювань, бітум і папір не входить в перелік шкідливих речовин, що знаходяться у воді і ґрунті [16].

Відповідно до нормативного документа /13/, затвердженого Мінохоронздоров'я СРСР 30 травня 1985 р. №3897-85, визначаючим граничну кількість токсичних промислових відходів, що допускаються для складування в накопичувачах (полігонах) твердих побутових відходів, папір входить в перелік промислових відходів, що приймаються на полігони твердих побутових відходів для обмеженого складування в кількості 10 т на 1000 м³, і не повинна містити промаслений папір.

Для розробки системи очищення води з метою її повторного використання при роботі обладнання рідинних струменевих технологій зокрема при його використанні при утилізації зношених шин розглянемо існуючі підходи до організації водного господарства промислових підприємств.

7. ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Відповідно до існуючої термінології під стічними водами розуміються всі води, що відводяться з території промислових підприємств і об'єктів /9,10/. Вони можуть бути розділені на три види:

- виробничі - використані в технологічному процесі виробництва або що виходять при видобутку корисних копалин;
- побутові - від санітарних вузлів виробничих і невиробничих корпусів і будівель, а також душових установок, що є на території промислових підприємств;
- атмосферні - дощові, від танення снігу, а також опади, що випадають унаслідок викидів в атмосферу при роботі промислових підприємств.

Виробничі стічні води діляться на дві основні категорії: забруднені і незабруднені (умовно чисті).

Забруднені виробничі стічні води містять різні домішки і підрозділяються на три групи:

- забруднені переважно мінеральними домішками (підприємства металургійної і гірської промисловості, машинобудівної промисловості; підприємства по виробництву добрив, кислот, будівельних виробів тощо);
- забруднені переважно органічними домішками (підприємства харчової, целюлозно-паперової, хімічної і мікробіологі-

чної промисловості; заводи по виробництву пластмас і каучуку);

- забруднені мінеральними і органічними домішками (підприємства нафтовидобувної, нафтопереробної і нафтохімічної промисловості, консервні заводи, цукрові заводи, заводи продуктів органічного синтезу, паперу, вітамінів тощо).

По концентрації забруднюючі речовини діляться на чотири групи: 1-500; 500-5000; 5000-30000 і більше 30000 міліграм/л. /9/.

У разі застосування гідроабразивного методу очищення поверхні нафтопроводів, де як робоче тіло використовується вода, ми маємо справу з декількома видами забруднювачів - такими як пісок, використовуваний як абразив, бітум, папір, поліетиленова плівка, та інші залишки старих покриттів, продукти корозії тощо. Враховуючи необхідні для отримання заданої швидкості очищення /17,18/ витрати води і піску, а також зразкову кількість продуктів очищення, можна затверджувати, що по концентрації забруднень відпрацьована вода відноситься до четвертої групи, а за якістю - до третьої.

Виробничі стічні води можуть розрізнятися за фізичними властивостями забруднюючих їх органічних продуктів, а також за ступеню агресивності: слабо кислі ($\text{pH} = 6 - 6,5$ і слабо лужні $\text{pH} = 8 - 9$); сильно агресивні (сильно кислі з $\text{pH} < 6$ і сильно лужні з $\text{pH} > 9$) і неагресивні (з $\text{pH} 6,5-8$).

При проектуванні систем оборотного водопостачання рекомендується вивчити склад і режим водовідведення. Особливу увагу необхідно надати не тільки на хімічну активність забрудню-

ючих речовин, а також на кінетику осідання і або спливання механічних домішок і їх об'єм, можливість коагуляції стічних вод тощо. Ці дані дозволять вибрати найдоцільніший і економічно обґрунтований метод очищення для конкретної задачі.

В даний час розроблена безліч методів очищення. У нашому випадку ми маємо справу з нерозчиненими і органічними домішками. У таких випадках застосовуються механічні методи очищення. У наступному розділі даний аналіз цих методів.

8. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ВОДИ

8.1. Механічні методи очищення

Призначення механічного очищення полягає в підготовці виробничих стічних вод до процесів глибокого очищення (доочистці) стічних вод. Механічне очищення на сучасних очисних станціях складається з проціджування через ґрати, піскоулавлювання, відстоювання і фільтрування. Типи і розміри цих споруд залежать від складу, властивості і витрати води, що очищається, а також методів їх подальшої обробки. Як правило, механічне очищення є попереднім етапом очищення і лише в окремих випадках остаточним. Вона забезпечує виділення зважених речовин у воді до 90 - 95% і зниження органічних забруднень (по показнику БПК_{повн}) до 20 - 25% /9/. Ефект очищення стічних вод досягається різними способами гравітаційного відстоювання, а також за допомогою гідро циклонів. Процес повнішого освітлювання стічних вод досягається фільтруванням - пропуском води через шар різного зернистого матеріалу (кварцового піску, гранітного щебня, роздробленого антрациту або керамзиту, мармурової крихти, шлаку, горілих порід і ін.) або через різного роду фільтри.

8.1.1. Решітки

Решітки встановлюють на очисних спорудах для видалення крупних включень з побутових і промислових стічних вод. Особливе широке розповсюдження вони одержали останнім часом у зв'язку з наявністю в стічних водах матеріалів, які неможливо утилізувати методами біологічного очищення.

Використовуються решітки з прорізами 16 мм і меншими. Всі відомі типи решітки розраховані на продуктивність тисячі кубометрів стічної води за годину, а отже мають габарити і, відповідно вагу, що не відповідають вимогам, що пред'являються до обладнання, яке працює з обладнанням рідинних струменевих технологій в умовах промислових підприємств.

Як найменшу продуктивність 100 м³/час мають решітки розміром 2500X800X1200 мм і масою 300 кг. Дані решітки забезпечені граблями для видалення великорозмірних відходів і бункером для їх подальшого складування. Для віджимання вільної вологи з витягнутих забруднень застосовують різного роду преси в основному шнекового типу, що мають значні габарити, також значну вагу. Решітки забезпечені системою автоматичного керування рухом грабелів і розраховані на виділення відходів розміром вище 8 мм. Решітки здійснюють найбільш грубе очищення води і можуть застосовуватися лише на перших ступенях очистки.

8.1.2. Пісколовки

Пісколовки використовують для затримання мінеральних речовин розміром понад 0,2 - 0,25 мм при пропускнуій спроможності станції очищення більше 100 м³/доб. (у нашому випадку - 500 м³/доб). Число відділень пісколовки належить приймати не менше двох, при цьому всі відділення повинні бути робочими.

Пісколовки розраховуються на максимальну витрату стічних вод і перевіряються на мінімальну притоку. Тип пісколовки необхідно вибирати з урахуванням пропускнуій спроможності очисної станції, складу вод, що очищаються.

Горизонтальні пісכולовки з круговим рухом стічної води призначаються для видалення піску з виробничих стічних вод, що мають нейтральну або слабо лужну реакцію /13/. Стічна вода підводиться до пісכולовкам і відводиться від них лотками, забезпеченими затворами. Осад з пісכולовок видаляють гідроелеваторами. Подача рідини до гідроелеватору і відведення пульпи здійснюється самостійними напірними трубопроводами через камеру перемикання обладнану засувками.

Тангенціальні пісכולовки з шнековим піскопромивателем використовують ефект, закладений в основу дії гідро циклонів . Стічна вода подається в пісכולовку тангенціально. Пісок за рахунок дії відцентрових сил притискається до стінок пісכולовки і сходять вниз, звідки віддаляється шнеком. Відведення води з пісכולовки здійснюється по центральній телескопічній трубі. Відмивання піску від органічних домішок здійснюється в процесі його видалення в шнековому промивачі. При швидкості течії 0,7 - 1,1 м/с затримується до 92 - 98% піску з гідравлічною крупністю 18 - 24 мм/с. Діаметри таких пісכולовок не перевищують 6 м.

8.1.3. Відстійники

Відстійники, в основному, застосовуються на крупних очисних спорудах. Принцип їх роботи гравітаційний і полягає у виділенні суспензій в стічних водах на дно відстійника /6/. Розрізняють вертикальні, горизонтальні і радіальні відстійники. Як правило це вельми громіздкі споруди, лінійні розміри яких досягають десятків метрів, а робочий процес триває годинами. У зв'язку з останнім він

не відповідає вимогам, що пред'являються до мобільного комплексу очищення трубопроводів і, тому детально не розглядається.

8.1.4. Нафтоловки

Нафтоловки застосовуються для очищення стічних вод, що містять грубо дисперговану нафту і нафтопродукти при концентрації більше 100 мг/л. Ці споруди є прямокутними витягнутими в довжину резервуарами, в яких відбувається розділення нафти і води за рахунок різниці їх густини /9/. Нафта і нафтопродукти спливають на поверхню, а домішки, що містяться в стічній воді, осідають у нафтопастках. По суті, це той же відстійник, відмінний тим, що тут забруднення не осідає, а спливає. Досвід роботи показує, що в основу розрахунку нафтопасток повинна бути встановлена швидкість підйому краплі нафти діаметром 0,08 - 0,1 мм. При температурі 20 °С густина спливання нафти 870 г/л.

8.1.5. Гідроциклони

Принцип дії циклонів заснований на сепарації часток твердої фази в потоці рідини, що обертається. Величина швидкості сепарації часток в гідроциклонах у багато разів вища ніж в звичних відстійниках, оскільки відцентрові сили, які діють на частки в потоці, що обертається, у багато разів вищі за прискорення вільного падіння. Тому і ефективність очищення води в гідроциклоні у багато разів вища. Типовий гідроциклон являє собою конічний резервуар, в який по тангенційному каналу під значним напором подається стічна вода, при цьому тверді частки під дією відцентрових сил переміщуються до стінок а потім в нижню частину конуса де зливається через шламовий отвір. Очищена

вода піднімається догори в центральній частині резервуара і зливається через верхній отвір.

До основних переваг гідроциклонів слід віднести високу питому продуктивність, низькі витрати на будівництво і експлуатацію установок, відсутність механізмів, що обертаються, призначених для створення відцентрової сили (відцентрове поле тут створюється за рахунок тангенціального введення води в циклон), можливість створення компактних автоматизованих установок. Для механічного очищення стічних вод застосовують відкриті і напірні гідроциклони /2,5,10, 11/.

Відкриті гідроциклони використовуються для виділення спливаючих і осідаючих грубо дисперсних домішок гідравлічною крупністю більш ніж 0,2 мм і коагульованих зважених речовин. Застосовуються відкриті гідроциклони наступних типів:

- без внутрішніх пристроїв для виділення із стічних вод крупних і дрібно дисперсних зважених речовин;
- з конічною діафрагмою і внутрішнім циліндром для виділення осідаючих і спливаючих дрібно дисперсних зважених речовин;
- багатоярусний з похилими випусками освітленої води з кожного ярусу для виділення крупних і дрібно дисперсних зважених часток;
- багатоярусний з периферійним відбором освітленої води для виділення осідаючих крупна- і дрібно дисперсних зважених часток.

У конструкції багатоярусного гідроциклона суміщені принципи роботи відкритого циклону і тонкошарового відстійника, що дозволяє одержати високу ефективність очищення в порівнянні з простими відстійниками. Вода, що очищається, подається тангенціально. Діаметри відкритих циклонів коливаються від 2 до 12 м залежно від продуктивності. Особливістю роботи відкритих гідроциклонів полягає у тому, що осад необхідно безперервно видаляти за допомогою гідроелеваторів або інших механізмів. Домішки, що спливають, і масла затримуються напівзануреної перегородкою. Застосування безнапірних відкритих гідроциклонів для обробки стічних вод установок газоочистки металургійних печей і цехів гарячого плющення дозволяє в 5 - 6 разів інтенсифікувати процес осадження зважених речовин. Таким чином в нашому випадку доцільно розглянути можливість застосування даних гідроциклонів як компактні відстійники або нафтопастки.

Напірні гідроциклони застосовують для виділення з виробничих стічних вод грубо дисперсних домішок головним чином мінерального походження, густина яких відрізняється від густини рідкого середовища стічних вод, зокрема: піску, вугілля, окалини, компонентів кераміки, скла, будівельних матеріалів, диспергованих відходів ливарного, гірничорудного, азбестоцементного, хімічного і металургійного виробництв.

Характерною особливістю робочого процесу гідроциклона є наявність повітряного стовпа в центрі, що утворюється унаслідок дії відцентрових сил рідини і з'єднання шламового отвору з повітрям, яке підсмоктується з атмосфери через шламовий отвір. Саме

уздовж межі розділу повітря і води відбувається транспортування очищеної стічної води на вихід гідроциклону.

Напірний гідроциклон працює таким чином: стічна вода по живлячому патрубку подається тангенціально в циліндрову частину циклону. При цьому воді усередині циклону повідомляється обертальний рух. Під дією відцентрових сил частки забруднення відкидаються до стінок циклону і уздовж стінок конічної частини сповзають до шламового отвору, а очищена вода підіймається до зливного отвору. Таким чином робочий процес гідроциклону нагадує робочий процес центрифуги з тією лише різницею, що тут відсутні рухомі частини. Недоліком гідроциклонів є абразивні знос проточної частини, для чого її футерують гумою, базальтовим (кам'яним) литвом або легованими чавунами.

Регулюючи діаметр шламового отвору (збільшуючи або зменшуючи) можна регулювати тонкість очищення води. Витрата води через шламовий отвір при очищенні від твердих домішок досягає 15% від витрати всієї води, що проходить через гідроциклон. Гідроциклони з малим діаметром циліндрової частини (до 15 - 25 мм.) дають більший ступінь очищення, ніж з великим діаметром. У промисловості колишнього СРСР використовуються циклони з діаметром циліндрової частини до 500 мм.

Напірні гідроциклони можуть бути одиничними і батарейними (мультигідроциклони), і використовуються при освітлюванні стічних вод для згущування осаду, збагачення вапняного молока і твердої фази стічних вод в процесі їх утилізації.

Для підвищення тонкості очищення напірні гідроциклони об'єднують в батареї. При освітлюванні промислових стічних вод мультігідроциклони дають високий ступінь очищення.

Для скорочення втрат води з осадом, що видаляється, шламовий патрубок сполучають з шламовим резервуаром. На цьому ступені слід використовувати гідроциклони великих розмірів для затримання основної маси часток, що виділяються, які можуть засмітити гідроциклони малих розмірів, використовуваних на подальших ступенях.

Для видалення нафтопродуктів із стічних вод за допомогою гідроциклонів застосовують три продуктивні гідроциклони. Вони одержали свою назву тому, що в процесі виділення забруднень рідина виходить з циклону по трьох потоках: у вигляді шламу з твердими відходами, у вигляді висхідного потоку очищеної води і у вигляді мас, що збираються на межі розділу повітряного стовпа і води.

8.1.6. Фільтри

Фільтри використовуються для інтенсифікації процесу очищення стічних вод. У колишньому СРСР як фільтруючі матеріали для систем очищення стічних вод рекомендувалися різні полімерні матеріали, що володіють достатньою механічною міцністю, хімічною стійкістю, високими площами активної поверхні і пористістю. До числа таких матеріалів відноситься полістирол, різних марок (зокрема поліпеностірол), пенополіуретан, а також гранули керамзиту, котельні і металургійні шлаки, горілі гірські породи. Крім того в системах очищення води використовується мармурова крихта, дегідрований алюмосилікат, активоване вугілля /37,38,39/.

Фірма American Standard випускає широку гамму фільтрів для очищення технічної і питної води з тонкістю фільтрації до 10 - 20 мкм. Проте ці фільтри досить дороги, а можлива нестабільність поставки викликає сумніви в доцільності їх застосування для вирішуваних нами задач.

В зв'язку з цим трапляється перспективною нагода використання полімербетонних фільтрів. У основу фільтруючого матеріалу встановлений річковий пісок спеціальної марки що загущується епоксидним компаундом.

Виробництво фільтроелементів з такого композитного матеріалу відрізняється простотою і може бути налагоджене в умовах малих підприємств. Даний фільтруючий матеріал забезпечує тонкість фільтрації до 30 мкм і володіє здатністю до регенерації шляхом організації зворотної протоки води.

Залежно від вмісту і характеру зважених речовин в стічній воді застосовуються наступні основні схеми фільтрування: через багатоярусні або багат шарові фільтри із завантаженням по убуючю крупності гранул по ходу води, що освітлюється, від до верху низу; через фільтри великої грязеемності при фільтруванні води зверху вниз з горизонтальним напрямом фільтрування; з безперервною регенерацією завантаження.

Фільтри з плаваючим пінополістірольним завантаженням застосовуються для очищення шахтних стічних вод від зважених речовин на шахтах Макіївки /37/. Тут як фільтруюча речовина використовується спінені гранули полістиролу. Цей фільтр виконаний у вигляді восьмигранної призми, верх і низ якої сполучений восьмигранними конусами.

Усередині фільтру знаходяться два шари гранул, розділені утримуючими сітками. У нижньому шарі знаходяться гранули попереднього фільтрування діаметром 2 - 5 мм, а верхній шар - гранулами 0,3 - 2 мм, призначеними для глибокого фільтрування.

Фільтрування відбувається таким чином: стічна вода подається на фільтр. Нижній і верхній шари спливають, підтискаються до утримуючих сіток і ущільнюються. Даний фільтр виробляє зниження зважених речовин з 350 міліграм/л до 20 міліграм/л. Знезаражена в хлораторній ванні вода придатна для технічних потреб. Тривалість одного фільтроциклу складає близько 6 годин. Фільтр регенерується зворотною промивкою.

Напірні фільтри з плаваючою пінополістірольної масою застосовуються, також для очищення окаліновмістимих і масловмістимих стічних вод. Вони складаються зі спінених гранул полістиролу крупністю 2 - 5 мм, висота фільтруючого шару складає 2 - 2,5 м. Напрямок фільтрації від до верху низу.

Проект цих фільтрів розроблений Харківським водоканалпроектком. Його продуктивність досягає 184 м³/час. У початково стічній воді міститься 60 міліграм/л зважених речовин і 15 міліграм/л масел, а в очищеній 20 і 3 міліграм/л відповідно.

Напірні фільтри із зернистим завантаженням застосовуються для механічного очищення нафтовмістимих стічних вод після їх гравітаційного відстоювання. Фільтр є вертикальним резервуаром круглого перетину, котрий завантажується кварцовим піском завтовшки 1 м. Може також використовуватися антрацит, керамзит, керамічна крихта. Фільтрування відбувається при русі води від до верху низу. Тривалість

фільтроциклу досягає 12 - 48 годин. Ефективність фільтрування підвищується при додаванні у воду 5 - 10 міліграм/л коагуляції $Al_2(SO_4)_3$ і 0,2 - 0,3 флокулянта ПАА. Фільтр регенерується промивкою від до верху низу. Залишковий зміст нафтопродуктів таких фільтрах знаходиться в межах допустимого - 7 - 20 міліграм/л.

Для видалення з промислових стічних вод волоконних включень у вигляді целюлози або її дротяних (в даному випадку це папір) застосовуються дискові фільтри, виробництво яких освоєне київською промисловістю.

8.1.7. Центрифуги

Центрифуги застосовуються в основному в тих випадках, коли в стічних водах знаходиться осад, який представляє собою цінний продукт. Оскільки в нашому випадку такі продуктів немає, то представляється доцільним на даному питанні не зупинятися.

Як вже вказувалося вище до твердих відходів, складованих на полігонах (звалищах) пред'являються вимоги по вогкості. В зв'язку з цим розглянемо способи механічного обезводнення опадів. Для нас ця область цікава тим, що в оборотній воді передбачається наявність подрібненого паперу з ізоляційного покриття нафтогазопроводів.

8.2. Засоби механічного обезводнення опадів

Видалення вологи з опадів механічним шляхом є одним з економічних способів зниження вогкості, маси і об'єму. Для механічного обезводнення опадів застосовують вакуум-фільтри, фільтри - преси, шнекові преси і осаджувальні горизонтальні центрифуги з шнековим вивантаженням осаду.

Для ефективного обезводнення на вакуум-пресах і фільтрах пресах застосовують обробку хімічними реагентами, що дозволяє перевести частину зв'язаної вологи у вільний стан. Як такі реагенти застосовують хлор або сірчанокиисле залізо, вапно. Дози хімічних реагентів, що додаються для коагуляції тим більше, чим вища густина осаду. Витрати на хімічні реагенти для коагуляції опадів складають основну частину експлуатаційних витрат, тому доза коагуляції повинна бути мінімальною.

Для обезводнення більшості видів опадів застосовують вакуум-фільтри безперервної дії. Робочий цикл вакуум-фільтрів включає наступні основні операції: фільтрування, обезводнення (просушування), видалення зневодненого осаду, регенерацію фільтрувальної тканини.

Фільтрування і обезводнення виробляється під дією вакууму. При цьому на фільтрувальній тканині спочатку утворюється шар відфільтрованого осаду, який потім зневоднюється (просушується) атмосферним повітрям. Фільтрат (рідка фаза) віддаляється через вакуумну лінію.

У деяких конструкціях фільтрів (а всі вони розраховані для використання на стаціонарних очисних спорудах, а тому мають значні габарити і вагу), що серійно випускаються, передбачена можливість їх промивки і другого просушування. Для обезводнення опадів стічних вод використовують барабанні фільтри із зовнішньою фільтруючою поверхнею.

Окрім барабанних застосовують стрічкові фільтри, які використовуються при сушці швидко розшарованих забруднень типу окалини.

Від барабанних і дискових вони відрізняються лише тим, що тут фільтрувальна тканина виконана у вигляді транспортерної стрічки.

Для обезводнення опадів широке поширення набули стрічкові фільтр - преси, які використовуються в тих випадках, коли обробляють аморфні опади. В порівнянні з вакуум-фільтрами вони мають велику ефективність, оскільки при цьому виходить осад з меншою вогкістю.

8.3. Засоби транспортування стічних вод і шламів

Як засоби транспортування стічних вод і шламів використовують насоси, грязьові і піщані насоси, гідроелеватори, насоси-дробарки. Останні поєднують в собі функції насоса і засобу подрібнення великогабаритних відходів. По тій, що є інформації від концерну “Укркоммунмаш” насоси-дробарки в Україні в даний час не виробляються у зв'язку з відсутністю попиту і важким економічним станом в галузі.

Встановлено, що всі наявні проекти даного типу устаткування розраховані на застосування в стаціонарних умовах очисних споруд і, отже, мають значні габарити і вагу.

Гідроелеватори здебільшого є звичними ежекторами з великими прохідними перетинами. Гідроелеватори використовуються в основному для транспортування пульпи з пісколок і відстійників з подальшим відділенням води одним з вказаних вище способів /6/.

З проведеного аналізу видно, що системи очищення води, які застосовуються в даний час на промислових підприємствах, не-

достатньо ефективні, відрізняються великими габаритами та високою вартістю витратних матеріалів, непридатні для мобільного використання. В зв'язку з цим є актуальною проблема створення ефективних, компактних, здатних до адаптації до умов експлуатації систем очищення води, що можуть забезпечити зворотне водопостачання як для обладнання рідинних струменевих технологій так і для іншого промислового обладнання, робота якого пов'язана з великими витратами води.

9. ВИБІР СХЕМИ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

Виходячи з проведеного аналізу видається доцільним будувати систему очищення технічної води за модульним принципом. Модуль розраховано на очищення певної витрати води. Змінюючи кількість модулів можна забезпечити очищення необхідної кількості води в залежності від потреб виробництва. Очищення води в модулі відбувається в кілька етапів на яких забезпечується видалення нафтопродуктів та хімічних речовин, твердих часток в залежності від їх розміру і фізичних властивостей та ін. На завершальному етапі очищення провадиться тонке фільтрування води з розміром часток до 30 мікрметрів.

Принципова схема модуля системи очищення води показана на рис. 9.1.

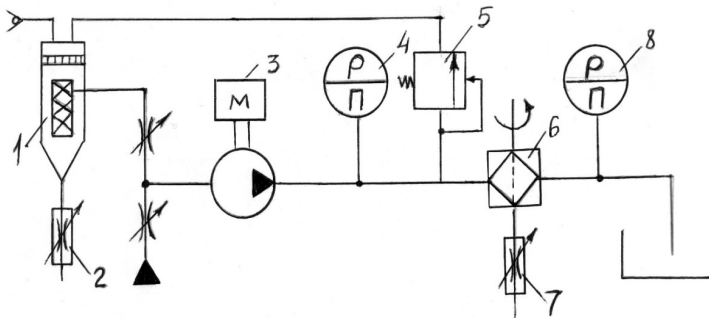


Рис. 9.1. Принципова схема системи очищення технічної води:

1 – фільтр відстійник; 2, 7 – зливні крани; 3 – відцентровий насос з електроприводом; 4, 8 – манометри; 5 – регулятор тиску; 6 – полімербетонний фільтр

Система працює наступним чином. Забруднена вода, що надходить з технологічного циклу потрапляє у фільтр-відстійник 1 де відбувається грубе очищення води. Найбільш крупні частки (орієнтовно 5-1мм) фільтруються на сітці, що розташована у верхній частині фільтра, середні частки до 0,2 мм видаляються на сітчастому фільтроелементі, який розташовано в центральній частині фільтра. Крім того фільтр працює як відстійник, видалення шламу здійснюється через кран 2 в нижній частині фільтра. Далі вода подається на полімербетонний фільтр, який забезпечує видалення механічних часток розміром до 30 мкм, що дозволяє використовувати очищену воду в обладнанні рідинних струменевих технологій а також в інших виробничих циклах. Злив шламу з корпусу фільтра здійснюється за допомогою крана 7. Регулятор тиску 5 забезпечує підтримання необхідного тиску на вході в полімербетонний фільтр а також запобігання його підвищення вище заданої межі.

Контроль стану полімербетонного фільтра здійснюється по перепаду тиску за допомогою манометрів 4 і 8.

В разі живлення обладнання рідинних струменевих технологій із резервуарів та водоймищ з невисокою ступінню забруднення система кранів дозволяє відключити фільтр-відстійник і подавати воду безпосередньо на полімербетонний фільтр, що дозволяє знизити енерговитрати на очищення води.

Розроблено технічне завдання на систему очищення технічної води базовим елементом якої є полімербетонний фільтр.

10. ПОЛІМЕРБЕТОННІ ФІЛЬТРИ

Полімербетонні фільтри являють собою конструкцію, в якій фільтрація рідини здійснюється через полімербетонний фільтруючий елемент/20, 35, 36/. Полімербетон – пористий матеріал відповідним чином сформований з неорганічних часток, які утримуються за допомогою полімерного зв’язуючого. У нашому випадку в якості неорганічного матеріалу застосовується річковий пісок, який зокрема використовують в насипних фільтрах для фільтрації питної води в системі водоканалу. Зв’язуючим матеріалом можуть бути епоксидні смоли, що широко застосовуються в хімічній промисловості. Очевидно, що розмір часток, які утримуються таким матеріалом залежить від багатьох факторів, основними з яких є розмір часток неорганічного матеріалу (піску) і кількості зв’язуючого матеріалу. Правильний вибір їх співвідношення дозволяє отримати структуру, забезпечує необхідну тонкість фільтрації.

В порівнянні із зразками фільтроелементів, що мають аналогічні характеристики, полімербетонні фільтроелементи мають більш низьку вартість, високу технологічність, доступні матеріали для виготовлення.

В зв’язку з тим, що полімербетонний фільтроматеріал не потребує складових, що мають високу вартість, а технологія дозволяє виготовляти фільтроелементи будь якої геометричної форми вони мають високу конкурентоспроможність.

Полімербетонні фільтроелементи можуть бути застосовані в різних галузях промисловості де потрібно фільтрувати неагреси-

вні рідини при температурі до 60 °С зокрема в системах регенерації води та зворотного водопостачання. Фільтроелементи, що виготовлюються можуть бути адаптовані під будь які корпуси.

Розроблено технологію і обладнання виготовлення полімербетонних фільтроелементів. Для забезпечення тонкості очистки води 30 мкм виділяється фракція піску розміром 0,75 – 1,0 мм. Виділення відповідної фракції досягається методом відсіву через сітки з відповідним розміром чарунки. Далі поводитьься процес змішування з епоксидним составом з подальшим формуванням фільтроелементу.

11. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОЛІМЕРБЕТОННИХ ФІЛЬТРОЕЛЕМЕНТІВ

Для виготовлення полімербетонних фільтроелементів розроблено і виготовлено комплект технологічного обладнання до складу якого входять гідравлічний прес, прес-форми та допоміжна технологічна оснастка.

Гідравлічний прес (рис. 11.1). Гідравлічний прес призначається для формування однорідної структури матеріалу фільтра. Прес включає в себе: бак; ручний насос; силовий циліндр; чотириходовий двопозиційний кран; манометр; фільтр для очистки робочої рідини преса. Робочим органом преса є силовий циліндр, який забезпечує зусилля пресування до двох тон, що дозволяє виготовляти фільтроелементи практично всіх типорозмірів. Чотириходовий двопозиційний кран направляє робочу рідину в різні порожнини циліндру, що забезпечує зворотно поступальний хід штока.

Тиск в гідравлічній системі пресу створюється за допомогою ручного насосу НР-01.

Гідравлічний прес укомплектовано агрегатами авіаційних гідросистем.

Основні характеристики гідравлічного пресу:

- робоча рідина – АМГ 10;
- робочий тиск – 22,5 МПа
- хода штока – 200мм;
- робоче зусилля – 2000 кг;

- зусилля на ручці насоса (не більше) – 20 кг
- габаритні розміри – 1000x1100x500 мм;
- маса – 70 кг.

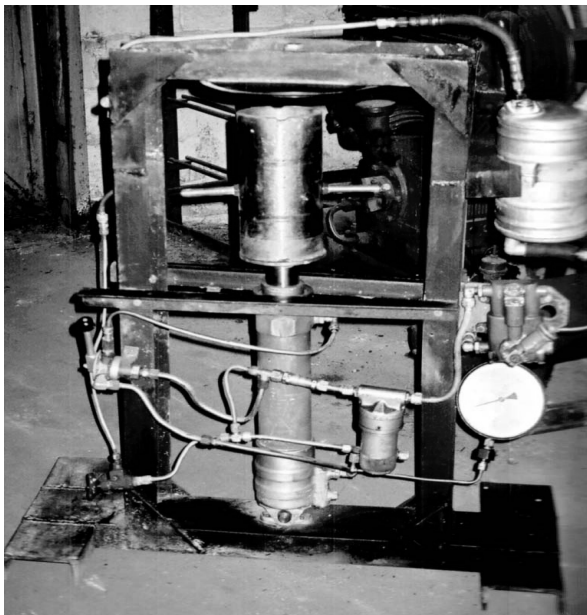


Рис. 11.1. Гідравлічний прес для формування полімербетонних фільтроелементів

Комплект прес форм (рис. 11.2) дозволяє формувати фільтроелементи двох типорозмірів.



Рис. 11.2. Комплект прес-форм для виготовлення фільтроелементів

За допомогою розробленого обладнання виготовлено дослідні зразки полімербетонних фільтроелементів двох типорозмірів (рис. 11.3).

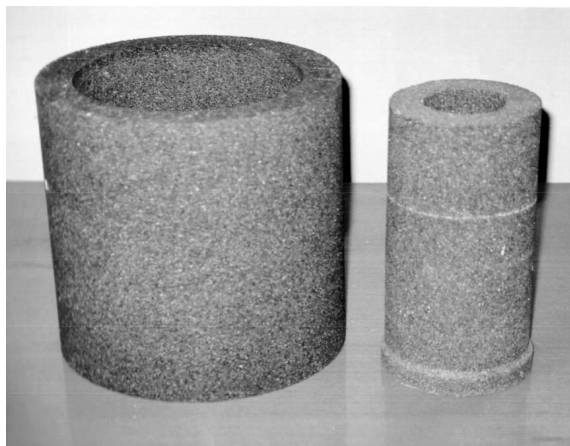


Рис. 11.3. Дослідні зразки фільтроелементів

12. ВИПРОБУВАННЯ ПОЛІМЕРБЕТОННИХ ФІЛЬТРОЕЛЕМЕНТІВ

Для проведення досліджень виготовлено корпус полімербетонного фільтра, зовнішній вид якого наведено на рисунку 12.1.



Рис. 12.1. Дослідний зразок полімербетонного фільтра

Корпус дослідного зразка полімербетонного фільтра (рис. 12.2) складається з корпусу 5, кришок 3 і 4, шпилек 7 і 13, штуцерів 9 і 10, опор і других деталей.

Така конструкція корпусу дозволяє проводити дослідження гідравлічних характеристик фільтра та визначити його термін служби.

12.1. Випробування фільтроелемента

Об'єктом дослідження є фільтроелемент (рис 12.3), який являє собою полімербетонний циліндр з зовнішнім діаметром 180 мм, внутрішнім діаметром 126 мм, висотою 250 мм, площиною по середньому діаметру 153 мм – 0,12 м².

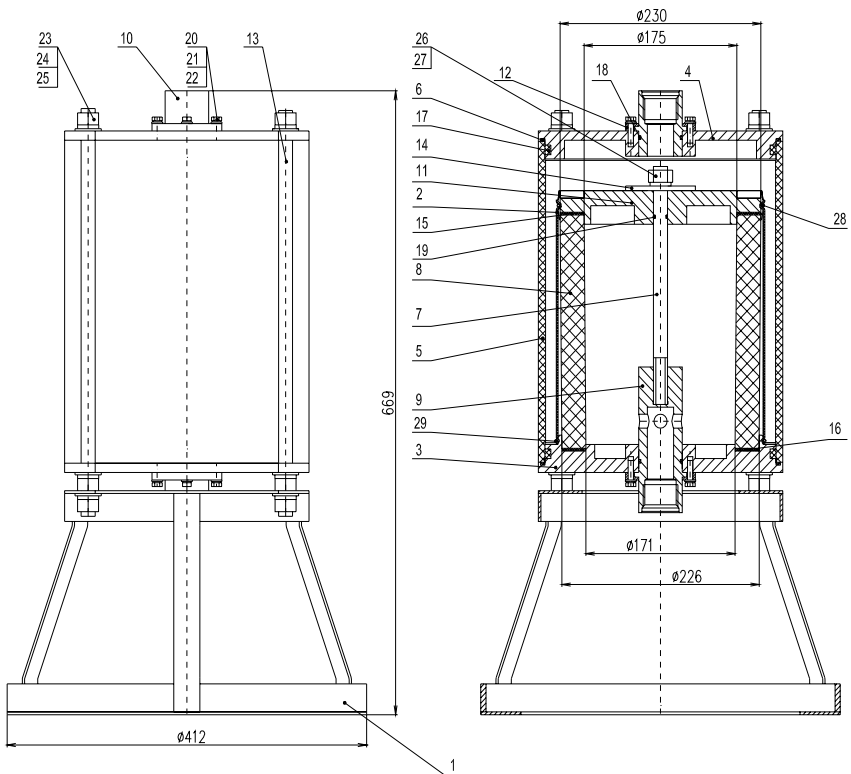


Рис. 12.2. Конструкція корпусу полімербетонного фільтра

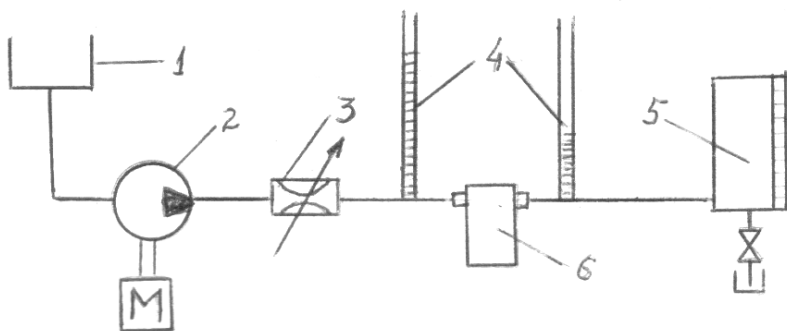


Рис. 12.3. Установка для визначення гідравлічних характеристик фільтрів: 1 – витратний бак; 2 – відцентровий насос; 3 – дросельний кран; 4 - п'езометри; 5 - мірний бак; 6 - фільтр

12.1.1. Обладнання та методика досліджень

Гідравлічні характеристики. Однією з найважливіших характеристик фільтроелементів є залежність витрати рідини від перепаду тиску – витратна характеристика. Для визначення гідравлічних характеристик фільтроелемента була застосована установка, принципова схема якої наведена на рис.12.3.

Експериментальна установка включає в себе витратний бак 1, відцентровий насос 2, дросельний кран 3, п'езометри 4, мірний бак 5, фільтр, який є предметом дослідження 6. Вимірювання тиску при проведенні експерименту здійснювалось за допомогою п'езометрів. Витрати рідини вимірювались об'ємним методом за допомогою мірного бака та секундоміра.

Експеримент провадився в такій послідовності: за допомогою дросельного крану 3 на п'езометрах встановлювався фіксований перепад тиску Δp після чого провадився замір витрати рідини.

Були проведені дослідження тонкості фільтрації фільтроелемента. Для проведення експерименту використовувався природний забруднювач з частинками від 5 до 100 мкм, спеціальні стаканчики з дном з полірованого скла і мікроскоп для заміру розміру частинок забруднення.

Проводились також дослідження грязеемності фільтра в процесі його роботи разом з обладнанням для струменевої очистки.

12.1.2. Результати досліджень

На рис. 12.4. наведено гідравлічну характеристику фільтра з полімербетонним фільтроелементом. Дослідження показали, що характеристика $Q=f(p)$ є лінійною, що вказує на ламінарність течії в порах фільтру.

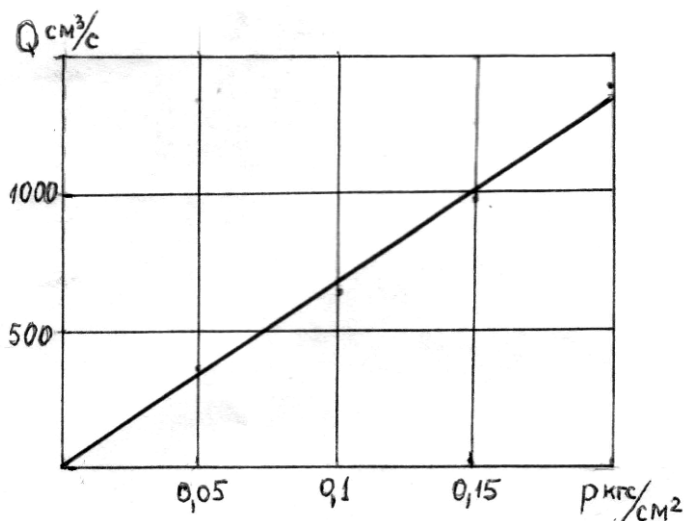


Рис. 12.4 Витратна характеристика полімербетонного фільтроелемента

Дослідження також показали, що тонкість фільтрації полімербетонного фільтру є 28 – 30 мікронів.

Проведенні дослідження по визначенню терміна роботи полімербетонного фільтроелемента на забрудненій рідині показали що фільтроелемент має велику грязе ємність і продовжує зберігати допустимі гідравлічні характеристики навіть при сильному забрудненні (см. Зовнішній вигляд забрудненого фільтроелемента наведений на рис 12.5 і 12.6.

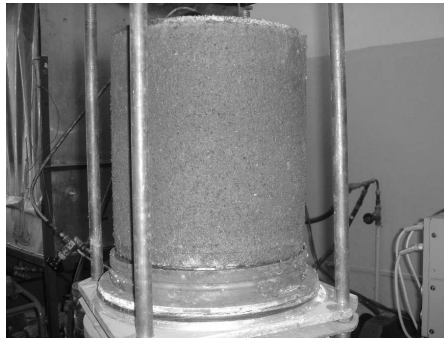


Рис. 12.5. Зовнішній вигляд забрудненого фільтроелемента



Рис. 12.6. Фрагмент забрудненого полімербетонного фільтроелемента

Актуальною проблемою завжди являється регенерація фільтроелементів. Були проведені дослідження по регенерації полімербетонних фільтроелементів з допомогою зворотного току води. Гідравлічні характеристики були поновлені практично повністю. Фрагмент полімербетонного фільтроелемента після регенерації наведено на рис. 12.7.

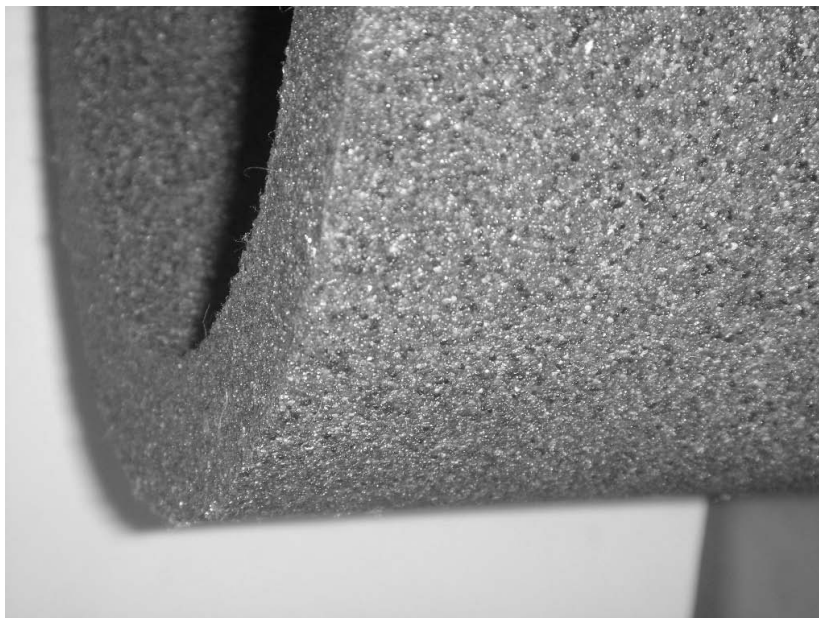


Рис. 12.7. Фрагмент регенованого полімербетонного фільтроелемента

13. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ І ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФІЛЬТРІВ

В основу фільтрації покладений процес відділення твердих частинок шляхом пропускання забрудненої рідини через пористу перегородку /23, 33, 35,38/.

За способом утримання забруднюючих домішок фільтри поділяються на поверхневі і об'ємні. Поверхневі фільтри утримують тверді частинки на поверхні фільтруючих елементів, причому утримують тільки ті частинки, лінійні розміри яких перевищують розміри парових каналів фільтруючого матеріалу або чарунок сітки.

Об'ємні фільтри, маючи фільтруючі елементи значної товщини, утримують сторонні частинки не тільки на поверхні, але і також в товщі фільтруючого матеріалу.

Однією з найважливіших характеристик фільтра є термін його служби між очищеннями і заміною фільтруючих елементів /35/. Цей термін визначається інтенсивністю блокування пор фільтроелементу частинками забруднювача і зниженням його пропускної спроможності. Останнє, у разі потреби підтримки постійної витрати рідини через фільтр, приводить до збільшення перепаду тиску на фільтроелементі. Зростання перепаду тиску, у свою чергу, може привести до руйнування фільтроелемента, і в більшості фільтрів щоб уникнути цього, передбачений перепускний клапан, який, досягнувши певного перепаду тиску, відкривається, і рідина починає циркулювати в гідросистемі в обхід фільтроелемента.

Термін служби конкретного фільтроелемента визначається експериментально, а також розраховується по формулах, в яких використовуються коефіцієнти, отримані експериментально для конкретного фільтроелемента, проте, проведення експерименту дуже складна і громіздка процедура, оскільки в експерименті складно створити такі умови, які забезпечили б повторюваність результату. Це, у свою чергу, відносить результати експерименту лише до можливих. В цій роботі пропонується термін служби фільтру заздалегідь розраховувати теоретично, без проведення проміжних експериментів, які все одно не дають повного уявлення про процес фільтрації, що спростить процедуру розрахунку фільтру /36/.

Задачею даного дослідження було отримати залежність перепаду тиску на фільтроелементі від часу, припускаючи що:

- частинки забруднення розподілені в рідині рівномірно;
- в порах фільтроелемента затримуються тільки ті частинки, лінійні розміри яких перевищують розміри пор.

Хай відома функція розподілу числа пор фільтроелемента від відповідного їм розміру $f(i)$ чистого фільтроелемента, де t і m межі розподілу, тобто значення t відповідає розміру мінімальної пори, а значення m розміру максимальної пори (рис.13.1).

$$t := 8 \quad m := 12$$

$$f(i) := \text{if}(t < i < m, 1.625 \cdot 10^7 \cdot i^4 + -6.5 \cdot 10^8 \cdot i^3 + 9.62575 \cdot 10^9 \cdot i^2 + -6.2515 \cdot 10^{10} \cdot i + 1.50312 \cdot 10^{11}, 0)$$

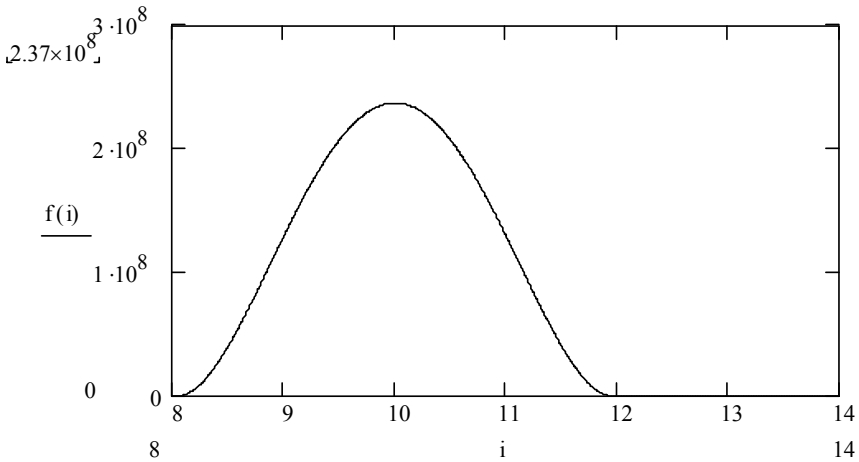


Рис. 13.1. Функція розподілу числа пор фільтроелемента від відповідного їм розміру

Нехай задана функція розподілу числа частинок забруднення в рідині що поступає на фільтроелемент від відповідного їм розміру $\phi(i)$, обмежена значенням розміру максимальної частинки забруднення r , що знаходиться в рідині.

$$\phi(i) := 148.7760417 \cdot i^4 + -9.4026458 \times 10^3 \cdot i^3 + 2.3149552 \times 10^5 \cdot i^2 + -2.8403132 \times 10^6 \cdot i + 1.5625055 \times 10^7$$

$$r := 20$$

де i - значення діаметрального розміру пори або частинки забруднення в мкм.

Інтеграл з цих функцій, обмежений певними розмірами, дає значення числа пор або частинок забруднення, розміри яких відповідають даному діапазону, відповідно:

$$\int_5^{10} \phi(i) di = 1.998 \times 10^7 \text{-число частинок забруднення розміром від 5 до 10 мкм в } 1\text{м}^3 \text{ рідини}$$

$$\int_{10}^{20} \phi(i) di = 1 \times 10^7 \quad \text{-число частинок забруднення розміром від 10 до 20 мкм в 1м³ рідини}$$

Рідина відповідає 7 класу чистоти по ГОСТ 17216 – 2001

(рис.13.2).

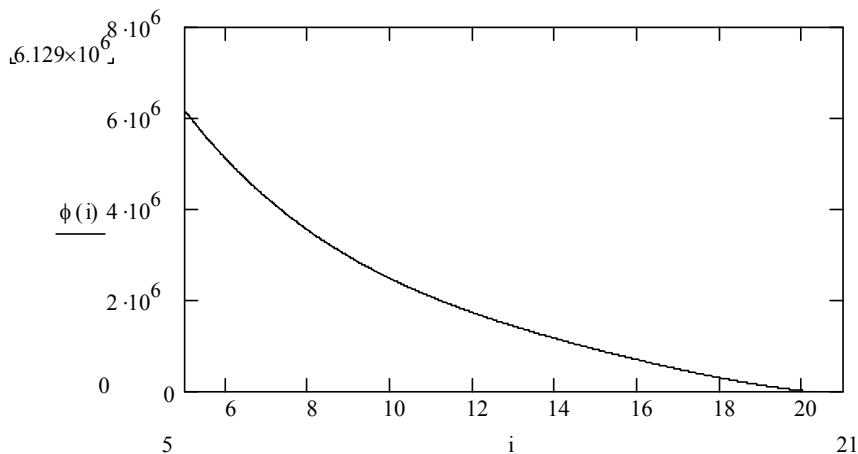


Рис. 13.2. Функція розподілу числа частинок забруднення в рідині, що поступає на фільтроелемент від відповідного їм розміру

Скористаємося для об'ємних фільтрів формулою отриманою Альтшулем А. Д. [1]

$$Q = \frac{mr^2}{8\mu} \frac{\Delta p}{\ell} \omega \phi$$

де Q - витрата рідини;

$\omega \phi$ - площа фільтроелементу;

Δp - перепад тиску на фільтрі;

ℓ - довжина порового каналу;

μ - в'язкість рідини;

r - радіус порового каналу;

m - пористість матеріалу (відношення суми об'ємів пор до всього об'єму матеріалу).

Для опису фільтрації прийнято користуватися поняттям "ідеального матеріалу", тобто такого матеріалу, перетини капілярних каналів якого приймаються циліндровими, а самі канали паралельні між собою. Тоді можемо прийняти, що пористість матеріалу дорівнює відношенню площі пор фільтроелемента до всієї площі фільтроелементу

$$m = \frac{\omega}{\omega_{\phi}}$$

Підставивши це рівняння у формулу, отримаємо

$$Q = \frac{r^2 \Delta p \omega}{8 \mu \ell}$$

Оскільки це рівняння справедливо тільки для пор з однаковими радіусами, то витрату рідини через фільтроелемент представимо як суму витрат через площі пор відповідних розмірів, тобто

$$Q = \sum_{i=1}^m Q_i$$

де Q_i – витрата рідини через пори i -го розміру.

$$Q_i = \frac{r_i^2 \Delta p \omega_i}{8 \mu \ell} = \frac{i^2}{4} \Delta p \frac{n_i \cdot \pi \cdot i^2}{4} = \frac{\pi \cdot n_i \Delta p \cdot i^4}{128 \mu \ell}$$

де ω_i - площа всіх пор i -го розміру; n_i – число пор i -го розміру. Тоді витрата рідини через увесь фільтроелемент дорівнює:

$$Q = \frac{\pi \cdot \Delta p}{128 \mu \ell} \cdot \sum_{i=t}^m n_i \cdot i^4 . \quad (13.1)$$

В даному рівнянні величина n_i залежатиме не тільки від діаметрального розміру пори, але також і від об'єму рідини минулої через фільтроелемент, оскільки в процесі фільтрації йде поступова закупорка пор.

Відносний об'єм рідини, що приходиться на пори певного розміру, або ж вірогідність попадання частинок забруднення в пору відповідного розміру, буде дорівнювати відношенню витрати рідини через пори відповідного розміру до загальної витрати через фільтроелемент

$$p_i = \frac{Q_i}{Q} = \frac{n_i \cdot i^4}{\sum_{i=t}^m n_i \cdot i^4} .$$

Число частинок, здатних заблокувати пори відповідного розміру, тобто число частинок, лінійні розміри яких перевищують розмір відповідних пор, в одиниці об'єму рідини можна представити як інтеграл функції $\phi(i)$ з межами інтеграції від i до r . Помноження цього інтеграла на елементарний об'єм рідини dV , дасть нам число відповідних частинок забруднення в елементарному об'ємі рідини. Помноживши це число частинок на вірогідність попадання частинок забруднення в пору відповідного розміру, отримаємо зміну числа пор відповідного розміру

$$dn_i = - \frac{n_i \cdot i^4}{\sum_{i=t}^m n_i \cdot i^4} \int_i^r \phi(i) di \cdot dV. \quad (13.2)$$

Відношення $\frac{dV}{\sum_{i=t}^m n_i \cdot i^4}$ буде однакове для всіх пор

фільтроелемента, тому можемо записати:

$$\frac{dn_i}{n_i \cdot i^4 \cdot \int_i^r \phi(i) di} = \frac{dn_t}{n_t \cdot t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di}$$

де n_t - число пор мінімального розміру.

Проінтегрувати даний вираз, отримаємо:

$$\frac{\ln(n_i \cdot C_1)}{i^4 \cdot \int_i^r \phi(i) di} = \frac{\ln n_t}{t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di},$$

де C_1 - константа інтеграції.

Виразимо число пор n_i через n_t :

$$n_i = \frac{n_t \cdot \frac{i^4 \cdot \int_i^r \phi(i) di}{i}}{C_1 \cdot \frac{t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di}{t}}.$$

Значення константи C_1 знайдемо з початкових умов

$$C_1 = \frac{\frac{i^4 \cdot \int_r \phi(i) di}{i}}{\frac{t^4 \cdot \int_t \phi(i) di}{t}}, \frac{n_t^0}{n_i^0},$$

де n_i^0 - число пор i -го розміру в початковий момент часу, тобто чистого фільтру, n_t^0 - число пор мінімального розміру в початковий момент часу.

Звідси

$$n_i = n_i^0 \left(\frac{\frac{i^4 \cdot \int_r \phi(i) di}{i}}{\frac{t^4 \cdot \int_t \phi(i) di}{t}} \cdot \frac{n_t}{n_t^0} \right)$$

Представимо значення $\frac{n_t}{n_t^0}$ у вигляді безрозмірного параметра,

що характеризує чистоту фільтроелемента $\eta = \frac{n_t}{n_t^0}$, відповідно

в початковий момент часу він дорівнює одиниці, а при повній закупорці фільтроелементу рівний нулю. Тоді:

$$n_i = n_i^0 \cdot \eta \frac{i^4 \cdot \int_r \phi(i) di}{t^4 \cdot \int_t \phi(i) di} \quad (13.3)$$

Число пор i – го розміру в початковий момент часу можна представити як

$$n_i^0 = f(i) di .$$

Тоді рівняння (9.3) прийме вигляд:

$$n_i = \eta \frac{i^4 \cdot \int_r \phi(i) di}{t^4 \cdot \int_t \phi(i) di} \cdot f(i) \cdot di \quad (13.4).$$

Підставивши в рівняння (13.1) рівняння (13.4), замінивши суму інтегралом з межами від t до m , отримаємо:

$$Q = \frac{\pi \cdot \Delta p}{128 \mu l} \cdot \int_t^m i^4 \cdot \eta \frac{i^4 \cdot \int_r \phi(i) di}{t^4 \cdot \int_t \phi(i) di} \cdot f(i) \cdot di .$$

Перетворивши це рівняння щодо перепаду тиску Δp , отримаємо:

$$\Delta p = \frac{128 \cdot \mu \cdot \ell \cdot Q}{i^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot \frac{\pi \cdot \int_t^m i^4 \cdot f(i) \cdot \eta^t \cdot di}{t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \quad (13.5)$$

Підставивши рівняння (13.4) в рівняння (13.2), розглянувши при цьому замість пор i -го розміру пори мінімального розміру, отримаємо

$$d(n_t^o \cdot \eta) = - \frac{n_t^o \cdot \eta \cdot t^4}{i^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot \frac{\int_t^m f(i) \cdot i^4 \cdot \eta^t \cdot di}{t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot \int_t^r \phi(i) di \cdot dV,$$

Оскільки значення n_t^o є постійним, то його значення в лівій і правій частині скорочуються і, виразивши звідси dV , отримаємо:

$$dV = - \frac{1}{t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot \frac{d\eta}{\eta} \cdot \int_t^m f(i) \cdot i^4 \cdot \eta^t \cdot di \cdot \frac{\int_t^r \phi(i) di}{t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot di.$$

Оскільки значення $t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di$ є постійним, і значення $\frac{d\eta}{\eta}$

не є функцією від i , то можемо ці значення занести під знак інтеграла, отримаємо:

$$dV = - \int_t^m \frac{1}{t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot \frac{d\eta}{\eta} \cdot f(i) \cdot i^4 \cdot \eta \cdot \frac{i^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di}{i^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot di$$

Проінтегрувавши ліву частину по dV , а праву частину по $d\eta$, отримаємо:

$$V = C_0 - \int_t^m \frac{1}{r \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot f(i) \cdot \eta \cdot \frac{i^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di}{i^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot di$$

де C_0 - константа інтеграції.

Підставивши початкові умови, отримаємо:

$$V = \int_t^m \frac{f(i)}{r} \cdot \left(1 - \eta \frac{i^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di}{t \int_t^r \phi(i) di} \right) \cdot di \quad (14.6)$$

Так, через проміжну величину, отримали залежність перепаду тиску на об'ємному фільтроелементі від об'єму пропущеної рідини (рівняння (13.5), (13.6)) для "ідеального матеріалу".

Для поверхневого фільтру скористаємося загальновідомою формулою

$$Q = \mu_o \cdot \omega \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

де μ_o - коефіцієнт витрати;

ρ - густина рідини;

ω - площа пор фільтру.

Відносний об'єм рідини, що доводиться на пори певного розміру, для поверхневого фільтру, буде рівний:

$$p_i = \frac{Q_i}{Q} = \frac{\omega_i}{\omega} = \frac{n_i \cdot i^2}{\sum_{i=t}^m n_i \cdot i^2}.$$

Провівши аналогічні перетворення, що і для об'ємного фільтру, у результаті отримаємо:

$$\Delta p = \frac{8 \cdot \rho \cdot Q^2}{\left(\mu_o^2 \cdot \pi^2 \cdot \int_t^m f(i) \cdot i^2 \cdot \eta \left(\frac{i^2 \cdot \int_r^i \phi(i) di}{i} \cdot \frac{t^2 \cdot \int_r^i \phi(i) di}{t} \right) \cdot di \right)^2} \quad (13.7)$$

$$V = \int_t^m \frac{f(i)}{\int_r^i \phi(i) di} \cdot \left(1 - \eta \left(\frac{i^2 \cdot \int_r^i \phi(i) di}{i} \cdot \frac{t^2 \cdot \int_r^i \phi(i) di}{t} \right) \right) \cdot di \quad (13.8)$$

Так, через проміжну величину η , отримали залежність перепаду тиску на поверхневому фільтрі від об'єму пропущеної рідини (рівняння (13.7) і (13.8)).

Якщо значення витрати в системі підтримується постійним, то час фільтрації буде пропорційний об'єму пропущеної рідини:

$$T = \frac{V}{Q} . \quad (13.9)$$

Обмеживши перепад тиску на фільтрі якимсь максимальним значенням, ми можемо по формулі (13.5) (або (13.7)), дивлячись який фільтр розглядається), знайти значення проміжної величини η , відповідної даному перепаду, підставити її у формулу (13.6) (або (13.8)), тим самим знайдемо значення об'єму профільтрованої рідини і, підставивши значення об'єму у формулу (13.9) термін служби фільтру.

Якщо ж витрата рідини в системі не підтримується постійною, то необхідно знати, як міняється витрата в системі, при установці місцевого опору з будь-яким перепадом Δp . Маючи дану функцію $\Delta p = f(Q)_{сист}$ і функцію для фільтру $\Delta p = f_1(V, Q)$, ми, при кожному значенні об'єму пропущеної рідини V , одержуємо два рівняння з двома невідомими, і, вирішуючи їх спільно, одержуємо залежність $\Delta p = f_2(V)$ і $Q = f_3(V)$.

Маючи залежність $Q = f_3(V)$ (або ж, якщо дана функція знаходилася по точках, функцію еквівалентної кривої), час фільтрації залежно від об'єму пропущеної рідини, можемо знайти по формулі:

$$T = \int_0^V \frac{dV}{f_3(V)} . \quad (13.10)$$

Розділимо формулу (13.5) і (13.7) на їх значення в початковий момент часу, припускаючи, що витрата підтримується постій-

ною. Отримаємо залежність безрозмірної величини перепаду тиску, на об'ємному $\Delta p'_{об}$ і поверхневому $\Delta p'_{нов}$ фільтрі, від значення безрозмірного параметра характеризуючого чистоту фільтроелемента.

Побудуємо за допомогою MathCAD залежність безрозмірної величини перепаду тиску від об'єму пропущеної рідини для об'ємного і поверхневого фільтру за однакових умов:

$$\eta := 0.05, 0.1 \dots 1 \quad \Delta p'_{об}(\eta) := \frac{\int_t^m f(i) \cdot i^4 \, di}{\int_t^m \frac{i^4 \cdot \int_i^r \phi(i) \, di}{t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) \, di} \, di}$$

$$V_{об}(\eta) := \int_t^m \frac{f(i)}{\int_i^r \phi(i) \, di} \cdot \left(1 - \eta \cdot \frac{i^4 \cdot \int_i^r \phi(i) \, di}{t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) \, di} \right) di \quad \begin{array}{l} \text{-об'єм рідини що пройшла че-} \\ \text{рез об'ємний} \\ \text{фільтроелемент} \\ \text{в м}^3 \end{array}$$

$$\Delta p'_{\text{ПОВ}}(\eta) := \left(\frac{\int_t^m f(i) \cdot i^2 \, di}{\int_t^m \frac{i^2 \cdot \int_i^r \phi(i) \, di}{t^2 \cdot \int_t^r \phi(i) \, di} \, di} \right)^2$$

$$V_{\text{ПОВ}}(\eta) := \int_t^m \frac{f(i)}{\int_i^r \phi(i) \, di} \cdot \left(1 - \eta \frac{i^2 \cdot \int_i^r \phi(i) \, di}{t^2 \cdot \int_t^r \phi(i) \, di} \right) di \quad \text{-об'єм рідини що пройшла через поверхневий фільтроелемент в м}^3$$

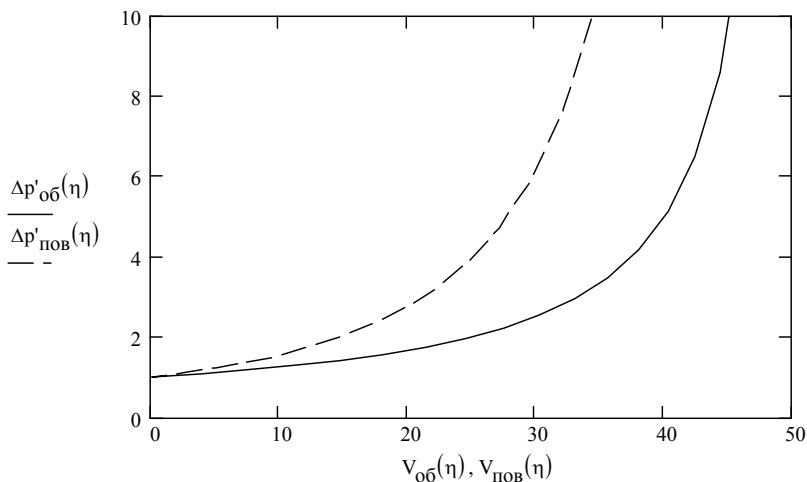


Рис. 13.3. Графік зміни безрозмірної величини перепаду тиску об'ємного і поверхневого фільтру залежно від об'єму пропущеної рідини

Як видно з графіка (рис.13.3), на поверхневому фільтроелементі перепад тиску росте більш швидше, ніж у об'ємного фільтроелемента. Це зв'язано з тим, що у об'ємного фільтроелемента перепад тиску практично обернено пропорційний площі пор, а у поверхневого фільтроелемента обернено пропорційний квадрату площі пор, і цей квадрат дає більш швидке зростання перепаду тиску при поступовому зменшенні площі пор.

Площу пор фільтроелемента можна представити як суму площ всіх пор:

$$\omega = \sum_{i=t}^m \left(n_i \cdot \frac{\pi \cdot i^2}{4} \right).$$

Для об'ємного фільтру площу пор знаходитимемо по формулі:

$$\omega_{об} = \frac{\pi}{4 \cdot 10^{12}} \cdot \int_t^m f(i) \cdot i^2 \cdot \eta \cdot \frac{i^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di}{i \cdot t^4 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot di .$$

Додаткове ділення на 10^{12} пов'язано з переведенням площі з мкм^2 в м^2 .

Для поверхневого фільтру формула для знаходження площі пор матиме вигляд:

$$\omega_{нов} = \frac{\pi}{4 \cdot 10^{12}} \cdot \int_t^m f(i) \cdot i^2 \cdot \eta \cdot \frac{i^2 \cdot \int_t^r \phi(i) di}{i \cdot t^2 \cdot \int_t^r \phi(i) di} \cdot di .$$

Побудуємо графік зміни площі пор фільтроелемента від об'єму пропущеної рідини для об'ємного і поверхневого фільтру за однакових умов (рис.13.4).

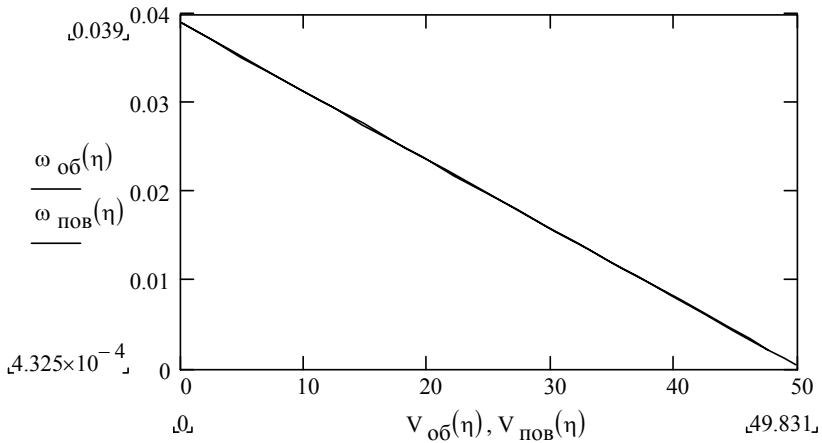


Рис. 13.4. Графік залежності площі пор в м² від об'єму минулої рідини в м³ для об'ємного і поверхневого фільтру

Як бачимо, зміна площі пор, що у об'ємного так і у поверхневого фільтру, від об'єму пропущеної рідини практично однакова, проте треба уточнити, що хоч у об'ємного фільтроелемента частинки забруднення затримуються також і по глибині фільтроелемента, але, враховуючи те що звичайно матеріал об'ємного фільтроелемента однорідний по глибині, його торцева частина блокуватиметься частинками забруднення швидше, ніж по всій глибині, тому загальну площу пор визначаємо за його торцевою площею.

Функцію розподілу числа частинок забруднення за фільтроелементом, тобто в профільтованій рідині, можна визначити, узявши функцію розподілу числа частинок забруднення на вході $\phi(i)$ і помноживши її на вірогідність попадання частинки i -го розміру в пори більшого розміру. Для об'ємного фільтру запишемо:

$$\phi_{об}^n(i) = \frac{\int_t^m f(i) \cdot i^4 \cdot \eta^t \cdot di}{\frac{i^4 \cdot \int_0^r \phi(i) di}{i}} \cdot \phi(i)$$

де $\phi_{об}^n(i)$ - функція розподілу числа частинок забруднення в профільтованій об'ємним фільтром рідині.

Для поверхневого фільтроелемента функція розподілу числа частинок забруднення в профільтованій рідині $\phi_{нов}^n(i)$:

$$\phi_{нов}^n(i) = \frac{\int_t^m f(i) \cdot i^2 \cdot \eta^t \cdot di}{\frac{i^2 \cdot \int_0^r \phi(i) di}{i}} \cdot \phi(i)$$

Як видно, присутність безрозмірного параметра характеризує чистоту фільтроелемента вказує на те, що ця функція міняється залежно від об'єму профільтрованої рідини.

Для якісної оцінки фільтру користуються поняттям тонкості очищення. Тонкість очищення характеризується мінімальними розмірами частинок забруднюючих домішок, які утримуються очищувачем. Тонкість очищення визначається коефіцієнтом відфільтрування:

$$\psi = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

де n_1 - число частинок забруднювача даного розміру в пробі не фільтрованої рідини;

n_2 - число частинок забруднювача того ж розміру в пробі рідини після фільтрації.

В даному випадку ми розглядаємо об'ємний і поверхневий фільтри з тонкістю очищення 10 мкм, а реальний розподіл пор фільтроелемента від 8 до 12 мкм зв'язано з тим, що неможливо виготовити фільтроелемент з однаковими розмірами пор, завжди існує якийсь розподіл і в розрахунках його треба враховувати.

Коефіцієнт відфільтрування частинок, розміри яких перевищують значення тонкості очищення, в даному випадку 10 мкм, можна знайти як відношення числа частинок від значення $(t+m)/2$ до r затриманих фільтром на число частинок в цьому ж діапазоні що поступають на фільтроелемент. Для об'ємного фільтроелемента формула матиме вигляд:

$$\psi_{об} = \frac{\int_{\frac{t+m}{2}}^r \phi(i) di - \int_{\frac{t+m}{2}}^r \phi_{об}^n di}{\int_{\frac{t+m}{2}}^r \phi(i) di} = 1 - \frac{\int_{\frac{t+m}{2}}^r \phi_{об}^n di}{\int_{\frac{t+m}{2}}^r \phi(i) di},$$

для поверхневого фільтроелемента:

$$\psi_{нов} = 1 - \frac{\int_{\frac{t+m}{2}}^r \phi_{нов}^n di}{\int_{\frac{t+m}{2}}^r \phi(i) di}.$$

Оскільки функція розподілу числа частинок забруднення за фільтроелементом $\phi_{об}^n(i)$, або $\phi_{нов}^n(i)$, залежить від об'єму профільтрованої рідини то, коефіцієнт відфільтрування також залежить від об'єму профільтрованої рідини. Побудуємо графік зміни коефіцієнта відфільтрування від об'єму профільтрованої рідини для об'ємного і поверхневого фільтроелемента (рис.13.5).

Порівнюючи два фільтроелемента, бачимо, що коефіцієнт відфільтрування у об'ємного фільтроелемента вище, ніж у поверхневого. Це пов'язано з пропорційністю витрати рідини квадрату площі пори в об'ємному фільтроелементі, на відміну від поверхневого, де витрата прямо пропорційна значенню площі пори фільтроелемента. Виходить, що у об'ємного фільтроелемента об'єм рідини,

що проходить через пори більшого розміру, більше, ніж у поверхневого, що збільшує число частинок забруднення що доводяться на них і підвищує вірогідність більш швидкого блокування цих пор, тим самим перешкоджаючи проході через ці пори частинок меншого розміру, порівняно з поверхневим.

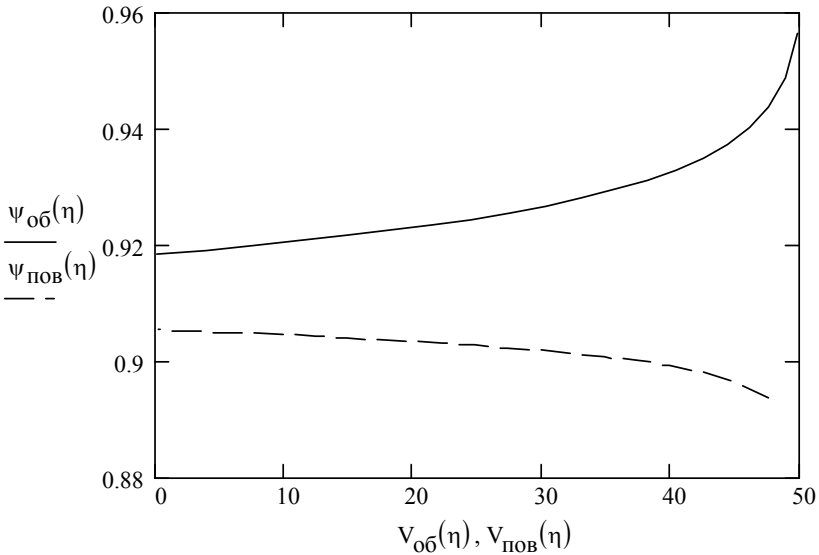


Рис. 13.5 Графік зміни коефіцієнта відфільтрування об'ємного і поверхневого фільтроелемента від об'єму пропущеної рідини за однакових умов

Як бачимо, коефіцієнт відфільтрування може як рости, так і зменшуватися в процесі фільтрації рідини. Зростання, або зниження коефіцієнта відфільтрування, пов'язано із значенням тонкості очищення фільтроелемента вживаної до певного класу чистоти рідини. Існує певне значення тонкості очищення, при якому коефіцієнт відфільтрування постійний і, як видно, це значен-

ня у поверхневого фільтроелемента трохи нижче, ніж у об'ємного, за однакових умов.

Розглянемо зміну коефіцієнта відфільтровування об'ємного фільтру при фільтрації однієї і тієї ж рідини через однакову площу пор фільтроелемента, але з різними значеннями тонкості очищення фільтроелемента: 10, 12 і 14 мкм (рис.13.6).

Зростання або зниження обумовлюється співвідношенням числа частинок забруднення перевищуючих розміри максимальної пори до числа частинок забруднення, чиї розміри знаходяться в інтервалі мінімальної і максимальної пори. Чим більше це співвідношення, тим інтенсивніше блокуються пори більшого розміру, зважаючи на те що їх великі лінійні розміри забезпечують більшу витрату рідини через них, а пропорційність витрати рідини, в об'ємному фільтроелементі, квадрату площі пори забезпечує більш раннє перевищення швидкості блокування пор більшого розміру швидкості блокування пор меншого розміру, в порівнянні з поверхневим. У результаті, збільшення швидкості блокування пор більшого розміру, приводить до збільшення швидкості зменшення числа пор більшого розміру, в порівнянні з порами меншого розміру, і до зсуву значення тонкості очищення в меншу сторону, що у свою чергу приводить до зростання коефіцієнта відфільтровування.

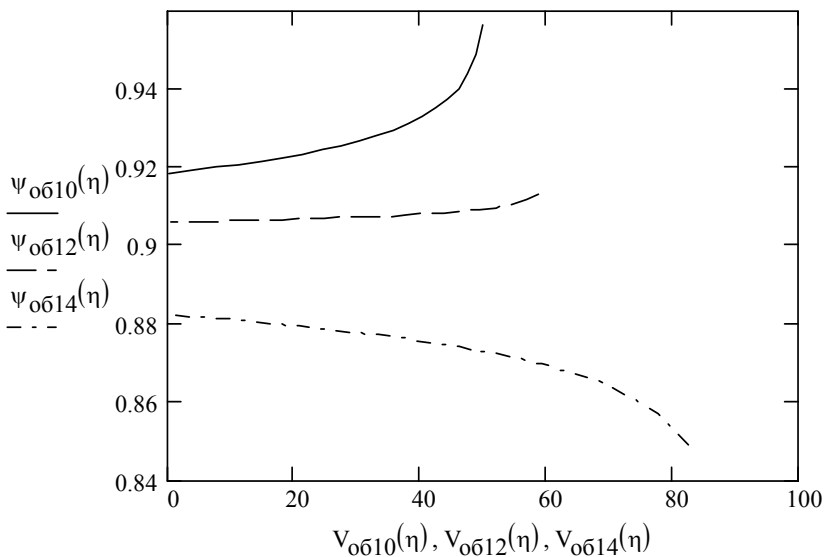


Рис. 13.6. Графік зміни коефіцієнтів відфільтрування об'ємних фільтроелементів з різними значеннями тонкості очищення

Приведена в цьому розділі методика дозволяє побудувати графік залежності перепаду тиску на фільтроелементі від часу і, задавшись якимсь максимальним значенням перепаду тиску на фільтроелементі, визначити термін служби фільтру. Також використовуючи приведену методику можна побудувати графік зміни витрати через фільтр залежно від часу, можна визначити залежність коефіцієнта відфільтрування від об'єму минулої рідини або ж від часу, додатково використовуючи формулу (13.10).

Порівняльний аналіз об'ємного і поверхневого фільтроелемента, приведений в даній роботі, підтверджує перевагу першого по терміну служби фільтроелемента, коефіцієнту відфільтрування і динаміці його зміни.

14. ГІДРОДИНАМІЧНІ ФІЛЬТРИ

Основним елементом схеми системи очищення води, що забезпечує необхідну тонкість фільтрації, є фільтр з полімербетонним фільтроелементом. Однак при значній забрудненості води можливе швидке його засорення, що робить необхідним його заміну або регенерацію.

Зменшення перепаду тиску на фільтроелементі, підвищення тонкості очищення рідини, запобігання його забиття, а відповідно забезпечення саморегенерації може бути досягнуто за умов, якщо через пори фільтроелемента будуть проходити частки, розмір яких значно менше прохідного перерізу пори. Ці умови створюються на гідродинамічних фільтрах /20,21,22,23/.

Принцип дії гідродинамічного фільтра базується на тому, що частка бере участь у двох рухах: паралельно пористій поверхні фільтроелемента і під прямим кутом до неї уздовж пори. Якщо результуюча швидкість центру тяжіння частки в момент контакту її зі стінкою чарунки вище певної точки, то виникає момент сили, який вириває частку з чарунки, якщо лінія дії швидкості нижче цієї точки, частка пройде через фільтроелемент. Таким чином, є можливість відокремлення часток, діаметр яких більше розміру чарунок. Крім того, в гідродинамічних фільтрах за рахунок відповідного формування потоку рідини, що очищується, досягається ефект змиву часток забруднення, що осідають на поверхні фільтроелемента.

Фільтри, що працюють за цією схемою, розподіляються на дві групи: фільтри з розділенням часток за рахунок потоку рідини, деталі яких нерухомі в процесі роботи, і фільтри з розділенням часток за рахунок енергії, що підводиться від зовнішнього джерела, наприклад з обертовим або зворотно-поступальним рухом фільтроелемента від електричного пневматичного або електромагнітного привода.

Аналіз показав, що найбільш перспективною є перша схема роботи гідродинамічного фільтра. Перевагою її є відсутність у фільтрі рухомих частин, що обумовлює високу надійність пристрою і відсутність додаткових витрат енергії на їх привід. Відомо кілька варіантів конструкцій фільтрів, що працюють по цій схемі. Це пристрої в яких робоча рідина підводиться до фільтроелемента в поздовжньому або поперечному напрямку таким чином щоб створити потік, який омиває поверхню фільтроелемента. Недоліками цих конструкцій є неоптимальна організація потоку рідини і як слідство цього неповне використання фізичних процесів для ефективної роботи фільтра.

Розроблено конструкцію самоочисного гідродинамічного фільтра, схема якого показана на рис. 14.1. Фільтр містить циліндричний корпус 1 з кришкою 2 та дном 3, у якому з кільцевим зазором 4 розташований фільтроелемент 5 з пористого полімербетону. До верхньої частини бокової поверхні корпусу 1 тангенціально приєднаний вхідний патрубок 6, а до кришки 2 приєднано вихідний патрубок 7. До дна 3 корпусу 1 приєднаний корпус 8 з конусним дном 9 і дефлектором 16, які утворюють осаджувальну камеру 10.

Співвісна вхідному патрубку 6 приладнано ежектор 11, порожнина 12 зниженого тиску якого сполучена з вхідним патрубком 6 і циркуляційним трубопроводом 13, з верхньою частиною осаджувальної камери 10 і порожниною дефлектора 16, котрі у свою чергу сполучені з кільцевим зазором 4. У найнижчому місці осаджувальної камери 10 до її корпусу 8 приєднаний зливний патрубок 14 з запірним краном 15. Крім того, фільтр обладнаний манометрами 17 і 18, по показанням яких можливо судити про тиск рідини, яка очищується, і стан фільтроелемента.

Самоочисний фільтр працює таким чином.

Рідину, яку очищають, під тиском подають через ежектор 11 і вхідний патрубок 6 у корпус 1 фільтра тангенціально, де вона отримує круговий рух в кільцевому зазорі 4. Більша частина рідини фільтрується проходячи крізь фільтроелемент з пористого полімербетону до вихідного патрубка 7. Оскільки при вході в корпус рідина має постійну складову швидкості вздовж поверхні фільтроелементу, вона не дає можливості створитися осадку на поверхні фільтроелементу і утруднює попадання частинок забруднення в пори фільтроелементу, що значно підвищує термін роботи фільтроелементу.

Рух рідини через ежектор 11 створює у його порожнині 12 знижений тиск, завдяки чому очищувальна рідина із верхньої частини осаджувальної камери 10 через порожнину 12 та вхідний патрубок 6 разом з головним потоком очищувальної рідини поступає у корпус 1 і далі рухається за вище описаною схемою.

Через якійсь термін можливе засмічення фільтроелементу з пористого полімербетону 5. В цьому випадку має місце поступове збільшення перепаду тиску рідини, що контролюється манометрами 17 і 18. Коли перепад тиску рідини досягне заданого значення, то необхідно зробити регенерацію фільтроелемента 5. Це можливо зробити за рахунок організації зворотного току рідини через фільтроелемент 5, якщо очищувальну рідину направити до вихідного патрубку 7. Якщо гідравлічні характеристики таким чином відновити неможливо, то роботу фільтра зупиняють, зливають з нього рідину, знімають кришку 2 корпусу 1, виймають фільтроелемент 5 і замінюють його на новий. Після чого фільтр збирають у зворотному порядку.

Наявність осаджувальної камери 10 дозволяє додатково очищувати брудну рідину, що знижує кількість забруднень у циркуляційному трубопроводі 13, що підвищує ступінь очищення рідини.

Виконання корпусу 8 осаджувальної камери 10 з конусним дном забезпечує краще видалення забруднень із осаджувальної камери 10. Присутність дефлектору 16 дозволяє забезпечити забір максимально можливо очищеної рідини з приєднаного корпусу 8.

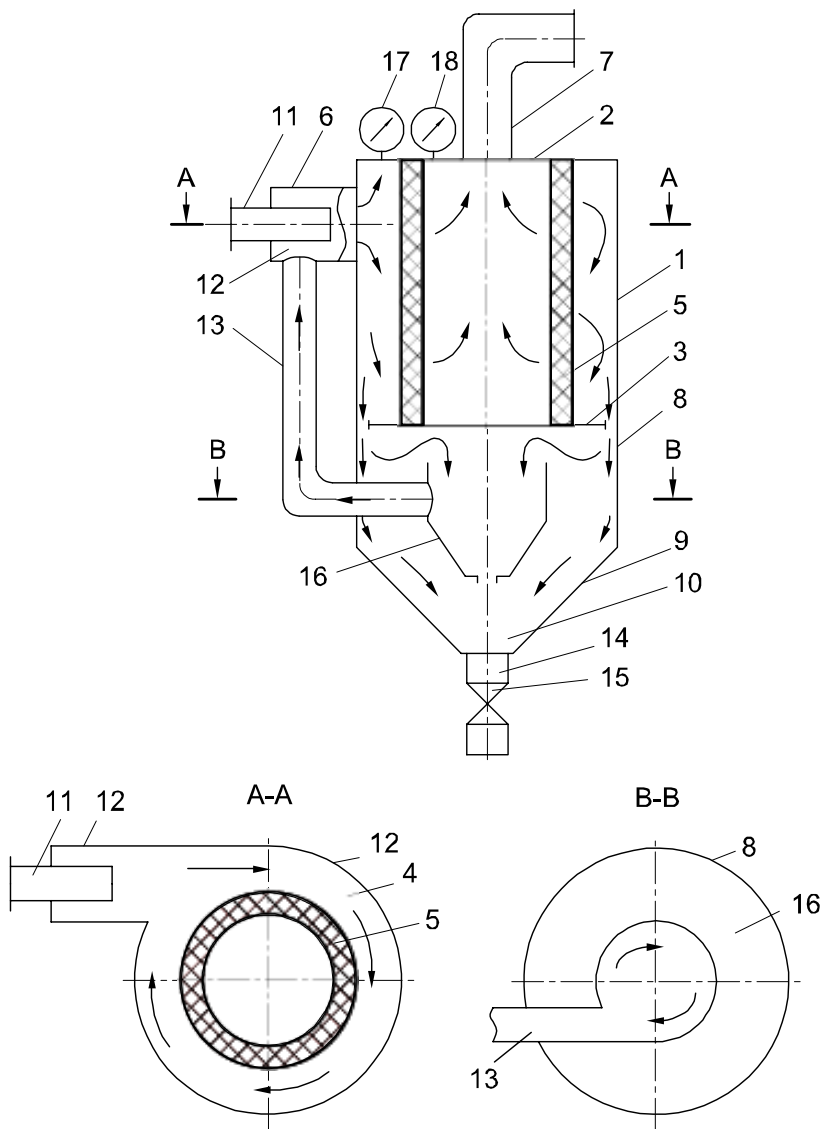


Рис. 14.1. Схема самоочисного гідродинамічного фільтра

Розроблений гідродинамічний фільтр працює по циркуляційній схемі, тобто через фільтроелемент проходить лише частина рідини, а друга її частина повертається на вхід фільтра через дренажний трубопровід 13. Особливістю конструкції фільтра є тангенціальний підвід рідини до фільтроелемента 5 і тангенціальний відбір її із дефлектора 16, що забезпечує формування в корпусі фільтра сталого вихрового потоку. Це дозволяє не тільки забезпечити умови роботи гідродинамічного фільтра а використати відцентрові сили, які діють на механічні частки, що знаходяться в рідині, для їх видалення. Відцентрові сили відкидають частки на периферію потоку з подальшим їх збором в камері 10. Таким чином реалізується ефект, що виникає в гідроциклоні.

15. ТРИМІРНЕ МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ В ГІДРОДИНАМІЧНОМУ ФІЛЬТРІ

15.1. Фізико-математична модель

В CosmosFloWorks рух і теплообмін рідини моделюється за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, які описують в нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу та енергії цієї рідини /8/. Крім того, використовуються рівняння стану компонентів рідини, а також емпіричні залежності в'язкості і теплопровідності цих компонентів рідини від температури. Рідини, що стискаються задаються залежністю їх густини від тиску. Цими рівняннями моделюються турбулентні, ламінарні та перехідні (перехід між ламінарним і турбулентним визначається критичним значенням числа Рейнольдса) течії.

Для моделювання турбулентних течій вказані рівняння Нав'є-Стокса осереднюються за числами Рейнольдса, тобто, використовується середній за малим масштабом часу вплив турбулентності на параметри потоку, а тривало часові зміни осереднених за малим масштабом часу складових гідродинамічних параметрів потоку (тиску, швидкості, температури) враховуються введенням відповідних похідних за часом.

В результаті рівняння мають додаткові члени – напруження за Рейнольдсом, а для замикання цієї системи рівнянь в CosmosFloWorks використовуються рівняння переносу кінетичної енергії турбулентності та її дисипації в рамках k - ϵ моделі турбулентності.

Ця система рівнянь збереження маси, імпульсу та енергії нестационарної просторової течії має наступний вид в рамках підходу Ейлера в декартовій системі координат $(x_i, i = 1, 2, 3)$, яка обертається з кутовою швидкістю Ω навколо осі, що проходить через її початок:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_k) &= 0, \\ \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}(\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial P}{\partial x_i} &= S_i, \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k}((\rho E + P)u_k + q_k - \tau_{ik} u_i) &= S_k u_k + Q_H, \end{aligned}$$

де t – час, u – швидкість рідини, ρ – густина рідини, P – тиск рідини, S_i – зовнішні масові сили, що діють на одиничну масу рідини, E – повна енергія одиничної маси рідини, Q_H – тепло, що виділяється джерелом в одиничному об'ємі рідини, τ_{ik} – тензор в'язких напружень зсуву, q_k – дифузійний тепловий потік. Нижні індекси означають сумування за трьома координатними напрямками.

Для ньютонівських рідин тензор в'язких напружень зсуву визначається наступним чином:

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij},$$

де $\mu = \mu_l + \mu_t$ – коефіцієнт динамічної в'язкості, μ_t – коефіцієнт турбулентної в'язкості, δ_{ij} – дельта функція Кронекера ($\delta_{ij} = 1$

при $i = j$; $\delta_{ij} \neq 1$ при $i \neq j$), k – кінетична енергія турбулентності.

У відповідності з k - ε моделлю турбулентності, μ_t визначається через величини кінетичної енергії турбулентності k і дисипації цієї енергії ε :

$$\mu_t = f_\mu \cdot c_\mu \frac{\rho k^2}{\varepsilon},$$

$$\text{де } f_\mu = [1 - \exp(-0,025R_y)]^2 \cdot \left(1 + \frac{20,5}{R_T}\right); \quad R_y = \frac{\rho \sqrt{ky}}{\mu_t};$$

$$R_T = \frac{\rho k^2}{\mu_t \varepsilon}, \quad y - \text{відстань від поверхні стінки, } c_\mu = 0,09.$$

Кінетична енергія турбулентності k і дисипація цієї енергії ε визначаються в результаті розв'язку наступних рівнянь:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k k) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_k} \right) + S_k,$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right) + S_\varepsilon,$$

де:

$$S_k = \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_l P_B,$$

$$S_\varepsilon = c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left(f_1 \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_l c_B P_B \right) - c_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k},$$

$$\tau_{ij}^R = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}; \quad P_B = -\frac{g_i}{\sigma_B} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i},$$

g_i – складова гравітаційного прискорення в координатному напрямку x_i , $\sigma_B = 0.9$, $c_B = 1$, при $P_B > 0$ і $c_B = 0$ при $P_B \leq 0$,

$$f_1 = 1 + \left(\frac{0,05}{f_\mu} \right)^3, \quad f_2 = 1 - \exp(-R_T^2), \quad c_{\varepsilon 1} = 1,44, \quad c_{\varepsilon 2} = 1,92,$$

$$\sigma_\varepsilon = 1,3, \quad \sigma_k = 1.$$

Для знаходження чисельного розв’язку задачі неперервна нестационарна математична модель фізичних процесів дискретизується як за простором так і за часом. Дискретизація диференціальних рівнянь виконується методом кінцевих об’ємів. При дискретизації за часом використовується метод розчеплення операторів для більш ефективного розрахунку тиску і швидкості. Тиск визначається в результаті розв’язку дискретного еліптичного рівняння, яке отримується алгебраїчним перетворенням дискретних рівнянь збереження маси та імпульсу з урахуванням межових умов. Розрахунки проводяться за методом SIMPLE .

15.2. Параметри розрахункової моделі фільтра

Зовнішній діаметр корпусу фільтра – 204 мм, товщина стінки корпусу – 2мм. Висота фільтра – 254 мм. Діаметр вхідного отвору – 20 мм. Рідина в фільтр подається по дотичній до внутрішньої поверхні корпусу. Фільтроелемент має зовнішній діаметр 180 мм, і внутрішній – 126 мм. Висота фільтроелемента 250 мм. Чистота поверхні стінок – 1,25

мкм. Розподіл швидкості на поверхні входу – рівномірний. Тиск рідини на вході – 500000 Па. Витрата рідини через фільтр 1 л/с. Розрахункова рідина – вода. Стискання води не враховувалось. Сили гравітації діють вздовж осі Z ($g = -9.81 \text{ м/с}^2$) (рис. 15.1).

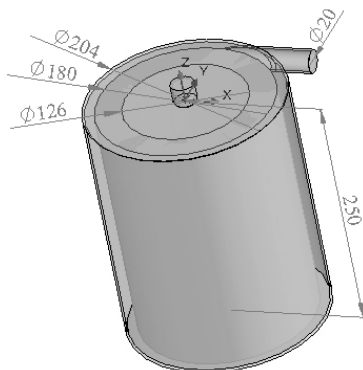


Рис. 15.1. Параметри розрахункової моделі фільтра

15.3. Результати дослідження

Результати розрахунку розподілів тиску та швидкості руху рідини в фільтрі приведені у вигляді зображень:

- траєкторій ліній течії;
- розподілу змінної в площині перерізу.

Тримірне моделювання розподілів тисків і швидкостей рідини в корпусі фільтра без фільтруючого елемента

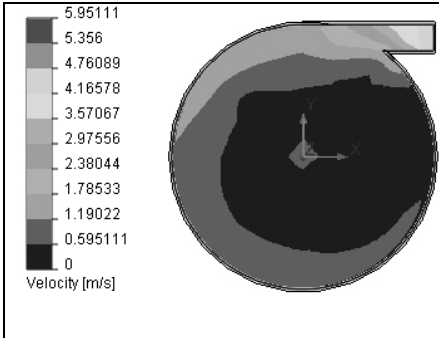


Рис. 15.2. Розподіл швидкостей в горизонтальній площині входу

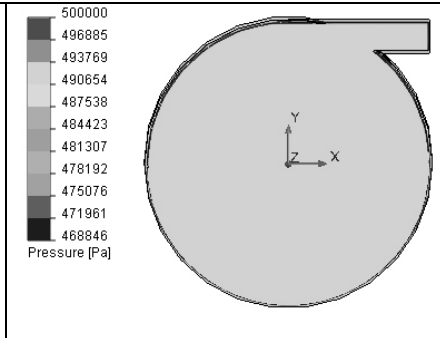


Рис. 15.3. Розподіл тиску в горизонтальній площині входу

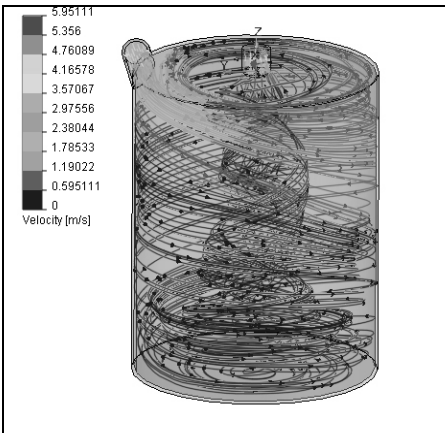


Рис. 15.4. Лінії траєкторій з відображенням значень швидкості

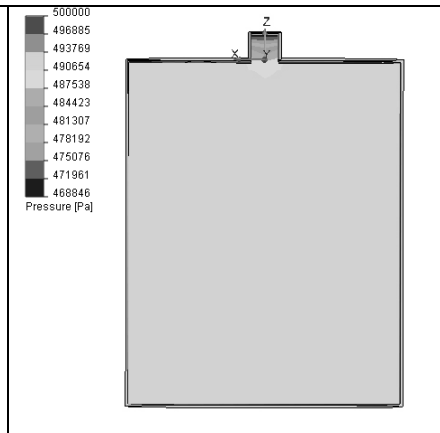


Рис. 15.5. Розподіл тиску в вертикальній площині

Тримірне моделювання розподілу тисків і швидкостей рідини в фільтрі з фільтруючим елементом

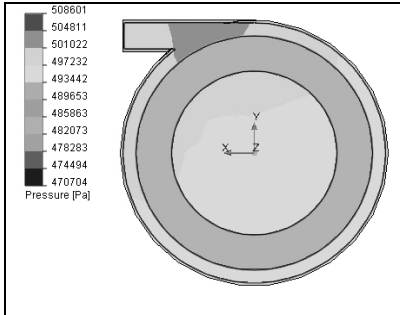


Рис. 15.6. Розподіл тиску в горизонтальній площині входу

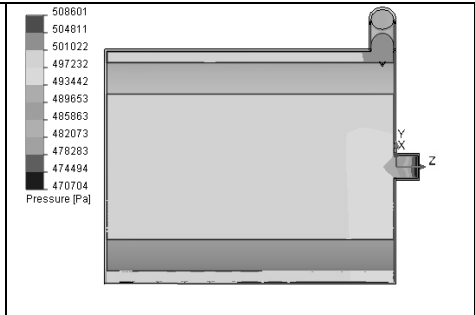


Рис. 15.7. Розподіл тиску в вертикальній площині

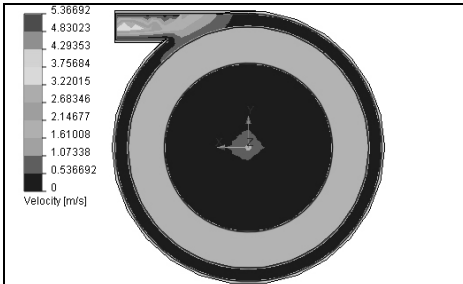


Рис. 15.8. Розподіл швидкостей в горизонтальній площині входу

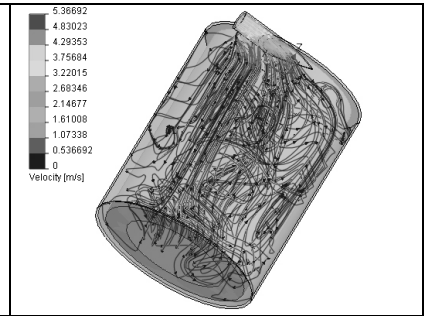


Рис. 15.9. Лінії траєкторій з відображенням значень швидкості

ВИСНОВКИ

За результатами проведеної роботи можна зробити такі основні висновки:

1. Задача утилізації відпрацьованих автомобільних шин є актуальною як з точки зору отримання джерела цінного вторинного продукту, так і з точки зору зниження екологічного забруднення навколишнього середовища.
2. Існуючі методи утилізації автошин не завжди є ефективними в енергетичному сенсі і не завжди задовольняють екологічним вимогам.
3. Запропонований метод гідроструменевої деструкції гуми, який передбачає пошарове руйнування гуми і відділення її від металевого корду і бортових кілець є перспективним і може з успіхом використовуватись для отримання вторинних продуктів у вигляді гумового грануляту та металокорду.
4. Застосування абразиву, який додається в рідинний струмінь, значно підвищує ефективність процесу подрібнення гуми і дозволяє суттєво підвищити енергетичні показники процесу утилізації.
5. Розроблено і виготовлено експериментальну установку і дослідні зразки робочого інструменту які дозволяють проводити дослідження процесів гідроструменевої деструкції гуми.
6. Експериментально апробовано метод гідроабразивної деструкції гуми. Встановлено, що ефективну деструкцію гуми забезпечує гідроабразивний струмінь під тиском (40...60) МПа.

7. Експериментальні дослідження показали:
- Основними факторами, що впливають на інтенсивність процесу гідроабразивної деструкції гуми є рівень тиску гідроабразивного струменя, відстань від перерізу фокусуєчого сопла гідроабразивного ежектора до поверхні гуми а також кут взаємодії гідроабразивного струменя з поверхнею гуми.
 - Максимальний знос маси гуми досягається при куті взаємодії струменя з поверхнею α у межах $30^{\circ} - 40^{\circ}$.
 - Знос маси гуми практично лінійно залежить від тиску.
 - Оптимальна відстань від перерізу фокусуєчого сопла до поверхні автопокришки становить 100 мм.
8. Експериментально апробовано кавітаційну ерозію гуми. Встановлено, що застосування кавітаційних технологій може інтенсифікувати процес деструкції гуми. Розроблено конструкцію гідроабразивного ежектора з тангінційним підводом абразиву, який забезпечує формування потужного гідроабразивного струменя за рахунок більш якісної організації процесу змішування абразиву з потоком рідини в ежекційній камері
9. Проведено аналіз існуючих методів і засобів очищення води, який показав, що системи очищення води, які застосовуються в даний час на промислових підприємствах, недостатньо ефективні, відрізняються великими габаритами та високою вартістю витратних матеріалів, непридатні для мобільного використання.

10. Вибрано схему та розроблено технічне завдання на систему очищення технічної води з метою її повторного використання.
11. Розроблено модульний принцип побудови системи очищення води, базовим елементом якої є полімербетонний фільтр.
12. Розроблено технологію та виготовлено технологічне обладнання для виробництва полімербетонних фільтроелементів.
13. Дослідження показали, що найбільш придатними для очищення технічної води з метою її повторного використання є гідродинамічні фільтри з полімербетонним фільтроелементом.
14. Розроблено аналітичні залежності, які дозволяють розрахувати термін служби об'ємного фільтра, його тонкість очистки і зміну тонкості очистки в залежності від терміна служби.
15. Проведено тримірне математичне моделювання та вибір основних геометричних параметрів гідродинамічного фільтра з полімербетонним фільтроелементом. Моделювання показало, що тангенціальний напрямок подачі фільтруємої рідини забезпечує рух рідини вздовж стінки фільтроелемента, але параметри цього руху необхідно оптимізувати в процесі подальших досліджень.
16. Розроблено конструкцію, подано заявку на патент „Самоочисний гідродинамічний фільтр” і одержано позитивне рішення про видачу патенту № 16230/1 14.10. 2005 р. на фільтр .
17. Виготовлено дослідні зразки полімербетонних фільтроелементів.
18. Випробування дослідних зразків показали:

- Фільтр з полімербетонним фільтроелементом має низький опір, при витраті води через фільтроелемент $1350 \text{ см}^3/\text{с}$ перепад тиску становить всього $0,2 \text{ кгс}/\text{см}^2$.
- При порівняно низькому опорі матеріал фільтру забезпечує тонкість фільтрації $28 - 30 \text{ мкм}$.
- Полімербетонний фільтроелемент має велику грязе ємність і регенерується зворотнім током води.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горовец В. Г. Утилизация шин: зарубежный опыт // Автотрансп. предприятие. - 2005. - № 5. - С. 44-46.
2. Брагин Б. Ф., Коломиец А. С.. Пульпы и суспензии. - Киев, 1995. - 466 с.
3. Бердаш Н. Г. Обогащение углей. - М.: Недра, 1978. - 220 с.
4. Гакопов М. Основы обогащения углей в гидроциклонах. - М.: Недра, 1967.
5. Дмитриев Г. П., Махарадзе Л. И. Напорные гидротранспортные системы. - М.: Недра, 1991. - 310 с.
6. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. / Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С. А. Хаскин и др. Под. ред В. Н. Самохина. -М.: Стройиздат, 1981. - 639 с.
7. Оборудование для обогащения угля. -М.: Недра 1979. - 333 с.
8. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 152 с.
9. Пономарев В. П., Чоакилис И. Л., Мочагин И. Л. Очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. -М.: Химия, 1985.
10. Скирдов И. В., Пономарев В. Г. Очистка сточных вод в гидроциклонах. -М.: Стройиздат, 1975. -175 с.
11. Справочник по технологическому оборудованию сахарных заводов. -Киев: Техника, 1982. - 300 с.
12. Шохин В. Н., Лопатин А. Г. Гравитационные методы обогащения. - М.: Недра, 1993. - 350 с.
13. Яковлев С. В., Калерин Я. А., Ласков Ю. М., Воронин Ю. В.. Очистка производственных сточных вод. - М.: Стройиздат, 1985. - 335с.

14. Проспект фірми ER / Kinetico Para-Flo.
15. Постанова Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 р. № 465.
Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами.
16. Предельно допустимые концентрации и ориентировочные безопасные уровни воздействия вредных веществ в объектах внешней среды. Нормативные материалы. Свердловск - 1978.
17. Предельное количество токсических промышленных отходов, допускаемое для складирования в накопителях (на полигонах) твердых бытовых отходов (нормативный документ). Москва. Стройиздат 1988.
18. Мухина Т.Н., Барабанов Н.Л. Пиролиз углеводородного сырья . – М:Химия. - 1987. – с. 240
19. Патент України №2001117881. Самоочисний фільтр. Бюл. №9. 2004.
20. Патент України №2000116765. Гідродинамічний фільтр. Бюл. №9. 2001 р.
21. Патент України №2001096086. Самоочисний фільтр. Бюл. №9. 2004.
22. Патент України №99094890. Самоочисний фільтр. Бюл. №2. 2001 р.
23. Фінкельнштейн З. Л. Применение и очистка рабочих жидкостей для горных машин. -М.: Недра. 1986. - 232 с.
24. Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве // ФГУП Национальный научный центр горного производства ИГД им. А. А. Скочинского. Издательство: “ПИК ВИНТИ” - 2004. - с. 645.

25. Никольский В. Г. и др. Современные технологии переработки изношенных автопокрышек и других резинотехнических отходов //Вторичные ресурсы. – 2002. – №. 1. – С. 48-51.
26. Введение в специальность. Горные машины и комплексы: [Учеб. пособие] / В. А. Бреннер, В. А. Голутвин. Тула, ТПИ 1985. - 88 с.
27. Шманев В. А. и др. Струйная гидроабразивная обработка деталей ГТД. – М.: Машиностроение, 1995.
28. Степанов Ю. С., Барсуков Г. В. Современные технологические процессы механического и гидроструйного раскроя технических тканей. -М.: Машиностроение, 2004. -240 с.
29. Способ утилизации изношенных автопокрышек и других резинотехнических изделий и устройство для его реализации. Патент Российской Федерации №2224650, кл. В29В17/00.
30. Устройство для водоструйной разделки резиновых шин. Патент Российской Федерации №2114731, кл. В29В17/00.
31. Аскарлов М. А. Кавитационное разрушение металлов и полимеров. – Тбилиси: Сабчота Сакартвела, 1973. – 56 с.
32. Присс К. Эрозия. – М.: Мир, 1982, - 464 с.
33. Бадах В. М., Головки Ю. С., Куклевський А. М. Вибір гідродинамічних та конструктивних параметрів фільтрів з тангенціальною подачею рідини. Вісник Східноукраїнського НУ ім. Даля. Луганськ. 2007. №3(109). ч.1.
34. Бадах В. М., Бочаров В. П., Кужель Н. В. Нові підходи до проблем утилізації гуми.// Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції „Проблеми хімотології”. м. Київ 2008.

35. Головки Ю. С., Деркач С. С. Исследование грязеемкости поверхностных и объемных фильтров. Журнал «Промислова гідравліка і пневматика». 2(8). 2005. - с.48-52.
36. Головки Ю. С., Деркач С. С. Дослідження ресурсних можливостей системи очищення робочої рідини гідравлічної системи літака. Журнал «Промислова гідравліка і пневматика» №1(19). 2008. - с.36 – 45.
37. Васильченко А., Шекунов А. Выбор и применение фильтров. Журнал «Основные средства». №1. 2007.
38. Васильченко А., Шекунов А. Выбор и применение фильтров для очистки рабочих жидкостей в гидравлических системах мобильных машин. Журнал «Основные средства». №2. 2007.
39. Fitch E. C. Fluid contamination control. Technology transfer Series #4. Oklahome, FFS INC. 1988.
40. Пляцук Л. Д., Гурець Л. Л., Будьонний О. П. Утилізація гумових відходів. Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 5/2007 (46). Частина 1. - С. 152-154.
41. Скоромный А. Л. Снижение энергозатрат на утилизацию изношенных автомобильных шин методом термохимической деструкции //Экология и промышленность. – 2008. – №. 4. – С. 68-71.
42. Кравченко И. Н., Лучин И. В., Чернуха А. Л. Исследования процесса абразивного измельчения изношенных автомобильных шин при утилизации //Научно-технический сборник, выпуск. – 2014. – №. 25. – С. 80-84.

43. Лучин И. В. и др. Моделирование процесса переработки изношенных автомобильных шин при их утилизации //Современные наукоемкие технологии. – 2014. – №. 6 – С. 20-24.
44. Валуев Д. В., Ананьева О. Р. Перспективы переработки автомобильных покрышек //Вестник науки Сибири. – 2011. – №. 1 (1).
45. Бадах В. Н., Бочаров В. П., Струтинский В. Б. К анализу кавитационных явлений в проточной части гидравлических струйных устройств //Пневматические и гидравлические устройства и системы управления. –М.: Энергоатомиздат. – 1986. – С. 298-308.
46. Тарасенко Т. В., Глазков М. М., Бадах В. Н. Эрозионные испытания конструкционных материалов элементов гидроаппаратуры //Промислова гидравлика і пневматика. – 2012. – №. 2. – С. 92-96.
47. Орел В. Н. и др. Повышение эффективности гидроструйного резания использованием средств управляемого трещинообразования //Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – Т. 1. – №. 7 (79).
48. Бочаров В. П. и др. Расчет и проектирование устройств гидравлической струйной техники //Киев: Техника. – 1987. – 127 С.
49. Тарасенко Т. В., Бадах В. М., Романенко В. Г. Механизм возникновения кавитации в аксиально-поршневом насосе //Промислова гидравлика і пневматика. – 2015. – №. 3. – С. 24-30.
50. Белятинський А. О. Кужель Н. В. Бадах В. М. Аналіз конструктивних особливостей струменевих апаратів для гідроабразивної обробки та розроблені дослідні зразки робочого інструменту для гідроструменевої обробки. //Вісник інженерної академії України. – 2009 – №1 – С.205-211.

Наукове видання

А. О. Белятинський
В. М. Бадах
Ю. С. Головка
В. М. Першаков

Утилізація автошин методом гідроабразивної деструкції гуми

Монографія

В авторській редакції

За редакцією
докт.техн.наук, професора
В. М. Першакова

Підписано до друку 06.02.2018р.

Зам. №06-02(1)/18.

Формат 60x84/16. Обл. вид. арк. 3,81.

Наклад 300 прим.

Видавець: ТОВ «НВФ «Славутич-Дельфін»
Замовник: Національний авіаційний університет
03680. Київ-58, пр-т Космонавта Комарова, 1.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
ДК №1198 від 16.01.2003.