

УДК 621.924.93(045)

А.О. Белятинський, д.т.н., професор

В.М. Бадах, к.т.н.

Н.В. Кужель

## АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТРУМЕНЕВИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ГІДРОАБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ ТА РОЗРОБЛЕНІ ДОСЛІДНІ ЗРАЗКИ РОБОЧОГО ІНСТРУМЕНТУ ДЛЯ ГІДРОСТРУМЕНЕВОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВЕРХОНЬ

Національний авіаційний університет, м. Київ

*Авторами було проведено порівняльний аналіз існуючих струменевих апаратів високого тиску для гідроабразивної обробки поверхонь. Показано принцип їх дії і виявлені основні недоліки. Зображено розроблені дослідні зразки робочого інструменту для багатофункціонального обладнання гідроструменевих технологій високого тиску для ремонтних робіт у міському господарстві.*

### 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.

### Постановка проблеми

Принцип дії обладнання базується на використанні силової дії струменя води високого тиску. Обробка поверхні здійснюється струменями води високого тиску, 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 Sa 2,5 за міжнародним стандартом ISO 8501-1, а також проводити санацію гранітних плит, оздоблювального камення, залізобетонних споруд та фасадов будівель.

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 рисунку 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.

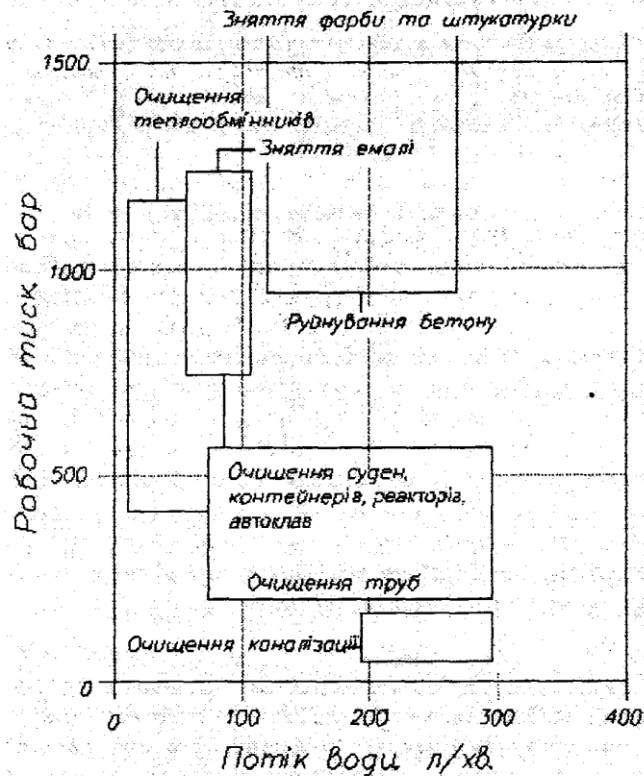


Рис.1. Галузі застосування гідроструменевого обладнання

Застосування абразиву дозволяє суттєво розширити можливості методу зокрема видаляти корозію металу і очищувати металеві поверхні до "білого" металу, що відповідає класу Sa2,5 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.

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 іншого.

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° 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.

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 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 перенастроюється 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 та 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 дозволяє 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 тубопроводів фірми CRC з дизельним приводом потужністю 185 кВт, забезпечує видалення старих покриттів тубопроводу зі швидкістю до 60 м/година.

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

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 видалити 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 [4] при видаленні стержнів з відливок 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 [3].

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.

Принципова схема струменевого апарата показана на рис. 2. 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 в вигляді потужного гідроабразивного потоку 2 подається на поверхню 1, що оброблюється.

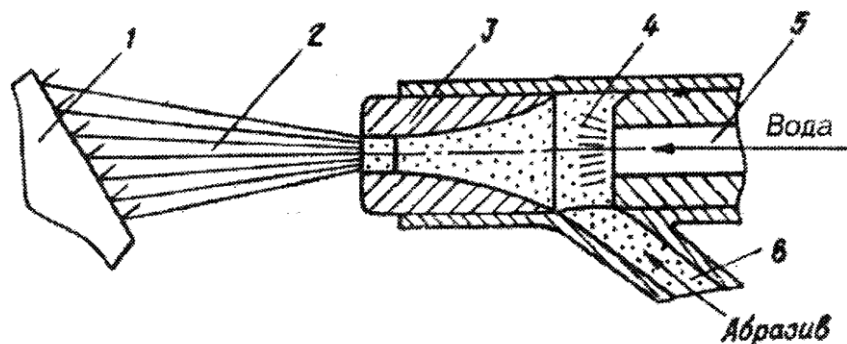


Рис.2. Принципова схема струменевого апарата

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 розділений на три ділянки [4], 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 водоабразивного пов'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 [4].

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.

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

Тому, сьогодні є актуальною розробка подібних гідроабразивних систем очищення.

В процесі виконання роботи було розроблено дослідні зразки робочого інструменту для багатофункціонального обладнання гідроструменевих технологій високого тиску для ремонтних робіт у міському господарстві, такі як: водопіскоструменевий ежектор, роторна головка, соплотримач універсальний.

На рис. 3 зображено збірне креслення та наявний вигляд дослідного зразка водопіскоструменевого ежектора.

Основні елементи, що входять до складу водопіскоструменевого ежектора:

- мала спецгайка;
- напрямляючі вставка;
- ніпель;
- прокладка;
- прохідник;
- сопло водопіскоструменевого ежектора;
- сопло-змішувач;
- спецгайка велика;
- штуцер;
- специфікація до збірного креслення ежектора.

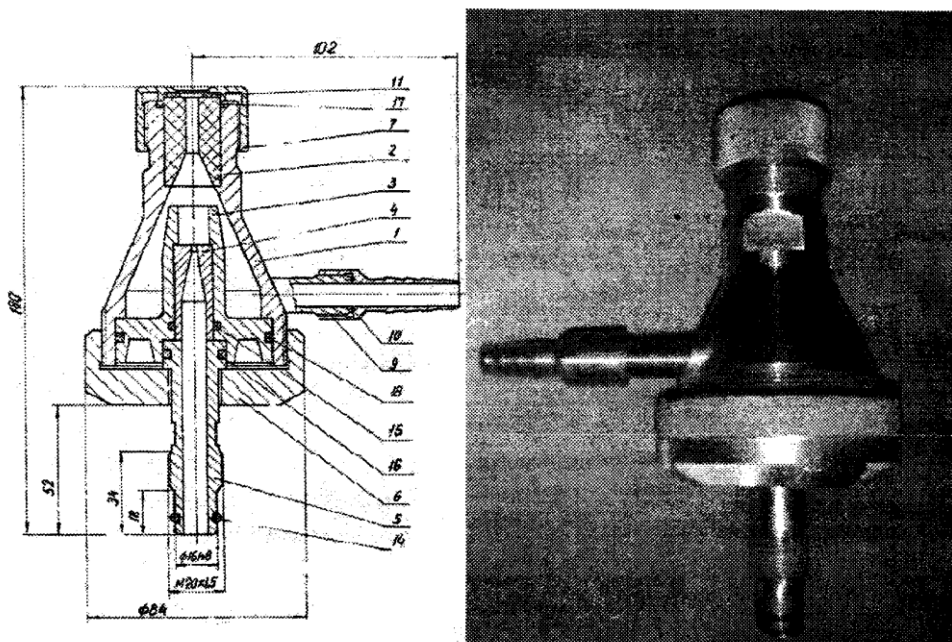


Рис.3. Водопіскоструменевий ежектор

В даний час для гідроабразивної обробки застосовуються струменеві 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 [4].

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.

На рис. 4 зображено збірне креслення соплотримача універсального, а на рис.5 – наявний вигляд дослідного зразка соплотримача універсального, в якому і формується необхідний струменевий потік рідини або гідроабразивної суміші для очищення поверхонь.

Основні елементи, що входять до складу соплотримача універсального: сопло еліпсне; сопло діаметром 1,7; сопло діаметром 1,1; корпус; гайка.

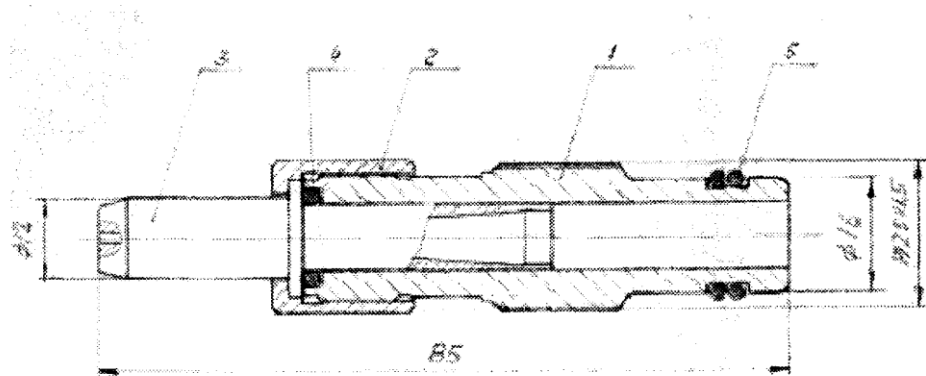


Рис.4. Соплотримач універсальний

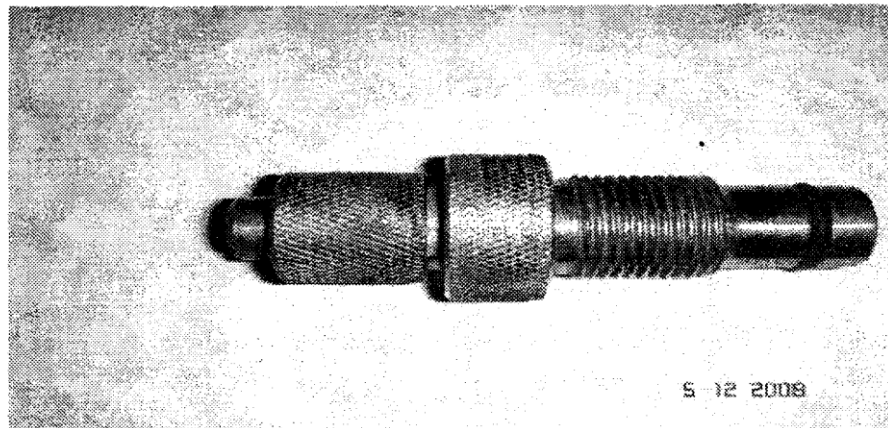


Рис.5. Дослідний зразок соплотримача універсального

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 карбіду бора дозволяє підвищити стійкість сопла на два порядки у порівнянні соплами, що виготовлені з вуглецевих сплавів. Іншим напрямком є створення конструкцій апаратів в яких виключається контакт робочих поверхонь, з високошвидкісним гідроабразивним потоком.

Розроблений дослідний зразок роторної головки для водоструменевого обладнання високого тиску зображено на рис.6.

- корпус роторної головки;
- опора;
- уповільнювач;
- захисне коло роторної головки;
- гільза;
- сопло;
- гайка;
- специфікація до роторної головки.

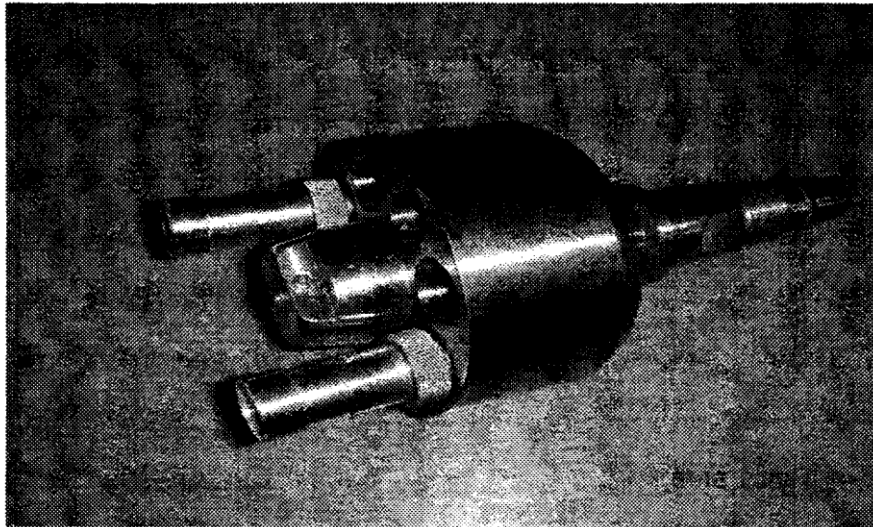


Рис.6. Роторна головка

Проведені дослідження показали, що основними факторами, що визначають структуру і властивості гідроабразивного струменя, є:

- якість формування високонапірного водяного струменя в соплі живлення;
- умови формування гідроабразивного потоку в змішувальній камері і фокуруючому соплі;
- особливості характеру руху гідроабразивного струменя від сопла до оброблюваної поверхні.

Аналіз відомих методів струйно-абразивної обробки показує, що характер будь-якого методу струйно-абразивної обробки визначається схемою дії застосовуваного розпилювача [1], що завжди можна виразити формулою: середовище обробки - прискорювач енергії абразивних часток - речовини, що подаються в розпилювач для здійснення процесу обробки.

#### Висновки

Під час виконання даної роботи були розроблені дослідні зразки робочого інструменту для багатофункціонального обладнання гідроструменевих технологій високого тиску для ремонтних робіт у міському господарстві.

На основі вищезазначеного, можна зробити такі висновки:

1. Застосування абразиву, який додається в рідинний струмінь, значно підвищує ефективність процесу очищення і дозволяє суттєво підвищити як енергетичні показники так і якість очищення поверхонь.

2. Принцип дії дослідного обладнання базується на використанні силової дії струменя води високого тиску. Обробка поверхні здійснюється струменями води високого тиску, 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.

#### Список літературних джерел

1. Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. – М., 1988. – 278с.
2. Бадах В.М., Глазков М.М., Головки Ю.С. Гидрогазотермодинамика.–К.: НАУ, 2008.–388с.
3. Морозенко В.Н., Проволоцкий А.Е., Баскин С.Л. Гидроабразивная очистка поверхности листов перед нанесением покрытий. – М., 1980. – 121с.
4. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин. К.: Техника, 1989. – 279с.

**Ключові слова:** гідроабразивна обробка поверхонь, струменеві апарати високого тиску, міське господарство.