

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

А. О. Белятинський, В. М. Бадах, В. М. Першаков

## **Новітні гідроструменеві технології для ремонтних робіт на автошляхах**

Монографія

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

Київ 2017

**Автори:**

**А. О. Белятинський** – д-р техн. наук, проф.;  
**Є. А. Бадах** – к.т.н., доц., с.н.с;  
**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.**

**Новітні гідроструменеві технології для ремонтних робіт на автошляхах.**

Монографія / А. О. Белятинський, В. М. Бадах, В. М. Першаков. За ред. д.т.н., проф. В. М. Першакова. – К. : ТОВ «НВФ «Славутич-Дельфін», 2017. – 100 с.

У монографії приведено розробка обладнання, робочого інструмента та пристроїв для гідроструменевого очищення поверхонь і технології їх використання для видалення нашарувань різної фізичної природи та хімічного складу при ремонтних роботах у міському господарстві. Приведені результати випробувань розробленого робочого інструмента та пристроїв для гідроструменевого очищення поверхонь. Розроблено технічний проект на мобільну гідроструменеву установку для ремонтних робіт у міському господарстві.

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

## РЕФЕРАТ

*Об'єкт дослідження* – обладнання гідроструменевих технологій високого тиску для ремонтних робіт на автошляхах.

*Мета роботи* – розробка обладнання, робочого інструмента та пристроїв для гідроструменевого очищення поверхонь і технології їх використання для видалення нашарувань різної фізичної природи та хімічного складу при ремонтних роботах на автошляхах.

Принцип дії обладнання базується на використанні силової дії струменя води високого тиску. Обробка поверхні здійснюється струменями води, які при взаємодії з нашаруванням руйнують його і видаляють з поверхні. Крім того дане обладнання дозволяє реалізувати гідроабразивний метод очищення, який передбачає введення абразиву в рідинний струмінь, що дозволяє використовувати як енергію рідинного струменя так і дію абразивних часток, що рухаються з високою швидкістю. Застосування гідроабразивного методу дозволяє проводити видалення старого лакофарбового покриття та зачистку корозії металевих конструкцій із ступенем очищення  $S_a 2,5$  за міжнародним стандартом ISO 8501-1, а також проводити санацію гранітних плит, оздоблювального каміння, залізобетонних споруд та фасадів будівель.

В роботі приведені результати випробувань розробленого робочого інструмента та пристроїв для гідроструменевого очищення поверхонь. Розроблено Технічне завдання та технічний проект на мобільну гідроструменеву установку для ремонтних робіт у міському господарстві. *Очищення поверхонь, рідинні струменеві технології, струмінь.*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1. ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ДО ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ У МІСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ</b> .....	6
1.1. Миття дорожніх покриттів .....	7
1.2. Полив дорожніх покриттів.....	12
1.3. Технічні правила ремонту і літнє утримання міських вулиць та доріг.....	13
<b>2. ТЕХНІКА ДЛЯ МИТТЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ</b> .....	19
2.1. Конструкції та принципи роботи техніки для миття та очищення поверхонь .....	20
2.2. Основи розрахунку поливо-миючих машин .....	30
<b>3. ТЕХНІКА ВИСОКОГО ТИСКУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ</b> .....	32
3.1. Рідинні струменеві технології обробки поверхонь .....	33
3.2. Водоструменева обробка поверхонь.....	39
3.3. Гідроабразивна обробка поверхонь .....	44
3.4. Аналіз конструктивних особливостей струменевих апаратів для гідроабразивної обробки .....	47
<b>4. РОЗРОБКА ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ РОБОЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВОДОСТРУМЕНЕВОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ</b> .....	59
4.1. Гідроабразивний ежектор .....	59
4.2. Роторна головка.....	64
4.3. Водоструменеві сопла і допоміжне обладнання .....	66
<b>5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧОГО ІНСТРУМЕНТУ</b> .....	68
5.1. Експериментальна установка для проведення випробувань на функціонування робочого інструменту .....	68
5.2. Результати експериментальних досліджень .....	71
<b>6. ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ГІДРОСТРУМЕНЕВИМ ІНСТРУМЕНТОМ</b> .....	87
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	89
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	91
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ</b> .....	93



## ВСТУП

Однією з проблем, що виникає при експлуатації та виконанні ремонтних робіт в промисловості та будівництві, є видалення забруднень, старих лакофарбних та ізолюючих покриттів, корозії та інших нашарувань різної фізичної природи. Особливо гостро ця проблема стоїть при ремонті об'єктів міського господарства, будівель та споруд, автошляхів тощо. Сьогодні очищення поверхонь здійснюється за допомогою механічних засобів із застосуванням хімічних речовин, а також за допомогою пневматичного піскоструйного обладнання. Ці методи малоефективні, екологічно небезпечні та шкідливі для здоров'я людини. Альтернативою даному підходу є застосування для очищення поверхонь рідинних струменевих технологій високого тиску. Принцип роботи цього обладнання базується на використанні ефекту силової дії водяного струменя високого тиску на поверхню, що очищується. Ця технологія дозволяє реалізувати гідроабразивний метод очищення, тобто введення в струмінь води часток абразиву які взаємодіють з поверхнею, що обробляється. При цьому ефект силової взаємодії струменя поєднується з ефектом струменево-абразивної обробки.

# **1. ВИМОГИ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ДО ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ У МІСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ**

Процес інтенсивної урбанізації, що протікає в усьому світі, в тому числі й в нашій країні, веде до росту кількості міських жителів, збільшенню населення старих міст, а також виникненню нових. Розширення міської території в багатьох випадках неможливе або економічно недоцільне, а це призводить до того, що в містах на обмеженій території концентрується значна кількість населення. Зосередження в містах населення обумовлює насичення їх промисловими підприємствами і транспортом.

Концентрація промислової та господарської діяльності значної кількості людей на обмеженій території призводить до появи великої кількості відходів, а також загального забруднення міських територій.

Для забезпечення нормальних умов проживання міського населення необхідне своєчасне видалення, захоронення чи переробка побутових, будівельних та промислових відходів, очищення та прибирання вулиць та дворових територій. Виконання таких трудомістких робіт неможливе без широкого застосування спеціальних машин та механізмів.

Тому у всіх розвинутих країнах велика увага приділяється розробці машин та механізмів, призначених для служб комунального господарства.

Завданнями літнього утримання автомобільних доріг, тротуарів і аеродромів являється:

- постійне підтримання чистоти дорожнього покриття, що досягається регулярним видаленням з їх поверхонь пилу, бруду і сміття миттям чи підмітанням;

- зменшення пилоутворення і зниження температури дорожніх покриттів і нижнього шару повітря, що досягається зволоженням дорожніх покриттів при їх поливі.

Основними факторами, що впливають на забруднення вулиць, являються інтенсивність руху автомобільного транспорту, благоустрій та стан дорожнього покриття даного району.

Тому технологічний порядок та періодичність операцій літнього прибирання, що забезпечує належний санітарний стан дорожнього покриття, встановлюються перш за все в залежності від вищезазначених факторів.

В табл.1.1 наведено технологічний порядок прибирання вулиць, розміщених в благоустроєних районах міста, а в табл.1.2 наведено технологічний порядок прибирання вулиць, розміщених в неблагоустроєних районах міста [3].

### **1.1. Миття дорожніх покриттів**

Миття можна виконувати тільки на проїздах, що мають відповідне покриття: асфальтобетонне чи цементобетонне. Миття щебеневого покриття та бруківки може призвести до розмивання та руйнування дорожнього одягу [3].

Процес миття складається із:

- відділення пилу та сміття від поверхні дороги;

– транспортування пилу та сміття до тротуарного лотка і далі в колодязь дощової каналізації.

Таблиця 1.1

**Технологічний порядок і періодичність літнього прибирання вулиць, розміщених в благоустроєних районах міста**

Групи вулиць	Приведена інтенсивність руху (до вантажного автотранспорту), автот/год.	Технологічні операції та періодичність прибирання		
		проїжджої частини вулиць	лотків	
			при наявності ухилів	горизонтальні ділянки
I	До 60	Миття 1 раз на 2 доби	Миття 1 раз на 2 доби	Підмітання 1 раз на 2 доби
II	До 120	Миття 1 раз на 2 доби	Миття 1 раз на добу	Підмітання 1 раз на добу
III	До 240	Миття 1 раз на 3 доби	Миття 1 раз на добу. Підмітання 1 раз на добу	Підмітання 2 рази на добу
IV	До 500	Миття 1 раз на 3 доби	Миття 1 раз на добу. Підмітання 2 рази на добу	Підмітання 3 рази на добу
V	До 1000	Миття 1 раз на 3 доби	Миття 1 раз на добу. Підмітання 3 рази на добу.	Підмітання 4 рази на добу
VI	Більше 1000	Миття 1 раз на 3 доби	Миття 1 раз на добу. Підмітання 4 рази на добу	Підмітання 5 разів на добу

Таблиця 1.2

**Технологічний порядок і періодичність літнього прибирання вулиць, розміщених в неблагоустроєних районах міста при недосконалених покриттях прилеглих проїздів**

Групи вулиць	Приведена інтенсивність руху (до вантажного автотранспорту), авто/год.	Технологічні операції та періодичність Прибирання:		
		проїжджої частини вулиць	лотків	
			при наявності ухилів	горизонтальні ділянки
I	До 60	Миття 1 раз на добу	Миття 1 раз на добу	Підмітання 1 раз на добу
II	До 120	Миття 1 раз на добу	Миття 1 раз на добу. Підмітання 1 раз на добу	Підмітання 2 рази на добу
III	До 240	Миття 1 раз на 2 доби	Миття 1 раз на добу. Підмітання 2 рази на добу	Підмітання 3 рази на добу
IV	До 500	Миття 1 раз на 3 доби	Миття 1 раз на добу. Підмітання 3 рази на добу	Підмітання 4 рази на добу

Спостереження показують, що зазвичай в дощову каналізацію переміщується тільки приблизно половина змивного пилу та сміття, а решта залишається біля тротуарного лотка.

Ефективність миття залежить від:

- швидкості струменя та витрати води;
- напрямку струменя по відношенню до напрямку його до лотка;
- поперечного та поздовжнього профілю оброблюваної дороги;
- ступеня забруднення дорожніх покриттів.

Забруднення дорожнього покриття значно збільшується. Швидкість струменя води і її витрата повинні бути такими, щоб змити з поверхні дороги частки знаходились в потоці води в підвищеному стані. Це досягається при витраті води  $1 \text{ л/м}^2$  і тиску на виході з насадки  $5-6 \text{ кг/см}^2$ .

Напрямок струменя повинен забезпечувати змивання пилу та бруду й найкоротший шлях руху води, що транспортує змиті частки. Ця вимога забезпечується відповідним влаштуванням насадок.

Поперечний ухил дороги, що надається їй при будівництві для стоку дощових вод, складає 15-20 % (зі зменшенням до середини проїзду до 0).

Поздовжній ухил дороги залежить головним чином від рельєфу місцевості. При наявності поздовжніх ухилів миття рекомендується виконувати під ухилом. В цьому випадку досягається найбільш ефективне прибирання.

Миття проїздів з двостороннім рухом починають від осі проїзду. Наступні проходи виконують вздовж промітої смуги з перекриттям її на 0,7-1,0 м.

Миття проїзної частини (особливо при останньому проході) і промивання лотків повинні виконуватись таким чином, щоб забруднення не викидалось на тротуари та смуги зелених насаджень.

Як правило, автомобільні дороги мють один раз на добу, вночі, коли інтенсивність вуличного руху найменша (між 23.00 та 7.00).

Проїзди, що прилягають до районів масового будівництва, недостатньо промивати один раз на добу.

Як вже зазначалось, якість миття широких проїздів підвищується, якщо її виконують колоною машин, що слідують одна за другою уступом з інтервалом 10-20 м (рис.1.1).

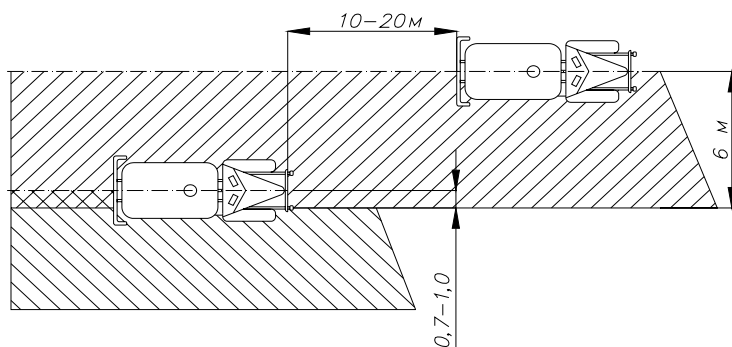


Рис. 1.1. Схема миття дорожніх покриттів

В таких випадках часто вдень виконується повторне миття, причому поливо-миючі машини інколи застосовуються в поєднанні

із зимовими щітками, за допомогою яких відділяють бруд від дороги.

Забруднення дорожніх покриттів значно збільшується в період дощів, так як вода змиває і виносить на проїзди ґрунт з газонів, з неблагоустроєних дворів і т.д. Тому після дощу рекомендується виконувати миття автомобільних доріг.

## **1.2. Полив дорожніх покриттів**

В спекотні дні для зниження запиленості нижнього шару повітря та температури дорожнього покриття дороги поливають водою.

На відміну від миття полив можна виконувати на дорогах з будь-яким видом покриття (асфальт, бетон та ін.) і без покриття.

Ефективність поливу залежить від висоти струменя та витрат води.

При поливі поливо-миючі машини рухаються в потоці транспорту. Тому збільшувати висоту струменя більше ніж на 1,5 м не рекомендується.

Кількість води, розподілена по поверхні дороги, повинна забезпечувати рівномірне змочування всієї поверхні, при якому не спостерігається стікання води.

Полив виконується тими ж машинами, що й миття, але насадки встановлюються таким чином, щоб струмені води направлялись вперед і трохи вгору, причому найвища точка струменя знаходилася б на відстані біля 1,5 м від дорожнього покриття [3]. Оскільки



ки захват машин при поливі досить великий (12-15м), він виконується зазвичай однією машиною і за один прохід.

Полив дорожнього покриття виконують в період найбільш високої температури повітря.

Механізоване прибирання міських проїздів виконується на протязі всього року, для чого використовуються спеціальні машини, обладнані відповідно для літнього і зимового прибирання вулиць.

### **1.3. Технічні правила ремонту і літнє утримання міських вулиць та доріг**

В загальних положеннях [5; п.1.1.] говориться про те, що технічні правила поширюються на вулиці та дороги в містах і селищах міського типу України і є обов'язковими для виконання усіма організаціями, незалежно від їх відомчої належності і форм власності, які займаються експлуатацією зазначених дорожніх об'єктів.

Зазначено, що механізоване прибирання міських вулиць та доріг здійснюється згідно проекту, який повинен бути розроблений на всі види виконуваних протягом року робіт на період, не менше 5 років [5; п.3.10.].

Детальніше про періодичність прибирання міських вулиць та доріг із застосуванням прибиральної техніки наведено в розділі: “Літнє утримання міських вулиць та доріг” [5; п.6.].

Під час планування робіт по утриманню міських вулиць та доріг (визначення обсягів робіт, потреби в робочій силі, машинах, механізмах і технологічних матеріалах) слід приймати циклічну

систему, згідно якої кожен вид робіт періодично повторюється через певні проміжки часу.

Режим (періодичність) літнього прибирання міських вулиць та доріг устанавлюється, виходячи з норм гранично допустимої за-сміченості покриття,  $г/м^2$  (грам на 1 м лотка для проїзної частини з інтенсивністю руху транспорту понад 60 авт/год.):

- внутрішньо кварталні проїзди до житлових та громадських будинків, тротуари, пішохідні вулиці і алеї – 20;
- проїзна частина магістральних вулиць і доріг, житлових вулиць із заасфальтованими прилеглими проїздами та дворами – 30;
- проїзна частина житлових вулиць із незаасфальтованими прилеглими проїздами і дворами, внутрішньо кварталні проїзди, які ведуть до комунально-побутових об'єктів – 50;
- проїзна частина вулиць та доріг у промислових і комунально-складських зонах – 80;
- внутрішньо кварталні проїзди, які ведуть до технологічних та будівельних майданчиків – 110.

Для міських вулиць та доріг [5; п.6.] може бути призначена така періодичність прибирання покриття, не рідше:

- проїзної частини вулиць та доріг з приведеною інтенсивністю руху, тис. авт. за добу в обох напрямках:
  - до 1..... 1 раз на тиждень;
  - 1-2..... 2 рази на тиждень;
  - 2-4..... 1 раз на 2 доби;
  - 1-8..... 1 раз на добу;
  - 8-12..... 2 рази на добу;

- 12-16..... 3 рази на добу;
  - 16-20..... 4 рази на добу;
  - понад 20..... 5 разів на добу.
- внутрішньо кварталних проїздів, що ведуть до:
    - технологічних та будмайданчиків ..... 1 раз на тиждень;
    - комунально-побутових об'єктів ..... 1 раз на 2 доби;
    - житлових та громадських будинків ..... 1 раз на добу.
  - тротуарів з інтенсивністю пішохідного руху, чол./год.:
    - до 50 ..... 1 раз на 2 доби;
    - 50-100 ..... 1 раз на добу;
    - понад 1000 ..... 2 рази на добу.
  - тротуарів в зонах торговельних об'єктів, вокзалів, зупинок громадського транспорту - 2 рази на добу.

Примітка. Приведену інтенсивність руху транспорту слід визначати з урахуванням коефіцієнтів забруднення:

- для легкових автомобілів - 0,2;
- вантажних - 1,0;
- автобусів і тролейбусів - 0,4.

Для більш точного визначення періодичності прибирання міських вулиць та доріг виконують розрахунки на основі фактичної інтенсивності накопичення сміття по результатам натурних обстежень, гранично допустимих норм засміченості покриття і коефіцієнтів якості прибирання, які залежать від способу прибирання дорожнього покриття.

Детальніше зупинимось на технології та нормативах миття міських територій, викладених у вищезазначених правилах.

Прибирання міських вулиць та доріг шляхом миття дорожнього покриття може застосовуватись там, де проїзна частина обладнана системою закритого зливостоку і має поздовжній ухил понад 7 % (для внутрішньо кварталних проїздів - понад 5 %) [5; п.6.11.].

Миття покриття проїзної частини магістральних вулиць та доріг слід проводити вночі - з 23 до 6 години ранку, а вдень - виконувати миття тільки лотків проїзної частини [5; п.6.12.].

На вулицях та дорогах місцевого значення миття покриття та лотків проїзної частини може виконуватись як вдень, так і вночі.

Миття внутрішньо кварталних проїздів і тротуарів виконується тільки вдень - від 7 до 19 години.

Для міських вулиць та доріг може бути призначена така періодичність миття покриттів, не рідше [5; п.6.13.]:

- проїзної частини вулиць та доріг (згідно [5; п.6.13.]) з приведеною інтенсивністю руху, тис. авт. за добу в обох напрямках:
  - до 1..... 1 раз на 2 тижні;
  - 1-8..... 1 раз на тиждень;
  - 8-16..... 2 рази на тиждень;
  - понад 16..... 1 раз на 2 доби.
- внутрішньо кварталних проїздів, що ведуть до:
  - технологічних та будмайданчиків .....1 раз на 2 тижні;
  - комунально-побутових об'єктів .....1 раз на тиждень;
  - житлових та громадських будинків ..... 2 рази на тиждень.
- тротуарів з інтенсивністю пішохідного руху, чол./год.:
  - до 50 ..... 1 раз на тиждень;
  - 50-100 ..... 2 рази на тиждень;

➤ понад 1000 ..... 1 раз на добу.

- тротуарів в зонах торговельних об'єктів, вокзалів, зупинок громадського транспорту - 1 раз на добу.

У ту добу, коли проводиться миття, кількість підмітань дорожнього покриття зменшується на одиницю [5; п.6.14.].

Проїзну частину вулиць та доріг, яка має 2 або 4 смуги руху, миють однією поливальна-мийною машиною: спочатку один бік, потім другий [5; п.6.15.].

Якщо проїзна частина складається з більшої кількості смуг руху, миття дорожнього покриття здійснюється двома проходами колони поливальна-мийних машин.

Під час миття перша (головна) машина колони мие середину проїзної частини, інші - слідуєть за нею виступами з перекриттям смуги, яку мила попередня, на 0,7 – 1 м. Поливальна-мийна машина, яка замикає колону, здійснює завершальну операцію миття проїзної частини - мие лоток [5; п.6.16.]. Інтервал між поливальна-мийними машинами в колоні має бути 10 - 20 м.

Під час миття витрати води, л/м<sup>2</sup>, повинні становити для покриття:

- проїзної частини 0,9 - 1,5 л/м<sup>2</sup>;
- лотків 1,6 – 2 л/м<sup>2</sup>;
- тротуарів 0,6 – 1,1 л/м<sup>2</sup>.

Під час миття лотка проїзної частини забороняється викидання водяним струменем забруднень на тротуар або зелені насадження [5; п.6.18.].

Механізоване миття тротуарів дозволяється тільки у випадках, коли вони межують з проїзною частиною, а лунки дерев обладнані поребриком, який виступає на висоту не менше 7 см над поверхнею покриття тротуару [5; п.6.19.].

Не рекомендується мити тротуари та внутрішньо кварталні проїзди, які не обладнані поребриком або бордюром, а також покриття тротуарів із плит без заповнених стиків [5; п.6.20.].

Забороняється мити дорожнє покриття, якщо температура повітря становить  $0^{\circ}\text{C}$  і нижче [5, п.6.21.].

На вулицях та дорогах, де тротуари межують з проїзною частиною, щоб уникнути повторного засмічення лотків, спочатку прибирають тротуари, а потім проїзну частину [5; п.6.22.].

Недоступні для прибиральної машини місця на тротуарах та внутрішньо кварталних проїздах прибирають вручну [5; п.6.23.].

Прибирання недоступних місць повинне закінчуватись не пізніше, ніж за 20 - 30 хв. до проходження прибиральної машини.

## 2. ТЕХНІКА ДЛЯ МИТТЯ ТА ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ

Поливо-миючі машини призначені для миття та поливу дорожнього покриття, для поливання зелених насаджень. Миють тільки асфальте- чи цементобетонні покриття, а також бруківку з твердими швами плоскими, віялоподібними струменями, направленими під невеликим кутом до дороги і в той бік від машини, куди необхідно перемістити забруднення. Поливають зазвичай також плоскими віялоподібними струменями, направленими вгору і в сторони симетрично відносно осі машини.

За призначенням дані машини поділяють на миючі, поливні та поливо-миючі машини [4]. Поливо-миючі машини монтують на автомобільному шасі чи виготовляють у вигляді напівпричепів чи причепів до автомобілів. Класифікація цих машин приведена на рис.2.1.

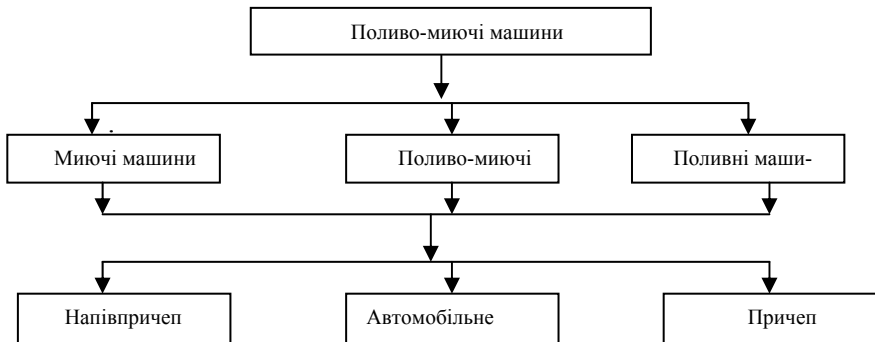


Рис. 2.1. Класифікація поливо-миючих машин

## **2.1. Конструкції та принципи роботи техніки для миття та очищення поверхонь**

Незалежно від призначення поливо-миючі машини мають загальну принципову схему будови. Вода із цистерни поступає в центробіжний насос. Насос, що приводиться в дію за допомогою відповідних механізмів двигуном базового шасі чи спеціальним двигуном, подає воду в напірний трубопровід, який оснащена пристроями для формування струменя, необхідного для миття чи поливу [4].

Крім того, машина обладнана:

- краном для заповнення цистерни з водопровідних магістралей;
- центральним клапаном, що служить для перекриття води, котра потрапляє в насос із цистерни;
- фільтром, встановленим на фланці нижньої горловини цистерни і призначеним для очищення води, яка потрапляє до насосу.

Для заправки водою та гасіння пожеж поливо-миюча машина оснащена додатковим обладнанням, що розміщене в ящиках, встановлених по обох боках цистерни.

Вага деяких поливо-миючих машин з повним завантаженням значно перевищує вагу завантаженого стандартного автомобіля (ємність цистерни поливо-миючих машин ПМ-130, ПМ-10 складає 6 м<sup>3</sup>), у зв'язку із цим передні та задні ресори автомобіля підсилені – в кожному з них додано по 2 ресорних листа.



Ще в радянські часи виготовлялися поливо-миючі машини декількох типів. Найбільш розповсюджена машина ПМ-130 на шасі автомобіля ЗІЛ-130, яку в першу чергу застосовують для роботи в міських умовах. Крім того, на шасі ЗІЛ-130 виготовляють автомобілі АКПМ-3 та КПМ-64, що застосовуються головним чином для роботи на аеродромах, а машину КПМ-64 – також і на автомобільних дорогах.

Для миття міських доріг використовують також машину РС-66 на базі автомобіля ГАЗ-66, оснащену фрезерно-роторним та поливо-миючим обладнанням. Миють і поливають автомобільні дороги також за допомогою машини КДМ-130. Дану машину на шасі ЗІЛ-130 в літній період оснащують змінним поливо-миючим обладнанням, аналогічним тому, яке встановлюють на машині ПМ-130.

Поливо-миючу машину ПМ-130 виготовляють в двох модифікаціях. В машині основної модифікації спеціальне обладнання змонтоване на автомобільному шасі, друга модифікація (ПМ-130П) [1] включає основну і причеп-цистерну. В середині цистерни овального січення встановлені хвилерізи і контрольна зливна труба, а також в її нижній частині відстійник і центральний клапан з фільтром. Контрольна труба обмежує наповнення цистерни. Центральний клапан служить для управління з кабіни водія подачею води в центробіжний насос.

Система трубопроводів на машині розділена на всмоктувальний та напірний трубопроводи (рис.2.2) [4]. Всмоктувальний трубопровід з'єднує горловину центрального клапана з всмоктувальним патрубком насоса.

Напірний трубопровід виведено від центробіжного насоса вправо і вперед для встановлення однієї насадки з правої сторони машини за кабіною водія і двох насадок перед машиною. Насадки можна встановлювати в положення для миття чи поливу за допомогою спеціального шарнірного кріплення до трубопроводу.

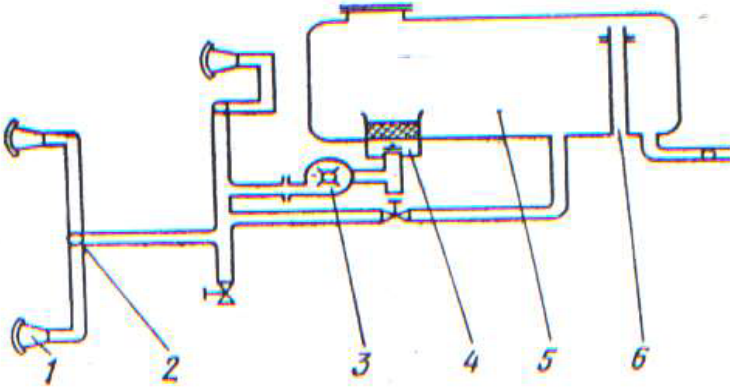


Рис. 2.2. Принципова схема машини ПМ-130:  
1 – миюча насадка; 2 – трьох ходовий кран;  
3 – центробіжний насос; 4 – центральний клапан;  
5 – цистерна; 6 – контрольна труба

Для миття лотків машина оснащується спеціальною насадкою, що встановлюється при виконанні даної роботи замість правої передньої насадки.

Цистерна заповнюється водою із водопровідної мережі чи водойми. В першому випадку за допомогою стендера і спеціального шланга цистерну з'єднують з водопровідною мережею. Для заповнення цистерни з водойми при її випорожненні під час роботи залишають невеликий об'єм води, достатній для заповнення насоса і всмоктувального шланга. При ввімкненні насоса вода по всмокту-

вальному шлангу поступає в насос і через напірний патрубок по спеціальному трубопроводу поступає в цистерну.

Цистерна машини має овальну форму і кріпиться до лонжеронів рами на трьох опорах. Показник рівня води в цистерні поплавковий.

Машина може працювати з причіпною цистерною, котра з'єднується з основною цистерною системою шлангів і трубопроводів.

Машина ПМ-130П відрізняється не тільки двохосновним причепом, на якому змонтована додаткова цистерна. В основній цистерні встановлений другий центральний клапан, через який вода потрапляє із додаткової цистерни до всмоктувального патрубка центробіжного насоса. Керувати другим центральним клапаном, так само як і першим, з кабіни водія. Причіпна цистерна з'єднана з основною гнучким гумовим шлангом. Крім того, трубопровід основної цистерни оснащений додатковим трубопроводом і вентилям для заповнення цистерни причепа із водопровідної мережі чи водойми.

Поливо-миючу машину АКПМ-3 також виготовляють в двох модифікаціях: з причіпною цистерною і без неї. Конструкція більшості вузлів даної машини повністю уніфікована із відповідністю до вузлів машини ПМ-130. Основні конструктивні зміни цієї машини зводяться до наступного. На машині спереду встановлено дві насадки, котрі повертають в різне положення за допомогою двох управляючих блоків. При допомозі одного з них насадка повертається навколо вертикальної осі, так як змінюється кут між віссю

насадки і віссю машини; при допомозі другого насадка переміщається вздовж горизонтальної осі. Заповнюється цистерна з водойми за допомогою газоструменевого вакуумного апарата, котрий створює розрідження в центробіжному насосі і всмоктувальному трубопроводі. Вакуумний апарат працює при допомозі вихлопних газів. Для цього на машині встановлено спеціальний кран, що направляє вихлопні гази в глушник чи у вакуумний апарат.

Для контролю за кількістю води в цистерні встановлено поплавкове обладнання. Положення поплавка в цистерні і, відповідно, рівень води в ній фіксується тим же прибором, котрий служить для визначення кількості пального в баці базового автомобіля. Користуючись одним і тим же прибором переводячи у відповідне положення спеціальний перемикач. Внутрішня поверхня цистерни має антикорозійне цинкове покриття. Машина обладнана манометром, що з'єднаний з напірним трубопроводом і дозволяє із більшою точністю встановлювати режим роботи насосної установки.

Поливо-миючу машину КПМ-64 виготовляють в трьох модифікаціях. Перша складається з поливо-миючого автомобіля та причепа із додатковою цистерною. За принциповою схемою, комплектом обладнання і конструктивному оформленню основних вузлів, вона аналогічна машині АКПМ-3. В машині другої модифікації відсутній причеп, газо-ступеневий апарат для заповнення цистерни з водойми та деяке спеціальне обладнання. В машині третьої модифікації немає ще й гідро-керування насадками і вони встановлюються вручну. Особливістю даної машини є наявність гідро-керування центральним клапаном.

Поливо-миюча машина Д-298. Спеціальне поливо-миюче обладнання машини Д-298 монтується на шасі ЗІЛ-164.

Цистерна овальної форми і обладнана механічним показником рівня води. Наповнення цистерни із водою виконується за допомогою розрідження, яке утворюється у всмоктувальному колекторі двигуна автомобіля.

Поливо-миюча машина ПМ-10. Спеціальне поливо-миюче обладнання машини ПМ-10 монтується на шасі ЗІЛ-164.

Цистерна має більш прямокутну форму, а показник рівня води в цистерні відсутній.

На машині встановлено три миючих насадки типу “шарнірне сопло”, одну з яких встановлено з правої сторони машини за кабіною.

В вищеописаних машинах переважно механічне керування.

Технічні характеристики поливо-миючих машин приведені в табл.2.1.

Іноземні фірми виготовляють значну кількість типів машин для поливу та миття дорожніх покриттів, спеціальне обладнання яких монтують на автомобільних шасі, а також на напівпричепках та причепках до них. Багато зарубіжних підприємств шляхом встановлення додаткового обладнання прагнуть надати машинам даного типу багатоцільового призначення. Так, більшість німецьких фірм, виготовляють поливо-миючі машини, оснащені щіткою для підмітання або видалення великих забруднень. Деякі фірми виготовляють на основі базової конструкції різноманітні варіанти вузькоспе-

ціалізованих машин, наприклад миючу, поливну або комбіновану поливо-миючу машини.

В поливо-миючій машині “Кароса” спеціальне обладнання для миття та поливу дорожніх покриттів, змонтоване на шасі автомобіля “Шкода 706”, складається із центробіжного насоса та механізмів його приводу, трубопроводу з насадками і механізмів керування.

Таблиця 2.1

**Технічні характеристики поливо-миючих машин**

Показники	Одиниці вимірювання	Поливо-миючі машини				
		ПМ-130	АКПМ-3	КПМ-64	Д-298	ПМ-10
Базове шасі	-	ЗІЛ-130	ЗІЛ-130	ЗІЛ-130	ЗІЛ-164	ЗІЛ-164
Ємність цистерни	л	6000	6000	5150	4000	6000
Ємність причіпної цистерни	л	5000	6000	5150	4000	6000
Ширина поливу	м	15-18	15-18	14-18	12	15-18
Ширина миття	м	до 8	до 8	до 7	6	до 8
Витрати води: - при митті - при поливі	л/м <sup>2</sup>	0,9-1,1 0,25-0,3	0,9-1,1 0,25-0,3	1,0 0,25	0,9-1,1 0,2-0,3	0,9-1,1 0,2-0,3
Робоча швидкість: - при митті - при поливі	км/год	до 20 до 20	до 20 до 20	до 12 до 15	16 18	16 18

Центробіжний насос, що приводиться в дію від двигуна автомобіля, встановлений в спеціальному відділі задньої частини цистерни. На машині є три миючих насадки з порівняно невеликим вихідним перерізом, котрі встановлені спереду машини. За допомогою відповідного встановлення насадок можна виконувати миття та полив.

Передбачена також можливість так званого одностороннього миття однією з бокових і середньою насадками. Це досягається поворотом насадок у вертикальній площині на  $40^\circ$  і в горизонтальній площині на  $90^\circ$ . Положення насадок змінюється за допомогою системи керування із кабіни водія.

Спеціальне обладнання виконано у вигляді єдиного агрегата, що легко демонтується в зимовий період.

Нижче наведені технічні характеристики даної марки машини:

Об'єм цистерни, л .....	7000
Ширина поливу, м .....	до 20,0
Ширина миття, м .....	6,0
Витрати води, л/м <sup>2</sup> :	
– при митті .....	0,5-0,3
– при поливі .....	0,1-1,0
Робоча швидкість, км/год .....	5-30

В поливо-миючій машині “Штутгарт” (Німеччина) спеціальне обладнання встановлюють на базовому шасі різного типу. В зв'язку з цим цистерну виготовляють різної місткості в межах 4000-6000 л. Машина дозволяє виконувати наступні процеси прибирання: полив, миття дорожнього покриття, підмітання, поливання зелених насаджень, а також гасіння пожеж. Конструктивна машина

виконана дещо інакше ніж вищеописані. Керування спеціальним обладнанням зосереджене на пульті, що розміщений за кабіною водія у відділі цистерни. З цього місця оператору зручно спостерігати за автомобілями і пішоходами та швидко змінювати у випадку необхідності ширину поливу чи миття. Оператор захищений спеціальним навісом. В задній частині цистерни також у спеціальному відділі встановлено центробіжний насос і двигун внутрішнього згорання, що приводить його в дію.

Миють дорожнє покриття за допомогою двох насадок, розміснених перед машиною. Для поливу служать два розприскувачі, котрі встановлені спереду задніх коліс автомобіля. По обох боках машини розташовані два барабани зі шлангами для поливу зелених насаджень та гасіння пожеж.

Нижче наведені технічні характеристики даної марки машини:

Об'єм цистерни, л .....	4000-6000
Ширина поливу, м .....	до 20,0
Ширина миття, м .....	до 7,0
Робоча швидкість, км/год:	
– при поливі .....	до 40
– при митті .....	до 20

В поливо-миючій машині PZ-6 (Польща) спеціальне обладнання машини змонтоване на шасі автомобіля “Стар”. За індивідуальним замовлення машина може бути оснащена циліндричною щіткою для підмітання. До рами цієї щітки прикріплено трубопровід зі спеціальними розпилювачами для зволоження дорожнього покриття під час підмітання. Центробіжний насос, так само як і підмітальна щітка, приводиться в дію від двигуна базового шасі за



допомогою коробки відбору міцності. Насос розміщений в спеціальному відділі передньої частини цистерни.

Дорожні покриття миються за допомогою двох насадок, що розміщені спереду машини. В передній частині машини також змонтовані два розприскувачі для поливу. Ширину поливної смуги регулюють шляхом зміни розмірів вихідної щілини розприскувача.

Нижче наведені технічні характеристики даної марки машини:

Об'єм цистерни, л .....	4500
Ширина поливу, м .....	16
Ширина миття, м .....	3,5
Витрати води, л/м <sup>2</sup> :	
- при митті .....	1,0
- при поливі .....	0,125

В миючій машині американського виробництва Хейл спеціальне обладнання складається із:

- цистерни;
- центробіжного насоса;
- двигуна, що приводить в дію насос;
- трубопроводу з миючими насадками;
- механізмів керування.

Цистерна виготовлена з листової сталі або алюмінію і оснащена поплавковим показником рівня води. Центробіжний насос з двигуном у вигляді єдиного агрегату розміщений на спеціальній рамі між цистерною і задньою стінкою кабіни водія. На деяких машинах даної серії центробіжний насос розміщується позаду цистерни і приводиться в дію від двигуна базового автомобіля за допомогою спеціальної трансмісії та коробки відбору міцності. Дві,

три або чотири миючих насадки встановлюють на трубопроводі за допомогою двох спеціальних конусів для швидкого встановлення насадок в будь-яке положення.

## **2.2. Основи розрахунку поливо-миючих машин**

При розрахунку даних машин визначаються параметри і режими їхньої роботи, потужність, необхідна для роботи, техніко-економічні показники, а також проводяться розрахунки на міцність.

Вихідними матеріалами при визначенні параметрів та режимів роботи машини являється схема розміщення насадок і оптимального положення робочих струменів при митті, що забезпечують найбільшу ширину миючої смуги. При цьому необхідно враховувати, що дорожній одяг якісно миється тільки в тих місцях, на котрі безпосередньо діє робочий струмінь при його зустрічі з дорогою. Положення струменів відносно один до другого і осі машини повинно бути таким, щоб струмені перекривали один одного і переміщували весь потік води із брудом в сторону.

При складанні даної схеми необхідно виходити з того, що найбільша довжина струменя (відстань від вихідного січення насадки до місця зустрічі струменя з дорогою), для збереження компактності і відповідно, реалізованої корисної енергії струменя, не повинна перевищувати 2,5-3,0 м [4].

Для того, щоб вибране на схемі положення насадок можна було повторити на реальній машині, необхідно знати координати вихідного січення кожної насадки по відношенню до дороги. Потім по встановленій за допомогою схеми ширині миття і заданої робочої швидкості та густини визначають основні параметри насадки –

площу поперечного перерізу вихідного отвору і її форму. Аналогічну схему положення насадок і розрахунки виконують і для поливу. Пізніше за отриманими даними визначають критерій змивної дії робочого струменя при митті, котрий дозволяє оцінити кількість енергії, що передає струмінь дорожньому покриттю. Розділ вищеписаних розрахунків завершується гідравлічним розрахунком, за допомогою якого визначають режим роботи насосної установки при митті і поливі дорожніх покриттів. На основі даних, отриманих на цій стадії розрахунків, виконується тяговий розрахунок машини, що дозволяє обґрунтувати один із основних параметрів машини – об'єм цистерни.

### **3. ТЕХНІКА ВИСОКОГО ТИСКУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ**

На сьогодні поливо-миючих машин в чистому вигляді практично не існує. Майже всі поливо-миючі машини, які ми бачимо на дорогах, являються літнім варіантом комбінованих дорожніх машин. Використання багатофункціональних машин з великою кількістю змінного обладнання дає суттєву економічну вигоду – включаються сезонні прості базового шасі. Класична схема полягає у використанні влітку поливо-миючого та підмітального обладнання, а взимку – снігоочищувального, обладнання для розкидання піску і т. д.

Описана схема конструкцій поливо-миючих машин все ще популярна, хоча, звичайно майбутнє за більш удосконаленим (але й більш дорогим) поливо-миючим обладнанням.

Техніку для поливу та миття автомобільних доріг ми розглянули, але в міському господарстві необхідно мити не тільки автомобільні дороги. Крім дорожнього покриття, в інфраструктурі доріг, а також безпосередньо в місті існує величезна кількість конструкцій та споруд, котрі необхідно мити та очищувати їх поверхні, - це тунелі, фасади будинків, огорожувальні конструкції різних видів, придорожні стовпи, знаки, рекламні щити, шумозахисні екрани, малі архітектурні форми та ін.

Спеціально для таких робіт московська компанія на білоруському спецшасі МТЗ Ш-406 створила машину для миття придорожніх шумозахисних екранів, рекламних щитів та стін будинків. Ш-406 являє собою повнопривідну машину з колісною формулою 4x4,

що поєднала в собі властивості вантажного автомобіля і трактора. Миття шумозахисних екранів, рекламних щитів та стін будинків дана машина виконує за допомогою води або спеціальних розчинів під високим тиском. Трьох секційна миюча рейка монтується на маніпуляторі передньої навіски Ducker Uni-Arme 350 і дозволяє встановлювати миючі сопла в будь-якому положенні, справа і зліва по ходу машини. Для миття окремих елементів конструкцій та важкодоступних місць в наявності є ручний пістолет. Максимальна висота миття – 6м, ємність цистерни для миючого розчину – 3м<sup>3</sup>. Існує три варіанта ширини смуги миття – 2, 4 і 6 м.

На підприємствах хімічної та нафтохімічної промисловості, на транспорті і в суднобудуванні, на виробництві пластмас та паперу, в харчовій і фармацевтичній галузях, а також в будівництві, регулярно виникає потреба в очистці ємностей, трубопроводів, поверхонь та конструкцій. Реактори, автоклави, змішувальні ємності і цистерни, труби та трубні теплообмінники необхідно періодично очищувати від накипу та відкладень, старої фарби, іржі, що призводять до зниження виробничої здатності технологічного обладнання і втрати якості кінцевого продукту.

### **3.1. Рідинні струменеві технології обробки поверхонь**

До останнього часу практично єдиним залишався спосіб ручної очистки із застосуванням широкого спектру хімічних реагентів. Даний спосіб, не говорячи про низьку продуктивність та малу ефективність, несе загрозу здоров'ю персоналу і навколишньому середовищу. Крім того, багато об'єктів, такі як внутрішні поверхні

трубопроводів, із застосуванням ручного методу очистити практично неможливо.

В останні роки була розроблена і отримала широке застосування технологія гідродинамічної очистки. Принцип гідродинамічної очистки базується на застосуванні в якості робочого органу водяного струменя, котрий під високим тиском подається в робочу зону через спеціальні насадки. В якості насадок використовуються різні модифікації розподілювачів струменів високого тиску.

Перевагою використання гідроструменевої технології високого тиску являється відсутність виділень газу, пару чи шлаків, висока продуктивність, бережне видалення захисних покриттів і забруднень, відсутність хімічної взаємодії чи змін в структурі поверхні або механічних властивостях оброблюваних частин та матеріалів, високий рівень виробничої безпеки. Підготовлені гідроструменевим методом поверхні дають гарну адгезію при фарбуванні.

Останнім часом суттєво розширилося застосування гідроструменевих технологій для прочищення теплообмінників і на багатьох підприємствах це вже стає нормою. Апарати високого тиску для цих робіт комплектуються каналочисними шлангами, шлангами високого тиску та головками для прочищення. В загальному випадку апарати високого тиску використовуються для обробки турбін, транспортних систем, труб різного діаметра, реакторів, обладнання, радіаторів, конденсаторів, котлів, фільтрів.

Гідроструменеві технології дозволяють:

- проводити очистку бетонних, кам'яних, цегляних та металевих поверхонь, розшивку;
- видалення захисних покриттів і фарби з поверхонь технічного обладнання та конструктивних елементів;
- видалення іржі з металевих поверхонь та решіток, часткове видалення бетону та іржі з арматури;
- надання шершавості бетонній поверхні, розширення щілин в армованому бетоні з наступним їх заповненням;
- миття складних поверхонь.

Водоструменеві системи високого тиску використовуються для вирішення будь-яких проблем, пов'язаних з промисловим очищенням, обслуговуванням та знезараженням. Серед них:

- підготовка поверхонь (видалення фарби, іржі, застарілих захисних покриттів, вибіркоче зняття бетону, очищення залізних решіток, промислових підлог, очищення стінок та днища каналізаційних систем);
- очищення труб та теплообмінників (очистка теплообмінників, холодильників, а також видалення захисного покриття із трубопроводів);
- очищення резервуарів (видалення лаку, фарби, відкладень, гуми із резервуарів, контейнерів, автоклав);
- різання та розбирання (за допомогою ріжучих насадок добре руйнуються матеріали. Установки можуть різати сталь, бетон, армований бетон та кераміку. Технологія різання основана на сучасних розробках в області технологій надвисокого тиску.

Струмінь води може бути використаним в якості ріжучого інструмента, наприклад, в нафтогазодобувній промисловості, в будівництві, в сфері технічного обслуговування, в хімічній промисловості.);

- інші види застосування (не має меж щодо застосування гідроструменевих технологій).

За допомогою технологій високого тиску можна очистити великогабаритні споруди, такі як: фасади будівель, об'єкти дорожнього господарства або взльотно-посадочні смуги аеропорту, враховуючи, що дані технології являються суттєвим гарантом успішного обслуговування та безпечного використання.

Гідроструменеві технології високого тиску також застосовуються:

- для очищення фільтрів та сит;
- для очищення каналізаційних систем;
- в хімічній промисловості (майже в усіх галузях хімічної промисловості, а особливо при виробництві, переробці, перевезенні і зберіганні хімічних речовин);
- в автомобільній промисловості;
- для обслуговування та ремонту суден, а також для антикорозійного захисту;
- для видалення гумового покриття із трубопроводів;
- для внутрішнього і зовнішнього очищення трубопроводів;
- для очищення труб великого діаметру;
- для очищення повністю або частково засмічених труб;
- для очищення печей для обпалювання цементу;



- для очистки обладнання в процесі роботи;
- для очищення цистерн, резервуарів-відстійників;
- для різання каміння, скла, нержавіючої сталі, технологічних отворів, трубопроводів, резервуарів, різання конструкційних матеріалів;
- для різання та розбирання армованого бетону.

Основним завданням апаратів високого тиску є видалення стійких забруднень, що являється на сьогоднішній день актуальним для застосування даних систем у міському господарстві.

У вітчизняній та зарубіжній практиці в даний час широко застосовуються гідравлічні струменеві технології та обладнання для обробки поверхонь. Суть методу гідравлічних струменевих технологій заключається у використанні ефекту силової дії малорозмірного струменя рідини високого тиску на поверхню, що обробляється. За допомогою рідинних струменевих технологій вирішується широке коло питань від очищення технологічних поверхонь від старих лакофарбних та ізолюючих покриттів до видалення корозії та різки матеріалів.

Розрізняють два різновиди цього методу:

- водоструменева обробка з використанням кінетичної енергії струменя рідини (як правило, води), що витікає під високим тиском з сопла;
- гідроабразивна обробка поверхонь, при якій на поверхню діє струмінь води, змішаний з абразивом.

Графік, зображений на рис. 3.1 ілюструє сфери застосування рідинних струменевих технологій в залежності від тиску і витрати

води. Зокрема очищення поверхонь від забруднень здійснюється при тиску води від 20 МПа і вище при витраті води від 16 л/хв. Видалення старих лакофарбних та ізолюючих покриттів в інтервалі тиску 50 – 80 МПа і витратах води 20 – 100 л/хв. Руйнування бетону та різка автопокришок при тиску 80 – 120 МПа і витратах води до 100 л/хв при цих же параметрах струменя досягається ефект різки граніту та інших видів природного каменя.

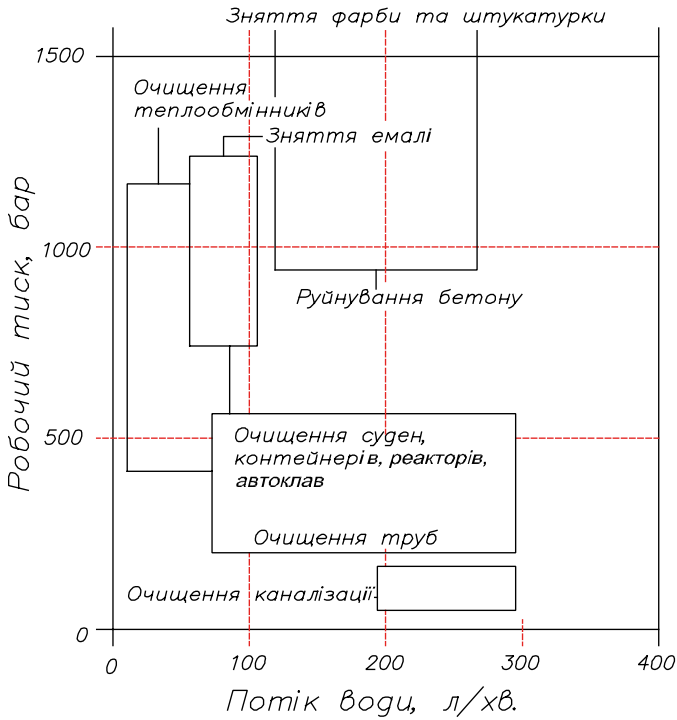


Рис. 3.1. Галузі застосування гідроструменевого обладнання

Застосування абразиву дозволяє суттєво розширити можливості методу зокрема видаляти корозію металу і очищувати мета-

ліві поверхні до “білого” металу, що відповідає класу Sa 2,5 за міжнародною класифікацією при тиску від 30 МПа і витратах рідини від 15 л/хв. Різка металу здійснюється гідроабразивним струменем тиском 150-300 МПа при малих витратах води.

### **3.2. Водоструменева обробка поверхонь**

Водоструменеві гідравлічні установки, що працюють без застосування абразиву, найбільш прості по конструкції, надійні в експлуатації і широко застосовуються для очищення поверхонь технологічного обладнання, транспортних засобів, деталей машин перед ремонтом, підводних частин суден, нафтоналивних ємностей від парафінів та багато ін.

Водоструменеві установки почали широко застосовуватися на заводах важкого машинобудування в першій половині минулого сторіччя. З їх допомогою проводилось очищення сталевого та чавунного литва від формувальних сумішей та видалення стержнів з відливок. Затрати праці при видаленні стержнів гідроструменевим способом в 5-7 разів нижчі, ніж при застосуванні вібраційних технологій.

Сутність водоструменевого методу видалення ливарних стержнів з відливок базується на взаємодії струменя води із стержнем. Від насосної станції вода під високим тиском по трубопроводах подається до очисної камери, в якій встановлюється відливок. Трубопроводи високого тиску за допомогою гнучких рукавів високого тиску з'єднані з струменевим робочим інструментом, наприклад струменевим пістолетом з соплом, який через отвір встанов-

люють в очисній камері. Пістолет встановлюють таким чином, щоб струмінь, який витікає з сопла попадав на стержень або поверхню відливки. Струмінь, що діє на стержень проводить подвійну дію – ріжуча та розмивна.

Ріжуча дія струменя пов'язана з тим, що струмінь розрізає стержень на частини і видаляє їх з відливок окремими шматками. Ріжуча дія буде тим більше чим більше тиск, при якому струмінь витікає з сопла.

Розмивна дія приводить до розмиву матеріалу стержня і видалення його у вигляді дрібних часток. Розмивна дія струменя тим вище, чим більше витрати води, що витікає з сопла.

Таким чином для ефективної роботи установки необхідно вибрати такий діаметр сопла, який буде забезпечувати оптимальне співвідношення тиску і витрати води. Очевидно, що співвідношення тиску і витрати води може бути забезпечено оптимальним вибором параметрів насоса. В результаті експериментів і накопиченого досвіду експлуатації визначені оптимальні параметри тиску і витрати води.

Для ефективного використання руйнівних властивостей струменя його розпад повинен бути мінімальним. Для формування найбільш компактного струменя використовують конічні сопла з кутом конусності  $13,5^\circ$  і циліндричною частиною на виході, довжина якого становить  $1,0 - 1,2$  діаметру на вході.

Крім того, на якість струменя суттєво впливають вихрові токи, що виникають в соплі. Для їх зменшення використовують вирівнювачі у вигляді поздовжніх ребер, що встановлюються в каналі

сопла. Вирівнювачі сприяють збереженню компактної зони струменя по його довжині і відповідно підвищують руйнуючі властивості струменя.

В цілому ефективність застосування водоструменевої обробки відливок для видалення стержнів і залишків формувальних сумішей визначається низкою факторів, основними з яких:

- тиск і швидкість з якою струмінь води взаємодіє з поверхнею, що обробляється;
- кількість робочих сопел;
- відстань від сопла до поверхні, що обробляється;
- характер литва, що обробляється.

На початку сімдесятих років ведучі виробники освоїли випуск водяних насосів високого (до 150 МПа) і надвисокого (до 250 МПа) тиску. Це значно підвищило ефективність водоструменевої обробки і розширило сфери її застосування.

В даний час ведучі фірми-виробники, такі як Хаммельманн, Вома, Аквадайн і ін. випускають широкий спектр насосного устаткування з регулюючою та запобіжною апаратурою і різноманітним робочим інструментом, що дозволяють вирішувати комплекс задач по очищенню поверхонь різної форми від нашарувань будь-якої фізичної природи.

Сучасна водоструменева установка це, як правило, багатофункціональна, гідроструменева система високого тиску, що налаштовується в залежності від задач, що вирішуються і може бути застосована в хімічній, будівельній, металургійній, енергетичній і іншій галузях промисловості, а також у технологічних процесах

промислових підприємств. Для приводу насоса може використовуватися дизельний чи електричний двигун. До складу комплексу робочого інструмента водоструменевої установки, у залежності від розв'язуваних задач, можуть входити:

- ручний інструмент з обертовими сопловими насадками;
- гідроочисники для будь-яких поверхонь з обертовими і нерухомими сопловими голівками;
- пістолети високого тиску різної конструкції;
- інструмент для очищення труб і теплообмінників;
- пристрої для очищення резервуарів, що обертаються в двох площинах;
- пристрої для очищення каналізації;
- піскоструминна насадка;
- ежектор для вбирання шламу та ін.

Широке застосування знаходять методи гідроочищення при проведенні ремонту будинків і споруд, для очищення залізобетонних конструкцій. Для вирішення таких задач застосовуються установки з робочим тиском від 40 до 80 МПа з витратою води до 80 л/хв.

Для очищення поверхонь від старих лакофарбових і ізоляційних покриттів застосовуються роторні насадки з двома і більше соплами. Ці пристрої являють собою ротор з установленими на ньому соплами, що приводиться в обертання реактивною силою струменя, що витікає з сопла, яке встановлено під кутом до осі ротора, або окремим двигуном. При цьому струмені рідини сканують по поверхні, що очищується. Застосування роторних насадок до-

зволяє істотно підвищити продуктивність очищення. Роторні голівки застосовуються зокрема для видалення старих ізоляційних покриттів при ремонті нафто- і газопроводів. Для цього застосовується насосне устаткування, що створює тиск до 150 МПа і витрати 100 л/хв. Так, самохідний гідроочисник, що працює в складі колони по ремонту трубопроводів фірми CRC з дизельним приводом потужністю 185 кВт, забезпечує видалення старих покриттів трубопроводу зі швидкістю до 60 м/год.

Роторні насадки застосовуються для видалення окалини при прокатці сталевих листа.

Застосування устаткування типу "Аквабласт" дозволяє ефективно очищати надводні і підводні поверхні суден, підлоги фарбувальних камер і виробничих приміщень, поверхні ґрат і т.п.

За допомогою водоструменевого устаткування з поверхні пам'ятників, будинків і інших будівельних споруд можна видаляти будь-які нашарування, такі як фарба, бітум, пластмаси та ін. При цьому роботи з очищення проводяться без забруднення навколишнього середовища.

### 3.3. Гідроабразивна обробка поверхонь

Застосування водоструменевого методу для очищення поверхонь не завжди дає позитивні результати, що пояснюється недостатньою силовою дією струменя на поверхню, що очищається. Зокрема, при обробці металів водоструминний метод не дозволяє знімати поверхневий шар і видаляти пригар і корозію до "білого металу", що відповідає ступеню очищення Sa 2,5 по міжнародному стандарту. Тому було розроблено установки, у яких у струмінь води високого тиску вводиться абразив, що істотно підвищує ефективність роботи пристрою. За даними [6] при видаленні стержнів з відливки введення піску в струмінь води значно підвищує його руйнівні властивості. Так при вмісті 8-10% піску руйнівні властивості водяного струменя зростають у 10-12 разів.

Гідроабразивна обробка є однією з різновидів струйно-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 [7].

Аналіз відомих методів струйно-абразивної обробки показує, що характер будь-якого методу струйно-абразивної обробки визначається схемою дії застосовуваного розпилювача [8], що завжди можна виразити формулою: середовище обробки - прискорювач енергії абразивних часток - речовини, що подаються в розпилювач для здійснення процесу обробки.



Середовищем обробки може бути повітря (П), рідина (Р), рідина з абразивом (РА), електроліт (Е) і т.д. Як прискорювачі руху абразивних часток можуть застосовуватися рідини, електроліти, повітря, а також різні пристрої механічного чи електричного типу, що рухаються з великою швидкістю. До числа таких пристроїв можна віднести лопатки коліс, що обертаються з високою швидкістю (Л), камери електричних розрядів (Р) і т.д.

Способи струменево-абразивної обробки, показані на рис.3.2, відповідно до правила, що рекомендується, записуються в такий спосіб: а) піскоструменева обробка П - П - П,А; б) струменево-абразивна обробка з подачею суспензії, що ріже, від насоса П - ПА - ПА; в) струменево-абразивна обробка з ежекцією суспензії, що ріже, і прискоренням часток повітрям П - П - Р, А, П; г) гідроабразивна обробка П - Р - А, Р. Застосування структурних формул дозволяє визначити різні методи обробки шляхом простих перестановок символів.

Аналіз особливостей різних способів струйно-абразивної обробки показує, що найбільш ефективною є гідроабразивна обробка, при якій прискорення абразивних часток здійснюється струменем рідини, що витікає з сопла під високим тиском (рис.3.2 г). Це пояснюється тим, що в цьому випадку використовується як ефект силової дії струменя рідини, так і ефект абразивного руйнування поверхні твердого тіла. Струмінь рідини відриває забруднення від поверхні, що обробляється з наступним його віднесенням вторинним потоком, а абразивні частки, володіючи запасом кінетичної

енергії, що перетвориться в роботу різання, відокремлює від оброблюваної поверхні мікростружку.

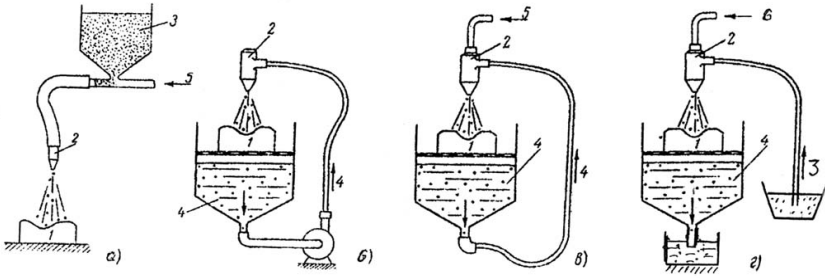


Рис. 3.2. Способи струменево-абразивної обробки:  
 1 – поверхня, що обробляється; 2 – розпилювач; 3 – абразив;  
 4 – абразивна суспензія; 5 – повітря; 6 – вода

Застосування абразиву істотно розширює сферу застосування водоструминних установок. У вітчизняній і закордонній практиці гідроабразивна обробка застосовується в наступних операціях: очищення литва; зменшення шорсткості поверхні деталей; зняття завусениць і підготовка листової сталі під фосфатування; підготовка крайок для зварювання і пайки; зачищення швів після зварювання і пайки; видалення забруднень з поверхні прокату; одержання матових поверхонь на деталях; очищення металоконструкцій від корозії перед нанесенням покриття; декоративна обробка поверхонь деталей та ін.

### 3.4. Аналіз конструктивних особливостей струменевих апаратів для гідроабразивної обробки

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

Принципова схема струминного апарата показана на рис. 3.3. 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 абразив 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.

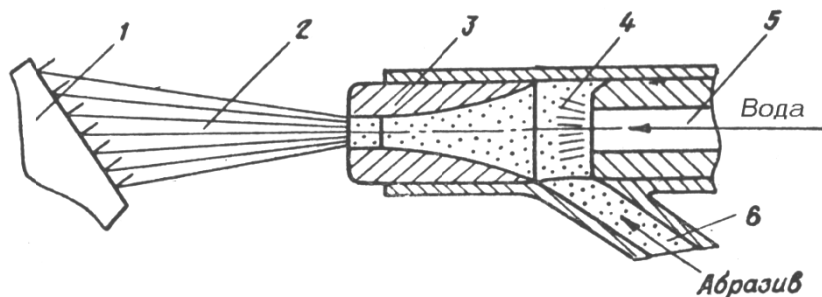


Рис. 3.3. Принципова схема струменевого апарата

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 змішува-

льній камері і фокуруючому 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 розділена на три ділянки [10], 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 [10].

Ділянка 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 засмоктується абразивний матеріал і прискорюється високошвидкісним струменем [10].

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

Розглянемо приклади конструктивних рішень найбільш характерних струминних апаратів.

На рис. 3.4-І показано принципову схему одноступінчастого ежекторного струменевого апарата основними елементами якого є: патрубок 1, по якому здійснюється підведення води під високим тиском до сопла живлення 2, у якому формується високошвидкісний водяний струмінь. Водяний струмінь, проходячи через камеру змішання 4, створює в ній розрядження і попадає у фокусуєчи сопло 3. Абразивний матеріал засмоктується в змішувальну камеру через патрубок 5 і захоплюється водяним струменем і подається у фокусуєчи сопло 3 і далі на поверхню, що оброблюється.

У деяких роботах відзначається, що для даної схеми основним конструктивним параметром, що визначає якість роботи при-

строю, є відношення площі поперечного переріза фокуруючого сопла F3 до площі поперечного переріза сопла живлення F2.

$$K = F3 / F2 = D2 / d2 ,$$

де D і d - відповідно діаметри сопел.

Для нормальної сталої роботи пристрою за даними зазначене відношення K повинне бути більше 3. Кути конуса сопла живлення 10 – 13°, фокуруючого 13 – 15°.

На рис. 3.4-II показано схему двоступінчастого ежекторного струменевого апарата. На відміну від першої схеми пристрій облаштовано додатковою камерою змішання, у яку подається додатковий потік води під високим тиском, що дозволяє збільшити швидкість гідроабразивного потоку, що, у свою чергу, підвищує ефективність обробки поверхні.

Приклади конструктивних рішень ежекторних струминних апаратів показані на рис. 3.5.

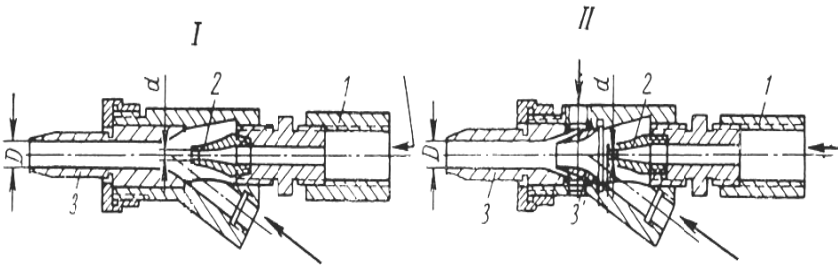


Рис. 3.4. Принципова схема ежекторних струменевих апаратів

На рис. 3.5-а показаний струменевий апарат у який абразивний матеріал всмоктується через штуцер 1 у напрямку, дотичному до кільцевої порожнини 2. Тому при вході в неї абразивний потік не

розбивається об трубку 3, а спрямовується до виходу з апарата через напрямну 4 і сопло 5, здійснюючи плавний спіральний рух. Змішування абразиву з потоком, що прискорюється, відбувається після його виходу з сопла живлення 6. Трубка 3 і напрямна 4 закріплені на корпусі 8 накладними гайками 9 і 10.

Трубка 3, сопло 6 і напрямна 4 ущільнені прокладками 11, 12, 13. Характерною рисою струминного апарата показаного на рис.3.5-б є те, що фокусуючи сопло набирається з мінералокерамічних кілець, що можуть бути легко замінені в залежності від зносу.

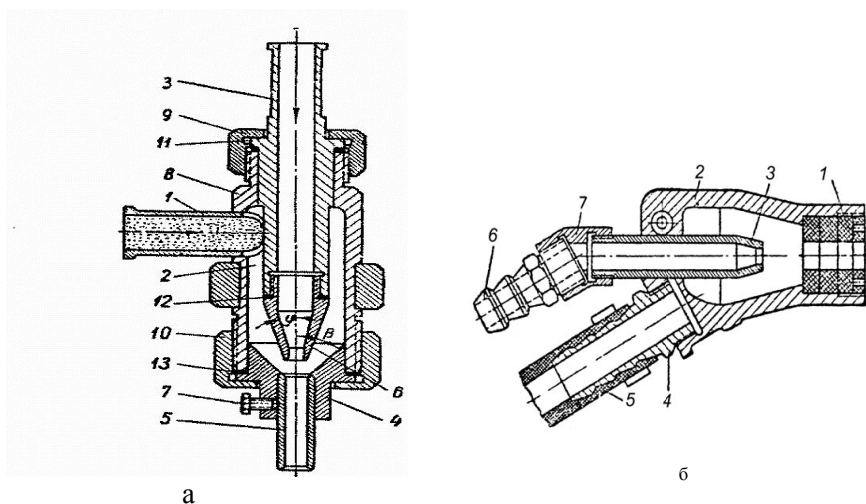


Рис. 3.5. Ежекторні струменеві апарати

Приклад конструкції двоступінчастого струменевого апарата показаний на рис.3.6.

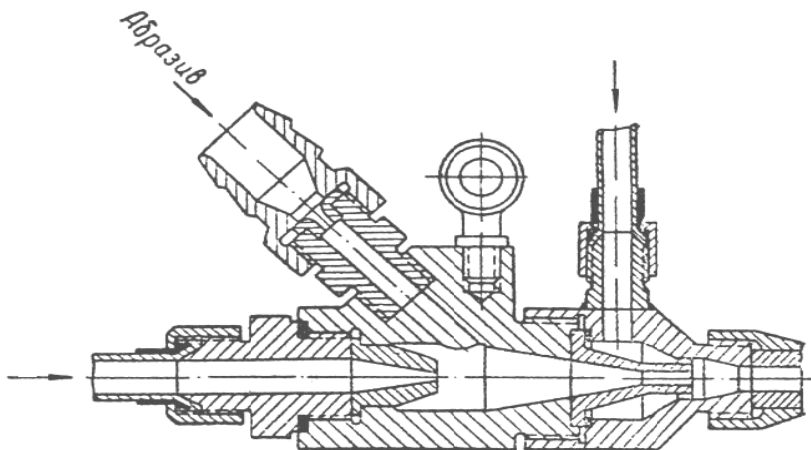


Рис.3.6. Двоступінчастий струменевий апарат

Відзначається, що дана конструкція працює нестабільно і вимагає постійного регулювання, що викликає складності при його застосуванні в безупинних процесах.

Основним недоліком струменевих ежекторних апаратів є те, що внутрішній діаметр фокуруючого сопла, яке безпосередньо контактує з високошвидкісним гідроабразивним струменем, піддається інтенсивному зносу і його діаметр весь час збільшується. Це приводить до зростання коефіцієнта  $K$ . При цьому різко падає розрядження в змішувальній камері струминного апарата, тому абразив, що надходить у змішувальну камеру осаджується в трубопроводах підводу абразиву і забиває їх.

Одним зі шляхів усунення цього недоліку є застосування для виготовлення фокуруючих сопел надтвердих матеріалів на основі металокераміки. Так наприклад застосування карбїду бора дозволяє підвищити стійкість сопла на два порядки у порівнянні соп-



лами, що виготовлені з вуглецевих сплавів. Іншим напрямком є створення конструкцій апаратів в яких виключається контакт робочих поверхонь, з високошвидкісним гідроабразивним потоком.

На рис.3.7 показана конструкція струменевого апарата принцип дії якого полягає в роздільному витіканні води і пульпи (суміш абразиву з водою) [8]. Апарат складається з корпусу 4 до якого за допомогою накидної гайки 5 кріпиться конічне сопло 2. По осі корпусу встановлено сопло 1 з циліндричним каналом. Причому сопло 1 встановлено таким чином, що його зовнішня поверхня утворює з внутрішньою поверхнею сопла 2 кільцевий канал.

Пристрій працює в такий спосіб: пульпа за допомогою насоса під тиском до 0,1 МПа подається у циліндричний внутрішній, канал сопла 1 а по зовнішньому, конічному каналу сопла 2 надходить вода під високим тиском. Змішання струменів пульпи і води відбувається після виходу з пристрою у фокусі, що знаходиться на деякій відстані від зрізу сопла. При цьому кільцевий струмінь води, що виходить з апарата під високим тиском і має набагато більшу швидкість, ніж струмінь пульпи, як би обжимає останній, не даючи часткам абразиву розлетітися в сторони. Розгін загального водоабразивного струменя високого тиску відбувається на деякій відстані від зрізу сопла. Таким чином виключається контакт високошвидкісного водоабразивного струменя з елементами конструкції пристрою, що виключає виникнення процесів зносу.

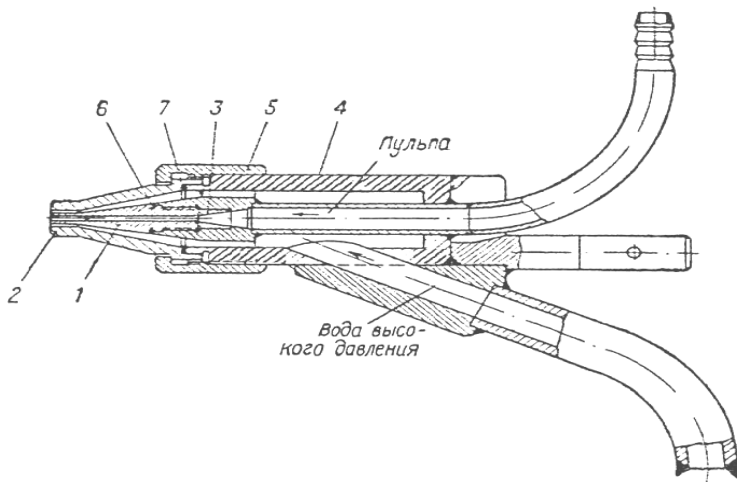


Рис. 3.7. Струменевий апарат з роздільним витіканням води і пульпи

У наслідок того, що швидкості руху пульпи в каналі відносно невисока (порядку 10-15 м/с) його знос є незначним і не позначається як на роботі пристрою, так і на характері водообразивного струменя високого тиску. Струмінь води з абразивом, що виходить з пристрою, на всій робочій ділянці компактний і характеризується потужною руйнівною дією.

Конструкція струменевого апарата з примусовою подачею суспензії показана на рис. 3.8. Пристрій складається з корпусу 1 в якому встановлено сопло 7, втулка 5 з подвійним конусом, трубка підводу абразиву 4 з різьбою 8, букси 2 і 3 підводу рідини. Зовнішня поверхня трубки 4 і вузька частина втулки 5 утворюють кільцевий канал, а дифузорна частина втулки і конфузорна частина сопла утворюють змішувальну камеру 6.

Пристрій працює наступним чином: абразивна суспензія надходить в апарат через штуцер в буксі 3 і по трубці 4 подається у змішувальну камеру 6 сюди ж через штуцер 2 і кільцевий канал надходить вода під високим тиском. В камері 6 відбувається змішування абразивної пульпи з водою а в конічній частині сопла 7 відбувається формування водоабразивного струменя, який подається на поверхню, що оброблюється. Вихідний торець трубки 4 може переміщатися щодо втулки 6 гвинтом 8, що дає можливість регулювати кількість абразиву в потоці.

Однією з специфічних задач є очищення зовнішніх і внутрішніх поверхонь труб при їх виробництві і перед нанесенням антикорозійного покриття.

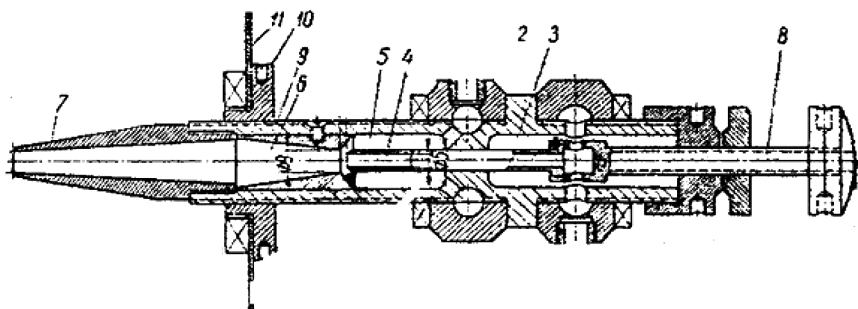


Рис. 3.8. Ступеневий апарат з примусовою подачею суспензії

Для видалення окалини й іржі з зовнішніх поверхонь труб може застосовуватися практично будь-який струменевий апарат, що описано вище. Крім того, якщо обробка провадиться в заводських умовах є доцільним застосування пристроїв в яких встановлюється труба, що оброблюється і їй задається обертовий рух, а струменевому апарату - поступальний, що забезпечує сканування зов-

нішньої поверхні труби водоабразивним струменем. При цьому важливе значення має правильний вибір співвідношення швидкості обертів труби, поздовжнього переміщення робочого інструменту. Підвищити ефективність очищення дозволяє застосування різноманітних пристроїв зокрема еластичних екранів [10] один з варіантів якого показано на рис.3.9.

Відбивач встановлюються в такий спосіб, щоб він плавно зближався з криволінійною поверхнею, утворюючи з нею додаткове сопло. У зазорі між відбивачем і деталлю більш повно використовується енергія гідроабразивного струменя. Недоліком такого пристрою є швидкий знос екрану, який знаходиться в зоні взаємодії гідроабразивного струменя з деталлю, що обробляється.

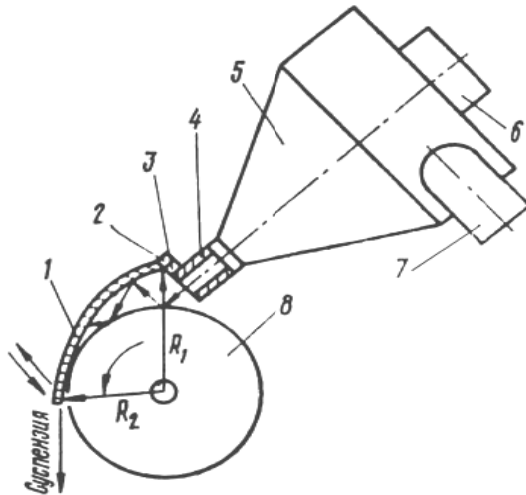


Рис. 3.9. Струменевий апарат з екраном для обробки зовнішніх поверхонь труб: 1 – еластичний екран; 2 - вісь; 3 - кронштейн; 4 - сопло; 5 - корпус струминного апарата; 6 - штуцер подачі води; 7 - штуцер подачі абразиву; 8 - оброблювана труба

Струменеві апарати, що застосовувані для очищення внутрішніх поверхонь труб діаметром 50-150 мм, показані на рис. 3.10.

Пристрій із гнучким шлангом рис. 3.10-а застосовується для обробки вигнутих труб. Для того щоб сопло постійно знаходилося на осі труби, застосовують кільце, яке його центрує. Пристосування для введення гнучкого шланга в трубу кріпиться з зовнішньої сторони.

Сопло з борштангою (рис. 3.10, б) [9] застосовується для обробки прямих труб. Цей пристрій складається зі штуцера 7 для підведення абразиву, штуцера 8 для підводу води під тиском внутрішньої 10 і зовнішньої 9 труб, накидної гайки 6, сопел 5 і 3, корпусу сопла 1, гайок 2 і 4 для кріплення сопла.

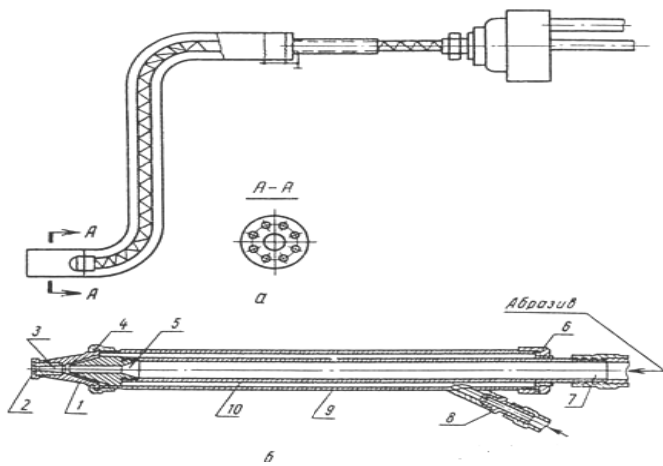


Рис. 3.10. Струменеві апарати для очищення внутрішніх поверхонь труб

Пристрій працює наступним чином. Абразивна суспензія подається через штуцер 7 і внутрішню трубу в сопло 5. Вода під високим тиском подається через штуцер 8 по кільцевому каналу,

що утворюється зовнішньою і внутрішньою трубами. Гідроабразивний потік утворюється в змішувальній камері і подається в сопло 5, а з нього на внутрішню поверхню, що оброблюється. Апарат вводиться в трубу, що очищується і переміщується за допомогою механічних пристроїв.

Підсумовуючи, можна сказати, що ми розглянули основні струменеві технології високого тиску, що застосовуються для очищення зовнішніх та внутрішніх поверхонь.

## **4. РОЗРОБКА ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ РОБОЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ВОДОСТРУМЕНЕВОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ**

В процесі виконання роботи було розроблено дослідні зразки робочого інструменту для струменевого очищення поверхонь, такі як: водопіскоструменевий ежектор, роторна головка, сопло-римач універсальний.

### **4.1. Гідроабразивний ежектор**

Для реалізації гідроабразивного методу очищення поверхонь було розроблено і виготовлено дослідний зразок гідроабразивного ежектора - пристрою для гідроабразивного очищення поверхонь.

Для гідроабразивного очищення поверхонь застосовувався пристрій з примусовою подачею абразиву. Він містить корпус, центральне сопло для подачі абразивної суміші низького тиску і розташований зовні концентрично до нього конічний насадок для подачі рідини під тиском. Недоліком даного пристрою є недостатня енергетична ефективність, що пояснюється необхідністю додаткових витрат енергії для подачі під тиском абразивної суспензії.

Більш ефективним є піскоструйний пристрій, що містить повітряне сопло, яке встановлено у корпусі з утворенням камери розрядження і вставку, яку виконано у вигляді металевої сітки, а канал для проходження стислого повітря з'єднано з камерою розрядження.

У відомому пристрої для досягнення результату у якості енергоносія використовують струмись стислого повітря, який створює вакуум у камері розрядження в яку подається абразив за рахунок всмоктування по вісі перпендикулярній напрямку струменя. Двофазний струмись через вставку, виконану у вигляді металевої сітки подається на поверхню, що оброблюється при цьому на внутрішній поверхні вставки утворюється захисний шар абразиву, який зменшує прохідний переріз вставки, що суттєво зменшує ефективність процесу обробки і може привести до його критичного зменшення. Крім того, спосіб підведення абразиву і конструкція камери розрядження не дозволяє отримати рівномірний двофазний струмись, що знижує якість очищення поверхні. Суттєво погіршує енергетичні та експлуатаційні характеристики відомого пристрою використання стислого повітря як енергоносія.

Метою розробки було удосконалення піскоструменевого пристрою шляхом зміни конструкції камери розрядження, вставки для формування струменя і зміни енергоносія забезпечити підвищення енергетичної ефективності та продуктивності пристрою при очищенні поверхонь.

Поставлена мета досягається тим, що пристрій для гідроабразивного очищення поверхонь містить сопло, що встановлене у корпусі з утворенням камери розрядження і вставку для формування двофазного струменя, згідно з винаходом в корпусі встановлено гідравлічне сопло, а камеру розрядження виконано у вигляді конуса, в якому канал підводу абразиву розташовано по дотичній до його



го поверхні при цьому вставку виконано зі зносостійкого матеріалу у вигляді конуса з циліндричною частиною.

При застосуванні відомого пристрою утворення двофазного струменя, яким оброблюється поверхня здійснюється за рахунок всмоктування абразивних часток в камеру розрядження з подальшим їх захопленням повітряним струменем при цьому потік абразиву при вході в камеру нерівномірно розподіляється по її об'єму, що приводить до нерівномірного зносу поверхні камери розрядження і вставки. Крім того неоднорідність двофазного потоку при його виході із вставки приводить до зниження ефективності обробки поверхні, а ефективність струменя знижується внаслідок зменшення прохідного перерізу вставки при налипанні абразиву на її внутрішню поверхню, що може привести до повної втрати працездатності пристрою.

Використання камери розрядження у вигляді конуса з підводом абразиву по дотичній до його поверхні, у пристрої що заявляється, забезпечує формування потоку абразиву у вигляді спіралі при цьому частки абразиву поступово набирають високу швидкість і рівномірно розподіляються по об'єму камери розрядження. Це забезпечує рівномірний знос поверхні камери і вставки і рівномірне перемішування часток абразиву з енергоносієм, що підвищує енергетичну ефективність струменя. Виготовлення вставки у вигляді конуса з циліндричною частиною на виході виключає можливість зменшення її перерізу за рахунок налипання абразиву на її внутрішню поверхню.

У відомому пристрої як енергоносії використовують струмись стислого повітря, який утворює двофазний пневмоабразивний струмись. У пристрої, що заявляється як енергоносії використовується рідинний струмись високого тиску, що підвищує його енергоефективність. Це пояснюється більшою ефективністю водоабразивного струменя, в якому абразивні частки переміщуються з високою швидкістю в потоці рідини і при взаємодії з поверхнею поєднується ефект струменевоабразивної обробки з ефектом силової дії водяного струменя. Крім того застосування водоабразивного струменя зменшує забруднення навколишнього середовища за рахунок виключення пилоутворення при взаємодії пневмоабразивного струменя з поверхнею [15].

Схему пристрою для гідроабразивного очищення поверхонь показано на рис.4.1.

Пристрій працює наступним чином: вода під високим тиском через штуцер 8 подається в сопло 3, яке за допомогою утримувача 5 встановлено в корпусі 1 і фіксується гайкою 7. В соплі формується рідинний струмись, який поступає в камеру 4 де створюється розрядження. За рахунок розрядження в камеру через штуцер 9 всмоктується абразив у вигляді сипучої суміші. В камері 4 відбувається змішування абразиву з потоком рідини і утворення двофазного потоку, який через вставку 2, що фіксується у корпусі за допомогою гайки 6 поступає на поверхню, що оброблюється.

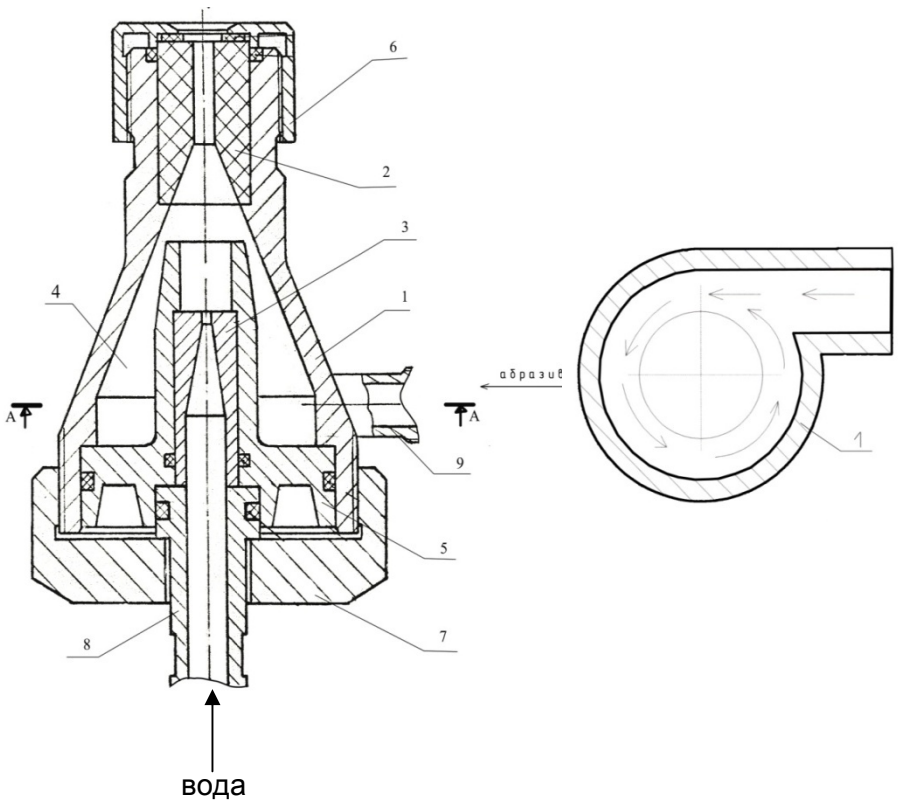


Рис. 4.1. Схема пристрою для гідроабразивного очищення поверхонь

На рис. 4.2 показано дослідний зразок гідроабразивного ежектора.

Деталі ежектора виготовлено з нержавіючої сталі а фокучи сопло з карбіду бору.



Рис. 4.2. Гідроабразивний ежектор

#### **4.2. Роторна головка**

Для водоструменевого очищення поверхонь великої площі застосовують роторні пристрої, які формують групу струменів (два і більше), що обертаються навколо осі, співпадаючої з напрямком дії струменів. При цьому здійснюється багаторазова взаємодія струменя з поверхнею, що оброблюється. Формування струменів відбувається у соплах, що встановлені в корпусі який обертається під дією реактивної сили струменя.

Тримірне моделювання конструкції роторної головки було виконано за допомогою програми Solid Works, та в подальшому експортована у програму ANSYS, для побудови сітки, завдання граничних умов, характеристик матеріалу та прикладення навантаження. Зовнішній вигляд тримірної моделі роторної головки показано на рис. 4.3.

Водоструменева головка містить корпус з виконаним у ньому центральним отвором та круговою проточкою, що перетинається із отворами складної конічної форми. Сопла встановлюються в корпусі і мають внутрішній канал, який звужується у сторону руху води. Канал розміщено під кутом до основної осі сопла, аналогічно конічним отворам у головці. Заспокоювач струменя виготовлено у вигляді обойми, яка встановлюється у канал кожного із сопел, та слугує для заспокоєння руху рідини по звужуючому каналу.

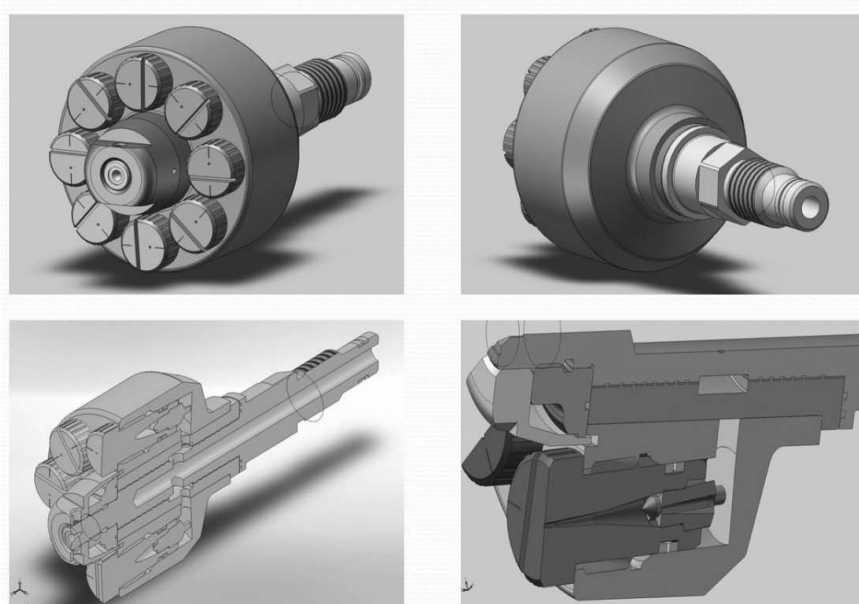


Рис. 4.3. Вигляд водоструменевої головки ззовні та у розрізі

До корпусу вода підводиться по внутрішньому каналу валу, навколо якого здійснюється обертання корпусу. На основі тримірної моделі та аналізу поля напружень, розроблено робочі креслення

роторної головки і виготовлено дослідний зразок зовнішній вигляд якого показано на рис. 4.4.



Рис. 4.4. Дослідний зразок роторної головки

### **4.3. Водоструменеві сопла і допоміжне обладнання**

Для проведення очищення поверхонь застосовують сопла в яких формується високонапірний струмінь різної форми основними з яких є струмені круглої в перерізі і плоскої форми. Круглий струмінь є найбільш потужним і використовується для очищення стійких забруднень а при надвисоких тисках понад 80 мПа для різки матеріалів. Однак площа взаємодії такого струменя з поверхнею є невеликою а тому продуктивність очищення є недостатньо високою. Плоский струмінь менш потужний однак площа його взаємодії з об'єктом значно більша тому його доцільно використовувати при очищенні поверхонь великої площі з менш стійким забрудненням.

Основними вимогами при проектуванні сопел є забезпечення формування потужного компактного струменя при мінімаль-

ному гідравлічному опору. Це досягається з одного боку шляхом ретельних гідравлічних розрахунків форми проточної частини сопла, а з другого боку вибором технології виготовлення сопла. Основними експлуатаційними вимогами до сопел є можливість їх швидкої заміни без застосування допоміжного інструменту.

В процесі виконання роботи розроблено і виготовлено дослідні зразки сопел для формування круглого і плоского струменів і пристрою для установки сопел на штанзі струменевого пістолета (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Дослідний зразок універсального соплотримача

Розроблені пристрої дозволяють швидко змінювати сопла без застосування будь-якого інструменту і встановлювати його на штагу струменевого пістолета. Конструкція забезпечує надійне герметичне з'єднання.

## **5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧОГО ІНСТРУМЕНТУ**

### **5.1. Експериментальна установка для проведення випробувань на функціонування робочого інструменту**

Під час виконання науково-дослідної роботи про багатофункціональне обладнання гідроструменевих технологій високого тиску для ремонтних робіт у міському господарстві було розроблено спеціальну експериментальну установку для проведення випробувань на функціонування робочого інструменту.

Для проведення експериментальних досліджень розроблено експериментальний стенд, схему якого показано на рис. 5.1.

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



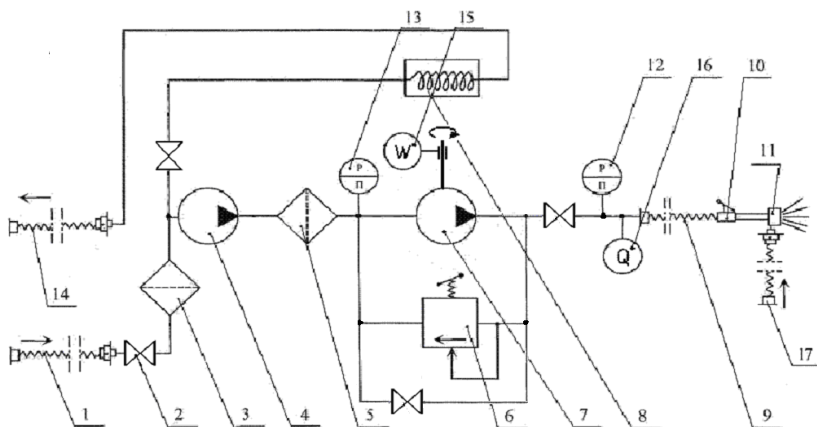


Рис. 5.1. Гідравлічна схема експериментальної установки:

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 гідропістолет з подовжувальною штангою; 11 – гідрообразивна насадка; 12 - манометр високого тиску; 13 - манометр низького тиску; 14 - зливний шланг системи охолодження насоса високого тиску; 15- тахометр; 16 – витратомір; 17 – рукав подачі абразиву

Система високого тиску складається:

- трьох поршневій насос високого тиску 2,3 ПТ 1/40 ( витрата -  $1 \text{ м}^3/\text{год}$ , потужність - 15 кВт, максимальний робочий тиск – 40 МПа).

Система охолодження насоса високого тиску складається з наступних елементів:

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

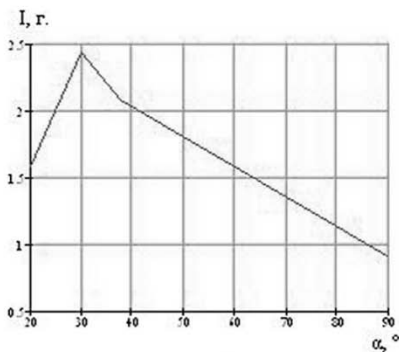
Система регулювання тиску складається з наступних елементів:

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

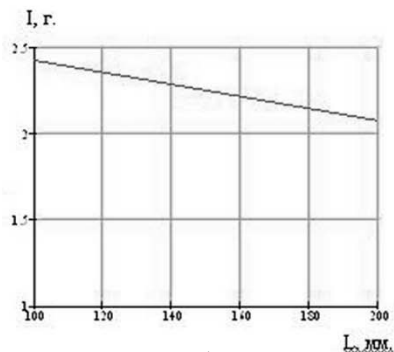
Принцип роботи гідросистеми описано нижче.

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 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 „байпас” потоки. Витрата води через „байпас” 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. Через подовжувальну штангу вода потрапляє в гідроабразивну насадку, де відбувається перемішування швидкісного струменю води із абразивними частками.

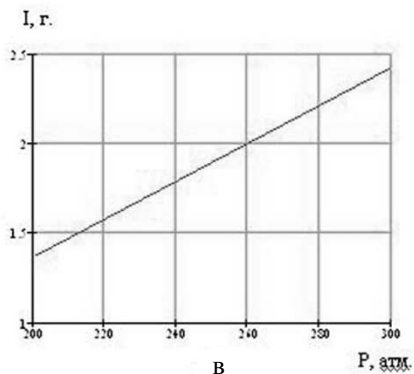
Для проведення експериментальних досліджень було розроблено і виготовлено експериментальну установку для фіксації дослідних зразків, яку показано на рис. 5.2



а



б



в

Рис. 5.5. Залежності зносу алюмінієвого сплаву  $I$  від тиску гідроабразивного потоку, кута нахилу робочого інструменту до поверхні  $\alpha$  і відстані від сопла робочого інструменту до поверхні зразка: а - від кута  $\alpha$  при постійних значеннях  $P = \text{const} = 300 \text{ атм.}$ ,  $L = \text{const} = 100 \text{ мм.}$ ; б - від відстані між ежектором та зразком  $L$  при постійних значеннях  $P = \text{const} = 300 \text{ атм.}$ ,  $\alpha = \text{const} = 30^\circ$ ; в - від тиску  $P$  при постійних значеннях  $L = \text{const} = 100 \text{ мм.}$ ,  $\alpha = \text{const} = 30^\circ$

Як видно з графіку (рис.5.5, в), зі збільшенням тиску знос збільшується, а при збільшенні відстані – зменшується (рис.5.5, б). Що стосується кута  $\alpha$ , то ця залежність неоднозначна (рис.5.5, а). При невеликих кутах знос незначний і збільшується до кутів близьких до  $30^\circ$ , а потім різко зменшується. При кутах близьких до  $0^\circ$

центральна зона зносу має форму кола, а при збільшенні кута вона приймає форму еліпса.

Основним показником, що визначає ефективність гідроабразивного очищення є ширина сліду очищення або ширина поверхні такої, що очищується за один прохід гідроабразивним інструментом до «білого металу» (ступінь очищення Sa 2,5 за міжнародним стандартом).

Для оцінки впливу швидкості переміщення робочого інструменту і його геометричних параметрів на ширину сліду були проведена три серія натурних експериментів з наступними початковими умовами: робочий тиск 35 Мпа, діаметр живлячого сопла 1.2, 1.5, 1.7 мм, діаметр фокуруючого сопла 5 мм. Результати експериментів показані на графіці рис.5.6

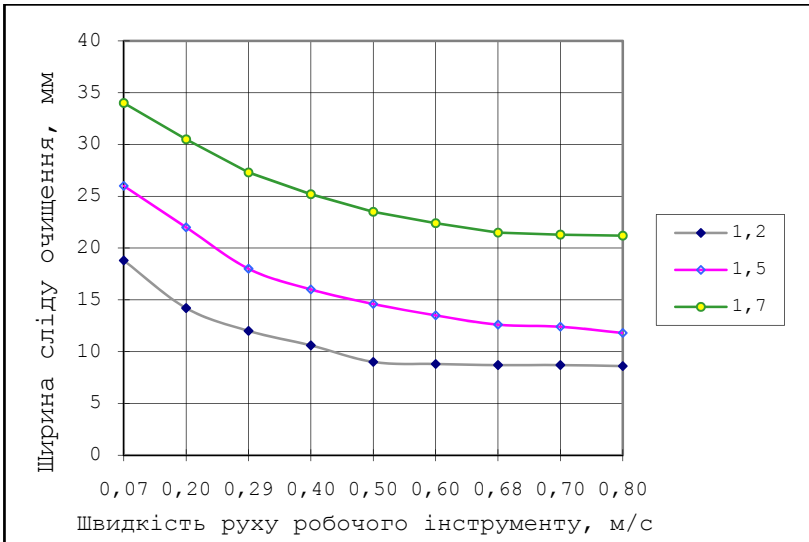


Рис. 5.6. Залежність ширини сліду очищення від швидкості руху робочого інструменту

З графіка видно, що максимальна ширина сліду очищення досягається при діаметрі живлячого сопла 1,7 мм. При збільшенні швидкості руху більш ніж 0,5 м/с, ширина сліду зменшується удвічі. Таким чином, подальше підвищення швидкості недоцільне. Надалі приймаємо максимальну швидкість переміщення робочого інструменту рівної 0,5 м/с.

Далі визначалася залежність ширини сліду від відстані сопла робочого інструменту до поверхні, що очищується і від кута нахилу робочого інструменту до поверхні (кут установки робочого інструменту щодо осі перпендикулярної поверхні). Робочий тиск 35 Мпа, діаметр фокусуєчого сопла 5 мм, діаметр живлячого сопла варіюється. Результати експериментів показані на графіках рис 5.7.

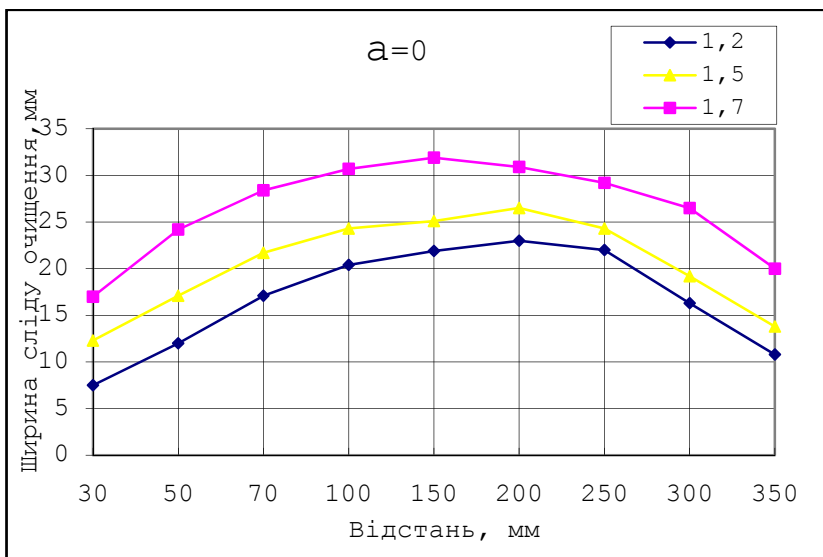


Рис. 5.7. Залежність ширини сліду очищення від відстані робочого інструменту до поверхні

Як видно з графіків максимальна ширина сліду очищення досягається при відстані 150 – 200 мм від гідроабразивного інструменту до поверхні.

Далі досліджувався вплив кута установки робочого інструменту до осі перпендикулярної поверхні труби на ширину сліду очищення при фіксованій відстані від зрізу сопла робочого інструменту до оброблюваного об'єкту.

Результати експерименту показані графіках на рис. 5.8.

Як видно з графіків максимальна ширина сліду очищення при відстані зрізу сопла робочого інструменту до оброблюваного об'єкту 150мм досягається при  $\alpha=15^{\circ}$ .

На графіку рис.5.9 показано залежність ширини сліду від тиску води на вході в гідроабразивний ежектор. Відстань від робочого інструменту до поверхні складала 150 мм і не мінлася в процесі експерименту.

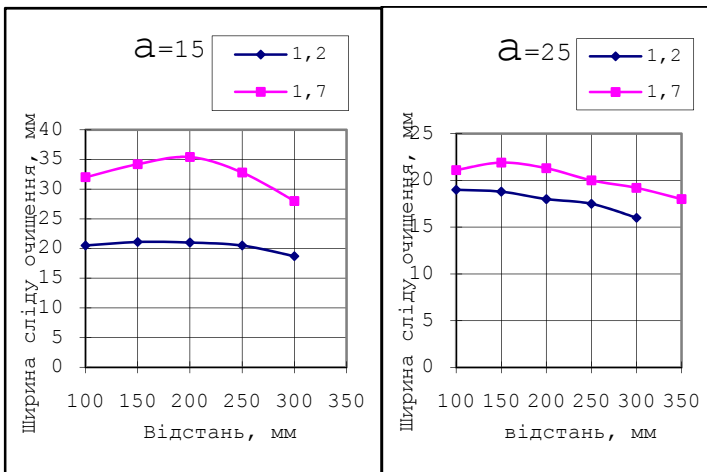


Рис. 5.8. Залежність ширини сліду очищення від кута нахилу осі робочого інструменту до оброблюваної поверхні

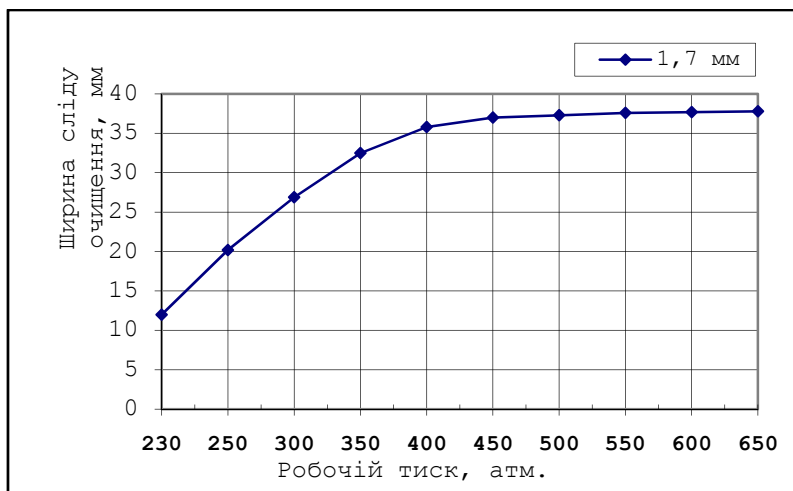


Рис. 5.9. Залежність ширини сліду від тиску

Як видно з графіка збільшення тиску більше  $500 \text{ кг/см}^2$  не приводить до істотного збільшення ширини сліду очищення, тому є не доцільним.

Таким чином оптимальними параметрами установки для гідроабразивної очищення можна вважати:

- Швидкість переміщення робочого інструменту до  $0,5 \text{ м/сек}$ .
- Відстань від зрізу сопла гідроабразивного ежектора до оброблюваної поверхні  $150 - 200 \text{ мм}$ .
- Кут установки робочого інструменту щодо осі, перпендикулярній поверхні труби  $\alpha=15^\circ$ .
- Тиск води на вході в гідроабразивний ежектор до  $50 \text{ Мпа}$ .

Продуктивність очищення поверхні гідроабразивним робочим інструментом може бути визначена з урахуванням ширини слі-

ду очищення і швидкості сканування оброблюваної поверхні гідроабразивним струменем.

$$F = V H Z \quad (5.1)$$

де:  $F$  – продуктивність очищення;

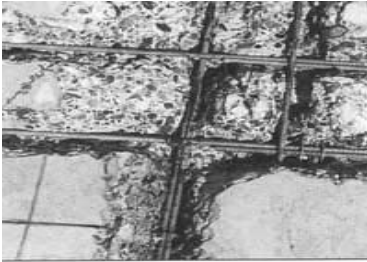
$V$  – швидкість переміщення робочого інструменту;

$H$  – ширина сліду очищення;

$Z$  – кількість гідроабразивних ежекторів.

У нашому випадку, при використанні одного гідроабразивного ежектора становить приблизно  $25\text{м}^2$  на годину.

Випробування гідроабразивного робочого інструменту провадилося при очищенні поверхонь при проведенні ремонтних робіт на об'єктах міського господарства (рис. 5.10).



а)



б)



в)



г)

Рис. 5.10. Випробування гідроабразивного робочого інструменту



На рис. 5.10 а показано результат санації елемента залізобетонної конструкції з виділенням арматури, на рис. 5.10 б очищення гранітної плити від технологічного забруднення. На рис. 5.10 в показано процес зачищення корозії труби із ступенем очищення  $S_a 2,5$  за міжнародним стандартом ISO 8501-1. Рис. 5.10 г ілюструє результати видалення старої штукатурки перед проведенням ремонтних робіт.

На рис. 5.11 показано процес очищення поверхні транспортного засобу роторною головкою.

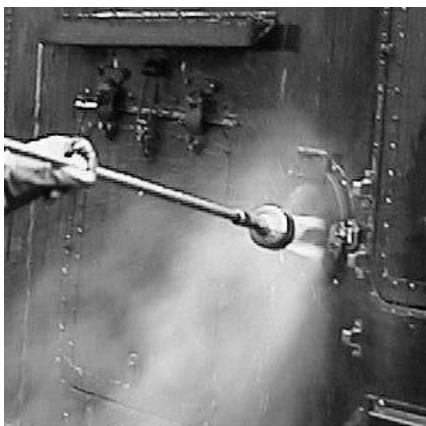


Рис. 5.11. Процес очищення поверхні транспортного засобу роторною головкою

В процесі виконання експериментальних досліджень вирішувались задачі візуальної оцінки ступеня якості очищення поверхонь об'єктів дорожнього господарства та визначались технологічні режими очищення поверхонь за допомогою водоструменевої техніки.

Поетапне очищення поверхні дорожнього знака від забруднення за допомогою гідроструменевого методу показано на рис.5.12.

Очищення проводилось за таких умов:

- очищення поверхні виконували за допомогою соплової насадки, яка утворює на виході плоский струмінь;
- відстань від зрізу сопла до оброблюваної поверхні становило 400-450 мм;
- очищення даної поверхні проводили під тиском гідроструменевого обладнання 20МПа.;
- при тиску 25МПа в процесі проведення експерименту було виявлено руйнування фарби.



Рис.5.12. Поетапне очищення поверхні дорожнього знака від забруднення за допомогою гідроструменевого методу

Процес поетапного очищення поверхні тротуарної плити від забруднення за допомогою гідроструменевого методу очистки показано на рис.5.13.

Очищення поверхні тротуарної плити:

- ширина струменя очистки на відстані 50 мм від зрізу сопла становила 70мм;
- очищення даної поверхні проводили під тиском гідроструменевого обладнання 25-30 МПа;
- ступінь чистоти можна оцінити візуально.

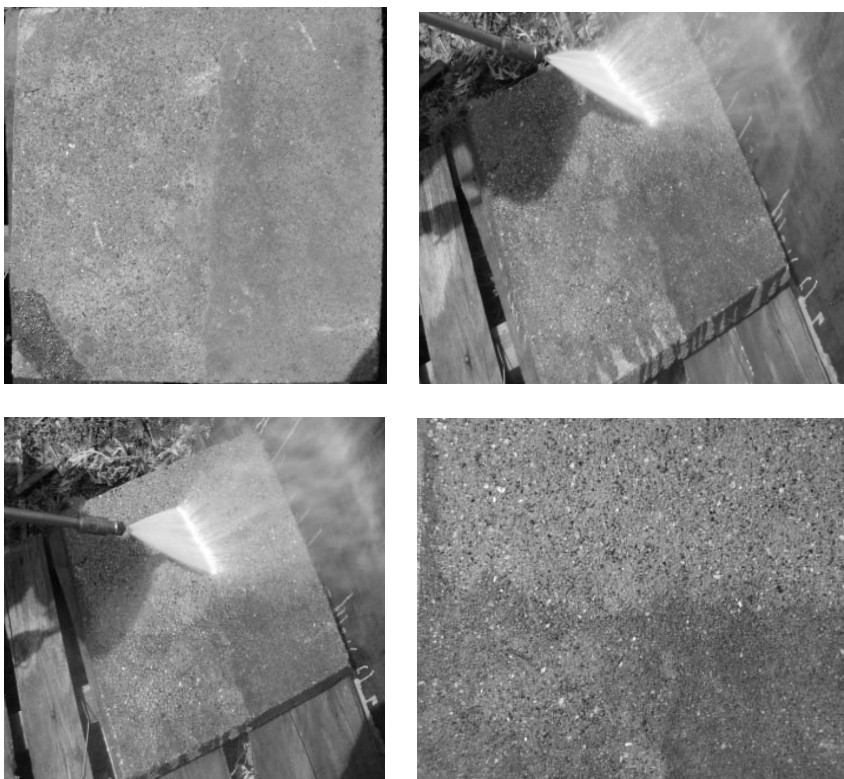


Рис.5.13. Поетапне очищення поверхні тротуарної плити від забруднення за допомогою гідроструменевого методу

Процес зняття старої дорожньої розмітки з дослідного зразка поверхні автомобільної дороги за допомогою гідроабразивного методу показано на рис.5.14. В якості робочого інструменту використовували гідроабразивний ежектор. В якості абразиву рекомендується застосовувати сипучі матеріали (рекомендується пісок річковий) з розміром часток 0,5 – 1,2 мм, в залежності від ступеню забрудненості поверхні, її матеріалу, типу нашарування, а також вимог до якості поверхні після очищення. Робочий тиск – 20 – 25Мпа. Якщо тиск > 25 МПа, то відбувається руйнування верхнього шару дорожнього покриття.

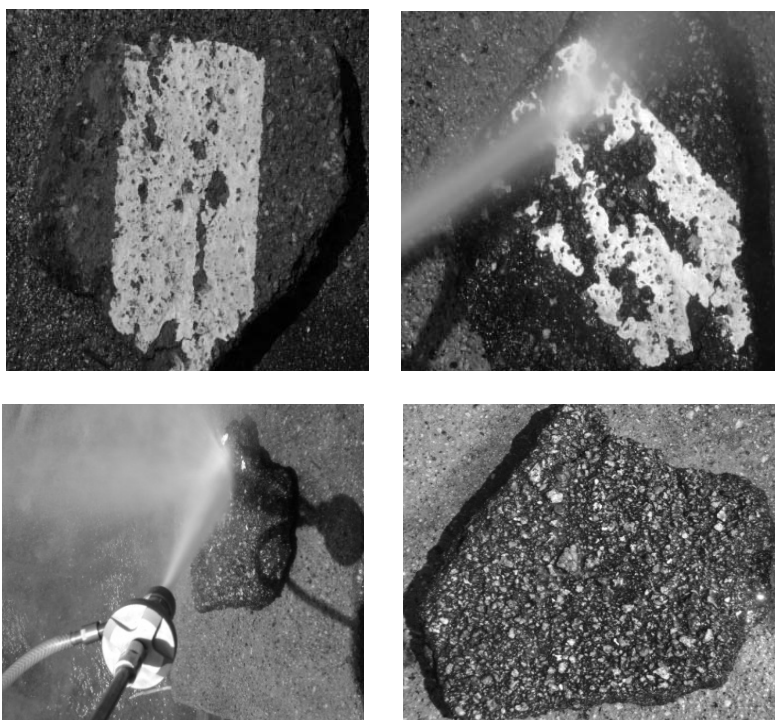


Рис.5.14. Поетапне зняття старої дорожньої розмітки з дослідного зразка поверхні автомобільної дороги за допомогою гідроабразивного методу

Експериментальні дослідження очищення поверхонь металевих огорожувальних конструкцій автодоріг за допомогою гідроабразивного методу показано на рис.5.15.

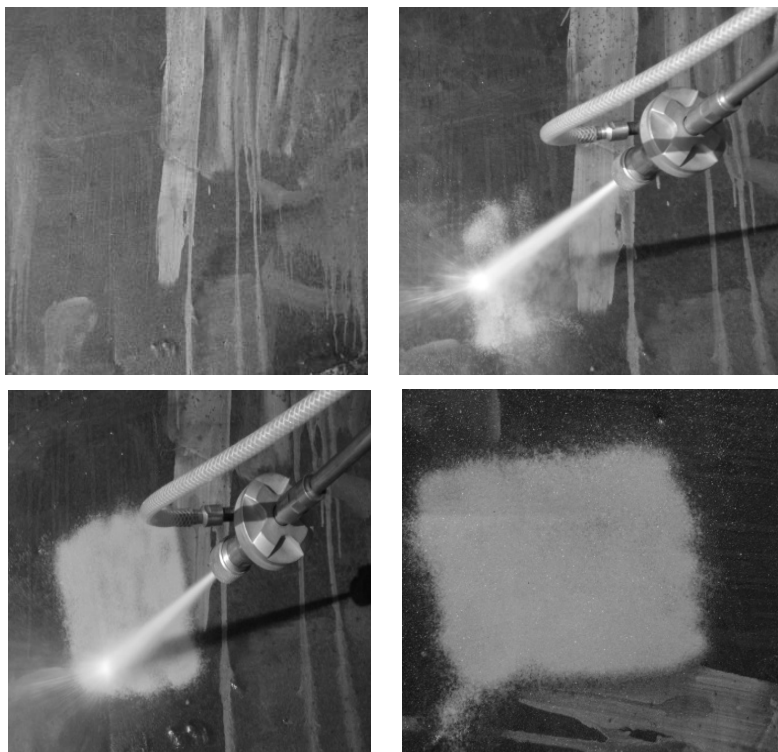


Рис.5.15. Поетапне очищення металевих огорожувальних конструкцій від лакофарбових забруднень, а також від іржі зі ступенем очистки Sa 2,5 за допомогою гідроабразивного методу

В якості робочого інструменту використовували водопіско-струменевий ежектор. В якості абразиву рекомендується застосовувати пісок річковий з розміром часток 0,5 – 1,2 мм, в залежності від ступеню забрудненості поверхні, її матеріалу, типу нашарування, а також вимог до якості поверхні після очищення. Робочий тиск – 30-35 МПа. При тиску 35МПа відбувається очищення поверхні мета-

левого огороження від іржі. Очищення гідроабразивними струменями застосовується для видалення старих лакофарбових та ізолюючих покриттів і корозії металевих конструкцій. При цьому досягається ступінь очищення Sa 2,5 за міжнародним стандартом ISO 8501-1. При цьому є можливість отримання шороховатості, необхідної для якісного нанесення нового покриття. Ефективність очищення—6-8 м<sup>2</sup>/год.

Проведені дослідження показали основні переваги застосування гідроструменевих методів очищення:

- відсутність виділень газу, пару чи шлаків;
- висока продуктивність;
- бережне видалення захисних покриттів і забруднень;
- відсутність хімічної взаємодії чи змін в структурі поверхні або механічних властивостях оброблюваних частин та матеріалів;
- високий рівень виробничої та екологічної безпеки.

## 6. ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ГІДРОСТРУМЕНЕВИМ ІНСТРУМЕНТОМ

Технологічні процеси очищення для виробів різного призначення мають свої особливості, які викликані властивостями матеріалів і станом поверхонь. Стан поверхні перед нанесенням лакофарбного або ізолюючого покриття є надзвичайно важливим чинником. У місцях забруднень погіршується адгезія покриття з основою, воно відшаровується, а це призводить до утворення наскрізних пор, що особливо небезпечно для поверхонь, які працюють в агресивних середовищах. При проведенні ремонту залізобетонних конструкцій виникає необхідність очищення поверхні від бруду а також видалення верхнього зруйнованого шару бетону до металевої арматури, що забезпечує високу якість виконання ремонтних робіт. Аналогічна проблема виникає при ремонті фасадів будівель де необхідно видаляти стару штукатурку і фасадну фарбу. Таким чином можна стверджувати, що технологічний процес очищення залежить від матеріалу і стану поверхні, матеріалу забруднення і необхідної якості очищення, яка визначається вимогами технології нанесення покриття, яке буде нанесено на поверхню або іншими чинниками. Технологічний процес очищення гідроструменевими методами поділяється на два основних процеси:

- очищення струменями води високого тиску;
- очищення гідроабразивними струменями.

Ці процеси використовуються в залежності від необхідного ступеня очищення, стану поверхні і типу забруднення. Так очи-

щення струменями води високого тиска доцільно застосовувати для миття дорожніх та тротуарних покриттів, видалення старої штукатурки, миття фасадів будівель, малих архітектурних форм і таке інше. При цьому в залежності від форми і стану поверхні застосовуються моносопла, які дозволяють формувати струмені круглого та плоского перерізу. Для очищення великих площ плоскої поверхні доцільно застосовувати роторний інструмент, який формує групу струменів (два і більше), які обертаються навколо осі співпадаючої з напрямком струменів і забезпечують багаторазову взаємодію струменів з поверхнею, що очищується. Крім того для очищення внутрішньої поверхні трубопроводів використовують активно реактивні сопла, які формують групи струменів, що діють в протилежних напрямках. Це дозволяє вводити ці сопла в трубопровід на гідкому рукаві і здійснювати очищення його внутрішньої поверхні. При цьому переміщення сопла відбувається за рахунок реактивної сили струменя.

Очищення гідроабразивними струменями використовується для видалення старих лакофарбних та ізолюючих покриттів і корозії металевих конструкцій із ступенем очищення  $S_a 2,5$  за міжнародним стандартом ISO 8501-1, а також проводити санацію залізобетонних конструкцій, гранітних плит, оздоблювального каміння.



## ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу можна зробити такі основні висновки:

1. Задача мийки і очищення поверхонь при експлуатації і ремонті автошляхів є актуальною як з точки зору підтримання об'єктів в належному санітарному і технічному стані, так і з точки зору забезпечення екологічної безпеки і охорони навколишнього середовища.

2. Техніка для мийки і очищення, що застосовується в даний час, не завжди відповідає сучасним вимогам.

3. Основними недоліками традиційної техніки є:

- недостатня ефективність та якість видалення забруднень;
- великі витрати води при мийці і очищенні поверхонь;
- низька енергетична ефективність;
- низька універсальність технічних засобів, що не дозволяє застосовувати їх для вирішення задач у комунальному господарстві у повному обсязі.

4. Усунути зазначені недоліки дозволяє застосування методів очищення поверхонь малорозмірними струменями води високого тиску до 50 МПа. Обробка поверхні здійснюється струменями води високого тиску, які при взаємодії з нашаруванням руйнують його і видаляють з поверхні.

5. Застосування абразиву, який додається в рідинний струмінь, значно підвищує ефективність процесу очищення і дозволяє

суттєво підвищити як енергетичні показники так і якість очищення поверхонь.

6. Експериментальні дослідження показали, що при взаємодії гідроабразивного струменя з поверхнею найбільш прийнятними, з точки зору зношення матеріалу є кути взаємодії, які знаходяться в інтервалі  $30^{\circ}$ –  $45^{\circ}$ , при цьому знос матеріалу лінійно залежить від робочого тиску. Подальші дослідження доцільно проводити у напрямку оптимізації режимів взаємодії струменя з поверхнею, що очищується.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Мирный А. Н., Абрамов Н. Ф.* Санитарная очистка и уборка населенных мест. – М.: Стройиздат, 1990. – 413 с.
2. *Зайцев К. М., Основенко М. Ю.* Машины и механизмы для коммунального хозяйства. – К.: Будівельник, 1995.
3. *Живов М. А., Лифшиц Б. А.* Организация и технология уборки городов. – М.: Стройиздат, 1969. – 288 с.
4. *Карабан Г. Л., Баловнев В. И., Засов И. А.* Машины для содержания и ремонта автомобильных дорог и аэродромов. – М.: “Машиностроение”, 1975. – 368 с.
5. *Державний Комітет України по житлово-комунальному господарству.* Технічні правила ремонту і утримання міських вулиць та доріг КТМ 204 України 010-94 від 21 лютого 1995 року.
6. *Фишман И. Р.* Гидравлическая обработка отливок на заводах тяжелого машиностроения. – М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970. - № 8.
7. *Билик Ш. М.* Абразивно-жидкостная обработка металлов. -М.: Машгиз, 1960. – 198 с.
8. *Арронс Г. А.* Струйные аппараты. -М.: ГЭИ, 1948. – 138 с.
9. *Пичко А. С.* Струйноабразивная обработка внутренних поверхностей труб. -М.: НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1970, №4, с. 27.
10. *Проволоцкий А. Е.* Струйно-абразивная обработка деталей машин. -К.: Техніка, 1989. – 279 с.
11. *Кизима С. С.* Основи експлуатації автомобільних доріг. -К.: НТУ, 2002. – 232 с.
12. *Саленко О. Ф.* Про виконання гібридних технологій й обробці пластин із надміцних матеріалів / Саленко О. Ф., Щетинін В. Т., Фомовська О. В. // International Scientific-Methodological Conference “How to teach material sciences: new approaches and experiences from the MMATENG project”. – Krakov-Mariupol, July 23, 2015. – p. 183-187.

13. *Саленко О.Ф.* Дослідження перехідного процесу формування гідроабразивного струменя, використовуваного для перфорації / О. Ф. Саленко, О. М. Мана, Є. С. Коваль, Ю. О. Павлюченко // Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. 2012. – №5(76). – С. 93-98.
14. *Гусев В. Г., Петухов Е. Н., Вуколов А. М.* Анализ течения рабочей жидкости через сопло гидрорезной установки в программе ANSYS // Известия ТулГУ. Технические науки. 2012. -№1 - С. 260-266.
15. *Пристрій для гідроабразивного очищення поверхонь.* Пат. 45475 України, МПК В24С 5/00. Бюл. № 21 /Бочаров В. П., Бадах В. М., Белятинський А. О., Кужель Н. В./ 2009 р.

*Наукове видання*

А. О. Белятинський,  
В. М. Бадах,  
В. М. Першаков

# **Новітні гідроструменеві технології для ремонтних робіт на автошляхах**

Монографія

В авторській редакції

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

Підписано до друку 24.05.2017р.

Зам. №24-5(1)/17.

Формат 60x84/16. Обл. вид. арк. 2.83.

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