

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

КРИВОРУЧКО ВІКТОР ІГОРОВИЧ

УДК 631.333

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МИЙКИ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Криворучко В.І.

Керівник роботи

Білецький В.Р.

к.т.н., доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Криворучко Віктор Ігорович. Обґрунтування параметрів мийки сільськогосподарських машин. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі на підставі дослідження науково-виробничого досвіду очищення сільськогосподарських машин від забруднень встановлено, що для мийних установок найефективнішими для поліпшення якості миття є гідродинамічні насадки, які створюють ефект гідравлічного удару та забезпечують підвищення механічного впливу водяного струменя.

Для вдосконалення мийного процесу розроблено конструкцію пристрою з обертовими гідравлічними струменями, які складаються з прямої нерухомої труби, на яку надягнене ведене колесо з крильчаткою, що забезпечує обертання циліндричного патрубку з соплами й утворення обертового струменя. Його застосування забезпечує комплексний гідродинамічний вплив на частинки забруднення з багаторазовим повторенням, що дає змогу зруйнувати забруднення і відвести його із зони мийки.

Встановлено, що раціональними параметрами пристрою для створення обертового струменя є: кількість струменів – 3; діаметр отворів – 0,97 мм; тиск мийної рідини в соплі – 7,8 МПа; швидкість обертання сопла – 132 об/хв.

Максимальна ефективність мийки досягається на відстані 220 мм від сопла до поверхні, що омивається, і швидкості обертання сопла 132 об/хв.

Ключові слова: забруднення, мийка, струмінь, сопло, сільськогосподарські машини.

ANNOTATION

Krivoruchko Viktor. Substantiation of parameters of washing of agricultural machines. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the qualification work, based on the study of scientific and production experience in cleaning agricultural machinery from contamination, it was found that for washing installations, hydrodynamic nozzles are the most effective for improving the quality of washing, which create the effect of hydraulic shock and provide an increase in the mechanical impact of the water jet.

To improve the washing process, a design of a device with rotating hydraulic jets was developed, consisting of a straight-through fixed pipe with a driven wheel with an impeller, which ensures the rotation of a cylindrical nozzle with nozzles and the formation of a rotating jet. Its use provides a complex hydrodynamic effect on contaminant particles with multiple repetition, which makes it possible to destroy the contaminant and remove it from the washing area.

It has been established that the rational parameters of the device for creating a rotating jet are: number of jets – 3; diameter of holes – 0.97 mm; pressure of the washing fluid in the nozzle – 7.8 MPa; nozzle rotation speed – 132 rpm.

The maximum washing efficiency is achieved at a distance of 220 mm from the nozzle to the surface to be washed and a nozzle rotation speed of 132 rpm.

Keywords: dirt, washing, jet, nozzle, agricultural machinery.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ МИТТЯ ПОВЕРХОНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....	7
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОБЕРТОВОГО ГІДРАВЛІЧНОГО СТРУМЕНЯ.....	22
РОЗДІЛ 3. ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРИСТРОЮ У ВИРОБНИЦТВО.....	35
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У процесі експлуатації сільськогосподарських машин на поверхні скупчуються різні забруднення, які під дією кліматичних чинників утворюють на поверхні щільні відкладення, що мають різко негативний вплив на ефективність використання машин. У зв'язку з цим миття техніки є одним із ключових процесів, що впливають на ефективність використання техніки та підвищення якості сільськогосподарських робіт.

Нині малі та фермерські господарства зацікавлені у використанні ефективної та недорогої техніки для миття сільськогосподарських машин від забруднень. Серед таких мийних машин широке застосування знайшли установки високого тиску.

Технологія використання струменів високого тиску дає змогу якісно очищати поверхню сільськогосподарських машин. Якісне миття струменями високого тиску досягається завдяки застосуванню різних конструкцій насадок, що дають змогу надати струменю рідини різної конфігурації.

Незважаючи на широке застосування і низку переваг, ці установки мають один істотний недолік, це підвищена витрата води, що безпосередньо впливає на підвищення витрат мийного процесу, які для товаровиробника і без того великі. У зв'язку з цим для економії природних ресурсів і зниження витрат на мийку сільськогосподарських машин в умовах малих і фермерських господарств необхідно приділити увагу пошуку нових пристроїв, що дадуть змогу підвищити енергонасиченість (ефективність) водних струменів без підвищення тиску. Дослідження засвідчили, що наразі вельми перспективним є конструкції універсальних сопел, які дають змогу надати мийному струменю різної форми.

Мета роботи – Підвищення ефективності процесу миття сільськогосподарських машин обґрунтуванням параметрів пристрою для створення обертового мийного струменя.

Для реалізації поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **завдання:**

- Розробити конструкцію мийного пристрою з обертовим струменем для миття сільськогосподарських машин.
- уточнити раціональні параметри пристрою мийки зі створенням обертового струменя.

Об'єкт дослідження: Пристрій миття зовнішніх поверхонь сільськогосподарських машин.

Предмет дослідження: Параметри пристрою миття зовнішніх поверхонь сільськогосподарських машин.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Білецький В.Р., **Криворучко В.І.** Аналіз технологій миття поверхонь сільськогосподарської техніки. Технічний прогрес в АПВ: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 9-10 травня 2023 року / Державний біотехнологічний університет. Харків. С. 84-87.

2. Білецький В.Р., **Криворучко В.І.** Пристрій для створення обертового гідравлічного струменя. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики.* 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 3-6.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для підприємств АПК представляє розроблений пристрій миття зовнішніх поверхонь сільськогосподарських машин.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 47 сторінок комп'ютерного тексту, містить 28 рисунків та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ МИТТЯ ПОВЕРХОНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Миття – це технологічний процес, що забезпечує видалення забруднень із поверхонь машин шляхом їхнього руйнування (подолання сил міцності та когезійних сил) з їхнім подальшим видаленням (подолання утримуючих адгезійних сил).

За способом видалення забруднень (рис. 1.1) усі наявні мийно-очисні технології умовно поділяють на механічні, принцип дії яких ґрунтується на видаленні бруду за допомогою струменів води під високим тиском або ручним способом (металевими щітками, скребками), та фізико-хімічні, які дають змогу видаляти забруднення шляхом розчинення та змивання в процесі протікання хімічних реакцій.

Очищення забрудненої поверхні технологічних машин шляхом впливу фізико-хімічної енергії охоплює такі основні процеси: емульгування, розчинення, молекулярні перетворення, диспергування, хімічне травлення оброблюваної поверхні та низку інших процесів. Дана енергетична дія створюється завдяки використанню мийних засобів, які поділяються на органічні та емульгуючі розчинники, кислотні розчини та синтетичні мийні засоби. Найвищий ступінь очищення дають змогу досягти синтетичні мийні засоби, в яких містяться поверхнево-активні речовини, що активно руйнують осередки забруднень на оброблюваній поверхні. Ключовими недоліками цієї технології миття, що обмежують її практичне застосування, є негативний вплив на навколишнє середовище і шкода, заподіяна здоров'ю оператора хімічними компонентами, що входять до складу мийного засобу.

Механічна енергія потрібна для руйнування забруднень і видалення їх з поверхні, що очищається, шляхом створення нормальних і дотичних напружень. Механічне видалення забруднень може здійснюватися зішкрібанням (рис. 1.2)

або з використанням водяних струменів високого тиску, що створюються за допомогою спеціальних пристроїв, які називаються сопла.

Зішкрібання одна з найбільш широко застосовуваних технологій очищення при технічному обслуговуванні та ремонті машин. Способи виконання цієї операції можуть бути різними.

Зішкрібання з використанням ручного інструменту характеризується найнижчою продуктивністю порівняно з вищенаведеними способами, який здійснюється як із застосуванням механічного, так і електричного інструменту і застосовується в тих випадках, коли використовувати високопродуктивне обладнання і технології недоцільно або не є можливим.

Галтування і віброабразивне очищення використовуються для очищення деталей від забруднень на спеціалізованому обладнанні, і, отже, дана технологія не може бути застосована для зовнішнього очищення, і в нашій роботі вона не розглядається.

До недоліків технологій зішкрібання належать низька продуктивність і висока трудомісткість, а також необхідність застосування спеціалізованого інструменту.

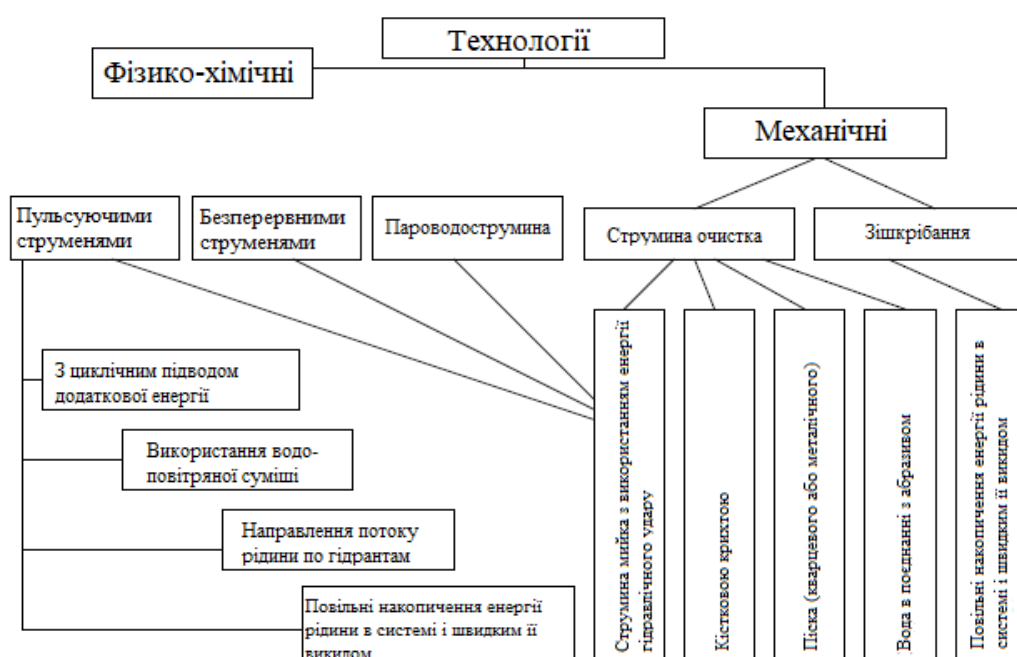


Рис. 1.1. Технології видалення забруднень з поверхні машини



Рис. 1.2. Способи зішкрібання забруднень

У сільськогосподарському виробництві для очищення машин від забруднень найширше застосування знайшли технології з використанням сухих і водяних струменів, класифікація яких представлена на рис. 1.3.

Процес видалення забруднень за допомогою кісточнової крихти полягає у впливі на оброблювану поверхню шкаралупи або кісточок, попередньо подрібнених до дрібнодисперсних фракцій, які під тиском від 3 до 5 МПа (залежно від ступеня забруднення і його виду) подаються стисненим повітрям до об'єкта очищення. Цей спосіб характеризується високим ступенем очищення за мінімальних витрат, не чинить руйнівної дії на поверхню, що очищається, і може бути використаний для очищення деталей з алюмінієвих сплавів. Негативним моментом використання кісточнової крихти є високий вміст пилу в повітрі робочої зони під час очищення, що істотно погіршує умови праці оператора і вимагає застосування додаткових засобів індивідуального захисту або встановлення витяжної вентиляції. Істотним недоліком даної технології є складність використовуваного обладнання, високі витрати при застосуванні установок з ручним керуванням струменевими соплами.



Рис. 1.3. Струменеві технології очищення

Застосування піскоструминної технології очищення доцільне для видалення середньо- і сильно зв'язних забруднень (залишків лакофарбового

покриття, продуктів корозії). Ця технологія полягає в обдуванні поверхонь, що очищаються, металевим або кварцовим піском. За такого способу видалення забруднень оброблювана поверхня, крім очищення, додатково набуває рівномірної шорсткості, що значно покращує процес нанесення фарби, протикорозійного оброблення та низки інших операцій. Під час очищення за допомогою кварцового піску відмічається підвищений вміст пилу в повітрі, що негативно впливає на здоров'я оператора, а тому найкращим способом є застосування в якості компонента для очищення металевих піску (дробу, виготовленого з металу). Технологія дробоструминного очищення є більш витратною порівняно з пікоструминною, що пояснюється високою вартістю металевих пісків, навіть за умови, що витрата дробу менша в 4 рази. Недоліком дробоструминних технологій є виникнення електрохімічного корозійного процесу під час очищення деталей, виготовлених із кольорових металів.

Для очищення машин за гідроабразивної технології використовується кварцовий пісок, карбіди кремнію, окиси алюмінію. Сутність цієї технології полягає в різкому викиді гідроабразивної суміші за допомогою стисненого повітря на оброблювану поверхню. Очищувальний ефект залежить від відсоткового вмісту абразиву в суміші, однак при його збільшенні виникають труднощі в доставці водно-абразивної емульсії до об'єкта, а низький вміст абразиву призводить до погіршення якості видалення забруднень. Найбільше застосування в гідроабразивній технології очищення отримав кварцовий пісок.

За водоструминної технології очищення як механічний фактор, що руйнує забруднення, застосовується енергія гідравлічного удару. Принцип дії гідравлічного струменя на забруднену поверхню показано на рис. 1.4.

Кавітаційне очищення вирізняється низькою продуктивністю і підвищеною складністю в управлінні процесами кавітації, що істотно обмежує діапазон його застосування. При цьому способі очищення виникає потреба чіткого виконання розрахункових параметрів, що забезпечують схлопування кавітаційних бульбашок безпосередньо біля забрудненої поверхні.

Проведений аналіз наявних технологій очищення засвідчив, що найперспективнішим для видалення забруднень із поверхні техніки є водоструменеве очищення, яке дає змогу підвищити рівень механічної дії шляхом застосування додаткової енергії, якою може слугувати енергія струменя, що обертається. Отже, для поліпшення якості миття забруднених поверхонь сільськогосподарських машин потрібно розробити конструкцію пристрою, що дає змогу формувати обертовий струмінь і впливати ним на оброблювану поверхню.

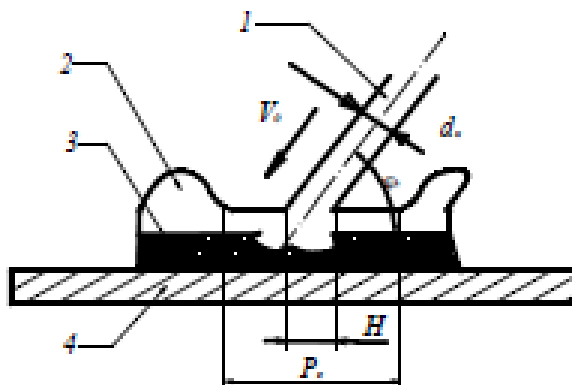


Рис. 1.4. Схема впливу струменя на поверхню, що омивається: 1 – потік рідини, що розтікає; 2 – гідравлічний стрибок потоку; 3 – забруднення; 4 – поверхня, що очищається; V_0 – швидкість струменя; α – кут нахилу (атаки) струменя; P – сила впливу струменя на забруднену поверхню; N і T – нормальна і тангенціальна складові сили впливу струменя на забруднену поверхню; d_H – діаметр струменя

Застосування гідравлічного струменя для видалення слабозв'язних і середньозв'язних забруднень дає змогу забезпечити високий ступінь очищення.

Застосування водоструминних технологій для видалення середньо- і сильнозв'язних забруднень обмежене через різке збільшення тиску подачі мийного розчину, що тягне за собою зростання споживання електроенергії.

З метою виключення цього недоліку запропоновано спосіб гідродинамічного кавітаційного очищення.

Сутність цього способу полягає в ерозійному впливі кавітаційних бульбашок, згенерованих у спеціальному соплі, які посилюють ступінь

руйнівного впливу струменя води на об'єкт очищення. Технології кавітаційного очищення є найперспективнішими, оскільки дають змогу підвищити механічний вплив за рахунок додаткової енергії, отримати якісне очищення за мінімальних витрат.

Мийні установки механічної дії знайшли широке застосування не тільки в сільськогосподарському виробництві, а й у різних галузях народного господарства. Вони мають схожі конструктивні ознаки, за наявності яких установки можна класифікувати за такими групами:

1. за конструкцією робочого органу:

- струменеві
- щіткові
- комбіновані (струменеві та щіткові)

2. за способом переміщення щодо об'єкта, що очищається:

- проїзні
- рухомі

3. за розташуванням:

- стаціонарні
- пересувні
- автономні

4. за тиском рідини, що подається

- низького тиску (до 0.35 МПа)
- середнього тиску (до 0.8 МПа)
- високого тиску (понад 0.8 МПа)

Мийні установки струменевого типу переважно використовуються для миття техніки великих розмірів. У таких установках мийну рідину на поверхню, що очищається, направляють через спеціальні насадки у вигляді сопел (форсунок), розташованих на стаціонарних або переміщуваних трубопроводах - колекторах.

Мийні установки проїзного типу дають змогу одночасно очищати всі забруднені поверхні машин, оскільки в процесі миття вони примусово за допомогою конвеєра переміщуються через мийну камеру, розташовану безпосередньо в установці. У процесі мийки струменеві сопла додатково здійснюють коливальні або обертальні рухи, що дає змогу поліпшити процес видалення забруднень.

Мийні установки стаціонарного типу (рис. 1.5) виготовляють як у вигляді порталної рами, так і у вигляді стаціонарних стійок, жорстко закріплених на основі мийного поста. На них монтуються виконавчі елементи установок (трубопроводи з соплами або щітками), а також вентиляційне обладнання, призначене для обдування (сушіння) машин.



Рис. 1.5. Стаціонарна струменева щіткова мийна установка для струменевої мийки

На відкритих майданчиках для миття сільськогосподарських машин і техніки іншого призначення використовуються пересувні мийні машини.

Пересувні мийні установки (рис. 1.6) конструктивно виконані у вигляді самохідного шасі, на якому закріплені робочі органи (трубопроводи з соплами). Вони можуть бути використані для миття машин на достатній відстані від

машинного двору безпосередньо на польовому стані в період проведення збиральних робіт.

Стаціонарні мийні установки високого тиску характеризуються схожими технічними параметрами з пересувними і можуть розташовуватися як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Установки високого тиску герметично закриті захисними кожухами, які призначені для унеможливлення проникнення води на поверхню її конструктивних елементів у процесі миття.



Рис. 1.6. Пересувна мийна установка

Такі мийні установки вирізняються високою вартістю і їхнє застосування в умовах малих і фермерських господарств економічно недоцільне.

У малих і фермерських господарствах найширше застосування знайшли побутові мобільні мийні установки.

Струменеві установки низького тиску наразі практично промислово не виробляють, і їх застосування малоефективне через низьку продуктивність і неякісне миття.

Модельний ряд мийних установок представлений здебільшого універсальними апаратами середнього і високого тиску, які призначені для миття машин, як в умовах виробничих потужностей, так і для використання в невеликих господарствах. Вітчизняні виробники випускають широкий спектр

водоструминних установок, які мають хороші експлуатаційні характеристики і відрізняються невисокою вартістю, в порівнянні з імпортними аналогами. Для використання в умовах невеликих господарств можуть бути застосовані установки Інтерскол АМ-130/2500В (рис. 1.7) і ЗУБР ЗАВД-3000 (рис. 1.8). Установка Інтерскол АМ-130/2500В є переносною і складається з насоса плунжерного типу і силового агрегату, потужністю 2,5 кВт. Вона оснащена двома насадками для формування віялового і кинджального струменів.



Рис. 1.7. Установка Інтерскол АМ-130/2500В для водоструминного очищення : 1 — гідромонітор, 2 — шланг високого тиску, 3 — захисний кожух силової установки.



Рис. 1.8. Зовнішній вигляд пересувної мийної установки високого тиску "ЗУБР ЗАВД-3000" : 1 — гідромонітор, 2 — шланг високого тиску, 3 — кнопка ввімкнення, 4 — захисний кожух силової установки.

Пересувну водоструминну мийну установку моделі М125 (рис. 1.9) використовують для миття сільськогосподарських машин усіх типів. Конструктивно М125 складається з плунжерного насоса, електродвигуна, пересувного візка на колесах, спеціального барабана для кріплення шлангів і мийного пістолета. Вода від насоса, що приводиться в обертання електродвигуном, по шлангу подається до пістолета і спрямовується на поверхню, що очищається, під високим тиском. Цей принцип роботи застосовується в більшості сучасних мийних установок. Додатково в конструкції моделі М125 передбачені баки для мийних складів.

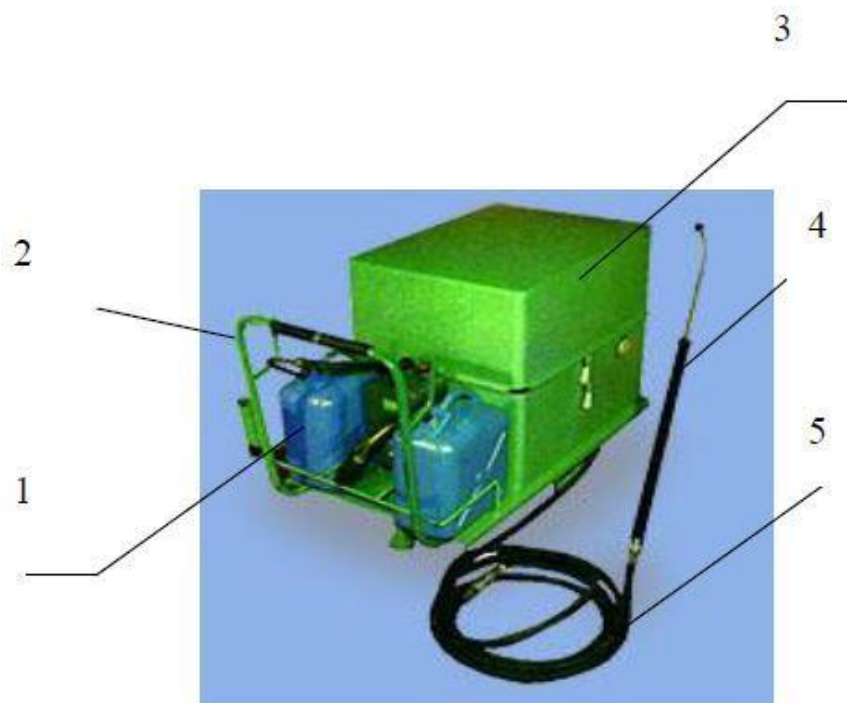


Рис. 1.9. Зовнішній вигляд установки водоструминного очищення М125 :
1 – ємність для мийного розчину, 2 – ручка для переміщення, 3 – корпус установки, 4 – гідромонітор, 5 – шланг високого тиску.

На рис. 1.10 показано пересувну мийну установку високого тиску без підігріву води "СОРОКІН 14.17", яка за конструкцією аналогічна більшості мийних машин цього виду.



Рис. 1.10. Зовнішній вигляд пересувної мийної установки високого тиску "СОРОКИН 14.17" : 1 – шланг високого тиску, 2 – кабель живлення, 3 – захисний кожух силової установки.

Технічні характеристики перерахованих вище установок для миття техніки наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики установок для мийки струминного типу без підігріву води.

Моделі установок	Розміри, (д.хш.хв. в см):	Потужність електродвигуна, кВт	Робочий тиск, МПа	Продуктивність, л/год.	Маса, кг
Інтерскол АМ-130/2500В	128х90х 60	2.5	14	469	29,3
М 125	85х54х62	4	17	721	63
ЗУБР ЗАВД-3000	130х76х76	3	16	391	25
СОРОКІН 14.17	130х70х70	1,8	11	404	21,6

Зарубіжні виробники також пропонують широкий спектр мийних установок високого тиску (рис. 1.11). Іноземні фірми випускають різноманітний модельний ряд установок для миття високого тиску. Порівняльний аналіз

засвідчив, що зарубіжні установки відрізняються від російських зменшеними розмірами і вагою, а також більш високими експлуатаційними характеристиками, що забезпечуються завдяки застосуванню сучасних матеріалів і технологічних рішень.



Рис. 1.11. Зовнішній вигляд зарубіжних пересувних мийних установок високого тиску : а – Karcher K 7; б - "OERTZEN" 316 C; в - "CHAMPION" HP6300; г - "Bosch" AQT 45-14 X; д - "STERWIN" S-160 EPW; е - "PATRIOT" GT 320 mperial

Характеристики мийних установок зарубіжного виробництва представлені в таблиці 1.2.

Живлення представлених у таблицях 1.1 і 1.2 установок здійснюється від мережі 220 В/50 Гц, максимально допустима температура води на вході

становить не більше 40°C. Конструктивно переважна більшість пересувних установок високого тиску складаються з пересувного візка, з розташованими на ньому двигуном, насосом високого тиску, передавальною муфтою або редуктором. Установки комплектуються шлангами високого тиску і гідромоніторами, які призначені для надання сформованому в соплі струменю потрібного напрямку.

Таблиця 1.2 - Апарати високого тиску без підігріву води зарубіжного виробництва.

Фірма (країна)	Модель	Потужність, кВт	Робочий тиск, МПа	Продуктивність, л/час	Маса, кг
“Karcher” (Германия)	K7	4	17	650	19,4
“OERTZEN” (Германия)	316 C	4,3	19	780	35
“CHAMPION” (Китай)	HP6300	2,4	16	440	26
“Bosch” (Германия)	AQT 45-14 X	2,2	15	490	18,5
“STERWIN” (Китай)	S - 160EPW	2,5	17	470	20
“PATRIOT” (Китай)	GT 320 Imperial	1,4	11	400	5,4

Мийні машини для струменевого очищення зовнішніх поверхонь конструктивно відрізняються несуттєво та складаються з таких основних елементів: електродвигуна, насоса та мийного пістолета. Поліпшення характеристик мийних установок як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва можна забезпечити шляхом збільшення напору мийної рідини, що позитивно відіб'ється на ефективності механічного впливу на забруднення.

Дослідження, показали, що підвищення продуктивності установок можна досягти не тільки завдяки збільшенню потужності електродвигуна і підвищенню температури мийної рідини.

Латишенком М.Б., Поповим А.С., Паюровим Р.А. і Шемякіним О.В. розроблено низку конструкцій мийних машин, які дають змогу виконувати гідродинамічну очистку забруднень сільськогосподарських машин із

використанням енергії кавітації та сублимації (рис. 1.12, 1.13). Підвищення ступеня очищення забруднених поверхонь при застосуванні даної установки здійснюється шляхом збільшення енергії струменя за рахунок його насичення кавітаційними бульбашками, які мають високу ерозійну здатність.

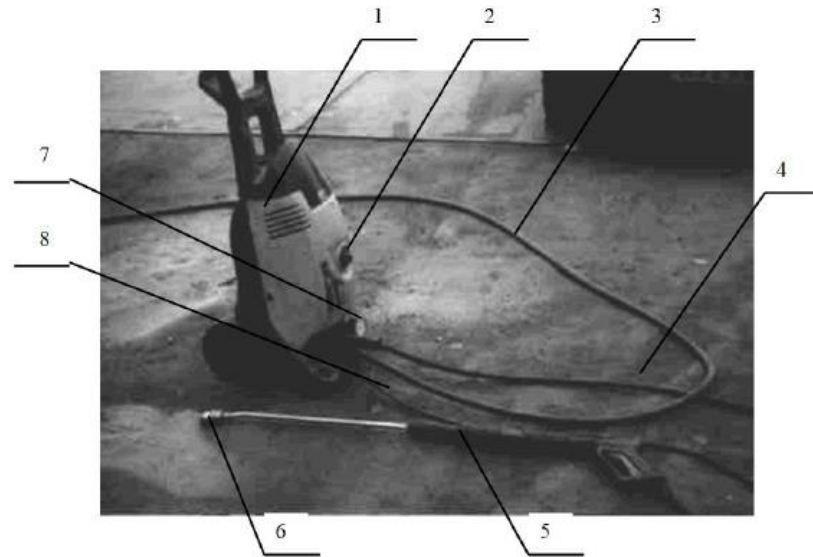


Рис. 1.12. Загальний вигляд установки акустико-кавітаційної дії

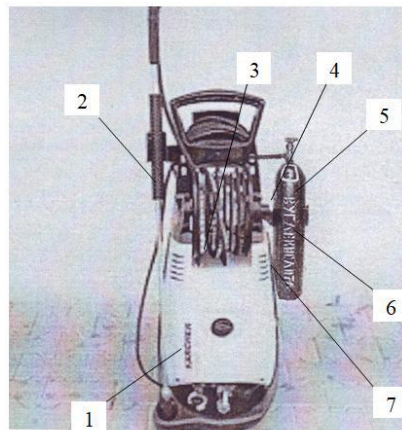


Рис. 1.13. Загальний вигляд промислового зразка установки для очищення з використанням рідинного багатокомпонентного струменя : 1 – корпус; 2 – мийний монітор із соплом і витратоміром, 3 - шланг для подачі води; 4 – шланг для підведення вуглекислоти; 5 – регулятор тиску подачі вуглекислоти з витратоміром; 6 – вуглекислотний балон, 7 – кронштейн для кріплення балона.

Розроблена конструкція пристрою забезпечує очищення сільськогосподарської техніки та мобільної техніки іншого призначення від усіх видів забруднення шляхом застосування енергії кавітаційного вибуху. Істотним мінусом цієї конструкції є її невисока продуктивність, оскільки площа кавітаційного впливу порівняно мала. При застосуванні розглянутої установки високий ступінь очищення досягається тільки на незначній відстані від кавітаційної насадки, на якій кавітаційні бульбашки забезпечують максимальний ерозійний вплив. Під час виконання процесу очищення потрібно забезпечувати обов'язковий контроль відстані до поверхні, що очищається, що істотно обмежує використання цієї установки. Необхідність постійного контролю розрахункових параметрів, відхилення від яких призводить до зниження або повного зникнення кавітаційного ефекту, також негативно позначається на експлуатаційних характеристиках розглянутої конструкції.

До недоліків цієї конструкції слід віднести високу вартість і необхідність попередньої підготовки вуглекислотного газу.

Мийні установки для видалення забруднень із сільськогосподарської техніки конструктивно відрізняються незначною мірою і складаються з таких основних елементів - електродвигуна, насоса і мийного пістолета. Як показав аналіз, основним напрямком підвищення експлуатаційних характеристик мийних установок як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва є підвищення напору мийної рідини для збільшення механічного впливу на забруднення, але підвищення продуктивності установок можна досягти не тільки за рахунок збільшення потужності електродвигуна та підвищення температури мийної рідини, а й за рахунок використання додаткової енергії гідродинамічного впливу, для отримання якої необхідне розроблення насадок специфічної конструкції.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОБЕРТОВОГО ГІДРАВЛІЧНОГО СТРУМЕНЯ

Технічне рішення полягає у забезпеченні можливості формувати обертовий струмінь води заданого напору та ступеня закрутки гідравлічного струменя під час миття сільськогосподарських машин від забруднення.

Для отримання обертових гідравлічних струменів було розроблено пристрій, що складається з прямої нерухокої труби 1 для з'єднання з джерелом подачі води під тиском, на яку за допомогою поворотної опори 2 встановлюють ведений колесо з крильчаткою 3. Відоме колесо з крильчаткою 3 з'єднане з корпусом циліндричного патрубку 4, який з'єднаний з нерухомою трубою 1 через манжетне ущільнення 5 і закінчується циліндричним струменеутворювальним насадком 6, що представлений на рис. 2.1.

У центральній частині торцевої поверхні струменеутворювального насадка 6 виконано наскрізні отвори 7, розташовані під кутом 120° один до одного.

При цьому кожен отвір має конусоподібну форму з конусністю 18° , обмежену двома плоскими паралельними поздовжніми поверхнями рис. 2.

Пристрій для створення обертового гідравлічного струменя працює таким чином. Нерухома труба 1, з'єднана з джерелом води, подає воду під тиском через манжетне ущільнення 5 у циліндричний патрубок 4.

Потік повітря, що подається через канал подачі повітря 9, надходить у корпус повітряної камери 10 і приводить в обертання крильчатку веденого колеса 3, встановлену всередині повітряної камери 8. Обертання крильчатки веденого колеса 3 передається на співвісно приєднаний до нього патрубок 4, що закінчується співвісно приєднаним віялоутворювальним насадком 6.

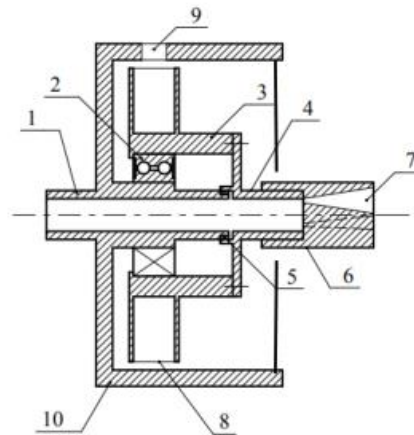


Рис. 2.1. Пристрій для створення обертового гідравлічного струменя : 1 – нерухома труба, 2 – поворотна опора, 3 – ведоме колесо з крильчаткою, 4 – циліндричний патрубок, 5 – манжетне ущільнення, 6 - віялоутворювальна гідравлічна насадка, 7 - наскрізні отвори віялоутворювального насадка, 8 - повітряна камера, 9 - канал подачі повітря, 10 - корпус повітряної камери.

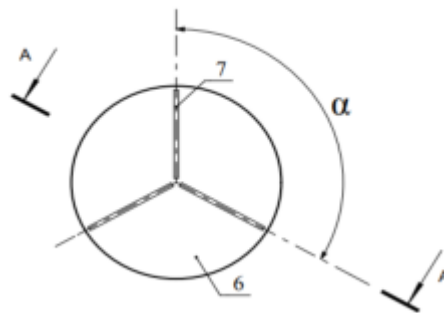


Рис. 2.2. Струменеутворювальна віялова насадка (вигляд із торця)

Під час обертання корпусу 3, патрубка 4 і струменеутворювального насадка 6 відносно спільної поздовжньої осі обертання передається потоку рідини, а на виході з насадка 6 формується гідравлічний струмінь, який обертається навколо своєї осі, і його подають на поверхню, яку очищають, сільськогосподарських машин.

При цьому віялоутворювальна насадка працює так. Вода під тиском потрапляє в наскрізні отвори 7 віялоутворювального насадка 6, де між плоскими паралельними поверхнями формується плоский струмінь на ділянці Z (рис. 2.3). У каналі наскрізного отвору 7 відбувається формування віялоподібного плоского

струменя. Плоский струмінь формується на всій ділянці отвору 7. У разі надання обертання віялоутворювальному насадку 6 у наскрізному отворі 7 на виході з насадка 6 формується гідравлічний струмінь, що обертається навколо своєї осі. Кут β розпилення становить 18° . Три наскрізні отвори 7 розташовані під кутом ϕ 120° один до одного.

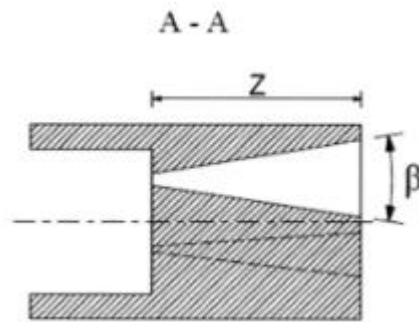


Рис. 2.3. Струменеутворювальна віялова насадка (поздовжній переріз)

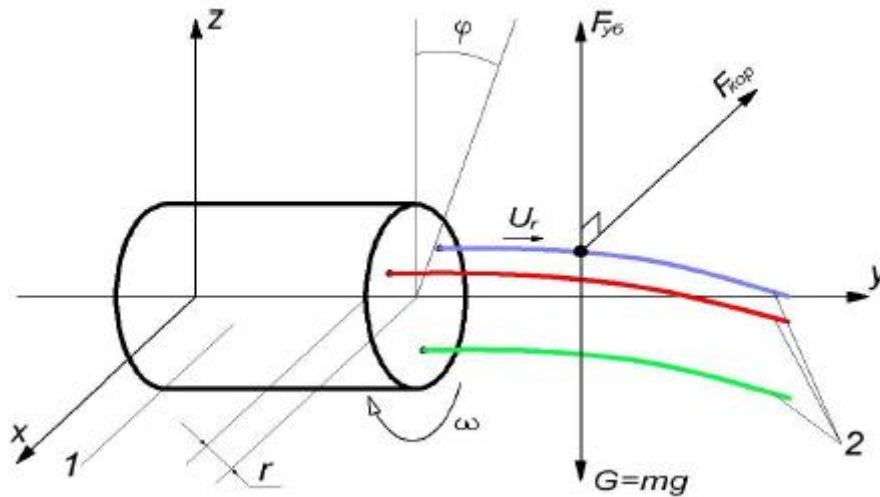
Оскільки більшість поверхонь сільськогосподарської техніки являють собою криволінійну перешкоду, розглянемо процес миття як руйнування забруднення рідиною обертового струменя, тобто здатністю впливу на нерухому перешкоду.

Розглянемо гідравлічний тиск обертового гідравлічного струменя на поверхню твердої нерухомої криволінійної перешкоди, приймаючи поверхню забруднення близькою за формою до циліндричної.

1) Очищувальний струмінь витікає з насадки в необмежене повітряне середовище під час усталеного руху.

2) Задано: середня витратна швидкість витікання струменя v_1 , кутова швидкість обертання насадки ω_0 , діаметр вихідного отвору d_0 , площею.

Розглянемо рух краплі, що вилетіла із сопла (рис. 2.4). На краплю діятиме сили тяжіння, сили інерції, відцентрова та сила Коріоліса.



1 – сопло, 2 – рідина

Рис. 2.4. Розрахункова схема до визначення траєкторії руху крапель

$$m_k \bar{a} = \bar{G} + \bar{F}_{\text{кор}} + \bar{F}_{\text{уб}} \quad (2.1)$$

де m_k – маса краплі, кг;

G – сила тяжіння, Н;

$F_{\text{кор}}$ – сила Коріоліса, Н;

$F_{\text{уб}}$ – відцентрова сила, Н.

Розкриємо рівняння визначником третього порядку за верхнім рядком:

$$2 \left(\vec{i} \begin{vmatrix} \omega \sin \varphi & 0 \\ \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} - \vec{j} \begin{vmatrix} \omega \cos \varphi & 0 \\ \dot{x} & \dot{z} \end{vmatrix} + \vec{k} \begin{vmatrix} \omega \cos \varphi & \omega \sin \varphi \\ \dot{x} & \dot{y} \end{vmatrix} \right) \quad (2.2)$$

Визначник другого порядку буде відповідно швидкості

$$\ddot{x} = 2 \begin{vmatrix} \omega \sin \varphi & 0 \\ \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} = 2 \dot{z} \omega \sin \varphi \quad (2.3)$$

$$\ddot{y} = -2 \begin{vmatrix} \omega \cos \varphi & 0 \\ \dot{x} & \dot{z} \end{vmatrix} = -2 \dot{z} \omega \cos \varphi \quad (2.4)$$

$$\ddot{z} = 2 \begin{vmatrix} \omega \cos \varphi & \omega \sin \varphi \\ \dot{x} & \dot{y} \end{vmatrix} = 2(\dot{y} \omega \cos \varphi - \dot{x} \omega \sin \varphi) \quad (2.5)$$

Відцентрова сила діятиме в площині $z=0$ у

$$F_{\text{уб}}^x = m_k \omega^2 R \cos \varphi \quad (2.6)$$

$$F_{y\phi}^y = m_k \omega^2 R \sin \varphi \quad (2.7)$$

Оскільки напрям відцентрової сили і сили Коріоліса буде змінюватися при обертанні головки (рис. 2.5), запишемо вираз для проектування прискорення Коріоліса на осі координат:

$$F_{кор} = m_k 2(\bar{\omega} * \bar{v}_r) \quad (2.8)$$

$$2(\bar{\omega} * \bar{v}_r) = 2 \begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \omega \cos \varphi & \omega \sin \varphi & 0 \\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} \quad (2.9)$$

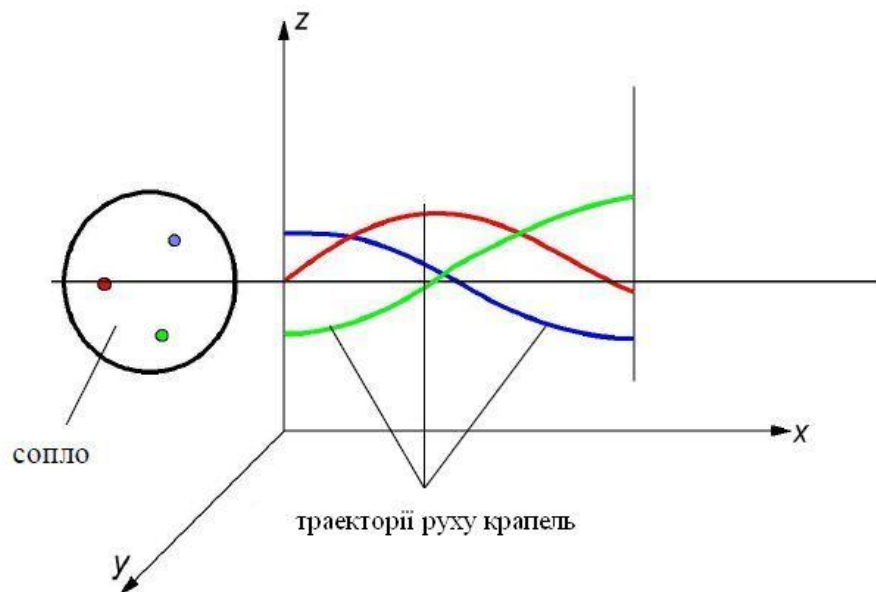


Рис. 2.5. Схема траєкторії руху крапель під час обертання сопла
Спроектуємо рівняння на осі координат з урахуванням виразів.

$$\begin{cases} m\ddot{x} = -m2\dot{z}\omega \sin \varphi - m\omega^2 R \cos \varphi \\ m\ddot{y} = m2\dot{z}\omega \cos \varphi \\ m\ddot{z} = -m2(\dot{y}\omega \cos \varphi - \dot{x}\omega \sin \varphi) - m\omega^2 R \sin \varphi \end{cases} \quad (2.10)$$

Скоротивши в рівнянні значення m , отримаємо.

$$\begin{cases} \ddot{x} = -2\dot{z}\omega \sin \varphi - \omega^2 R \cos \varphi \\ \ddot{y} = 2\dot{z}\omega \cos \varphi \\ \ddot{z} = -2(\dot{y}\omega \cos \varphi - \dot{x}\omega \sin \varphi) - \omega^2 R \sin \varphi \end{cases} \quad (2.11)$$

Під час падіння краплі на забруднену поверхню відбувається удар краплі об частинку забруднення. Унаслідок удару крапля втрачає форму і відбувається

руйнування та зміщення частинки забруднення (рис. 2.6). Таким чином, втрата кінетичної енергії частинки краплі та частинки забруднень під час удару запишемо в такому вигляді:

$$T_0 = m_k v_1^2 + m_{\text{чз}} u_1^2 \quad (2.12)$$

де T_0 – початкова кінетична енергія системи (крапля + частинка забруднення);

m_k – маса краплі, кг;

$m_{\text{чз}}$ – маса частинок забруднень, кг;

v_1 – швидкість краплі, м/с;

u_1 – початкова швидкість частинки забруднень ($u_1=0$).

Кінцева кінетична енергія буде

$$T = m_k v_2^2 + m_{\text{чз}} u_2^2 \quad (2.13)$$

де T – кінцева кінетична енергія системи (крапля + частинка забруднення);

v_2 – швидкість краплі після зіткнення, м/с;

u_2 – швидкість частинки забруднень після удару ($v_2 \approx u_2$).

Втрату кінетичної енергії під час удару краплі запишемо у вигляді

$$T_0 - T = m_k (v_1^2 - v_2^2) - m_{\text{чз}} (u_1^2 - u_2^2) \quad (2.14)$$

$$m_k v_1 + m_{\text{чз}} u_1 = m_k v_2 + m_{\text{чз}} u_2 \quad (2.15)$$

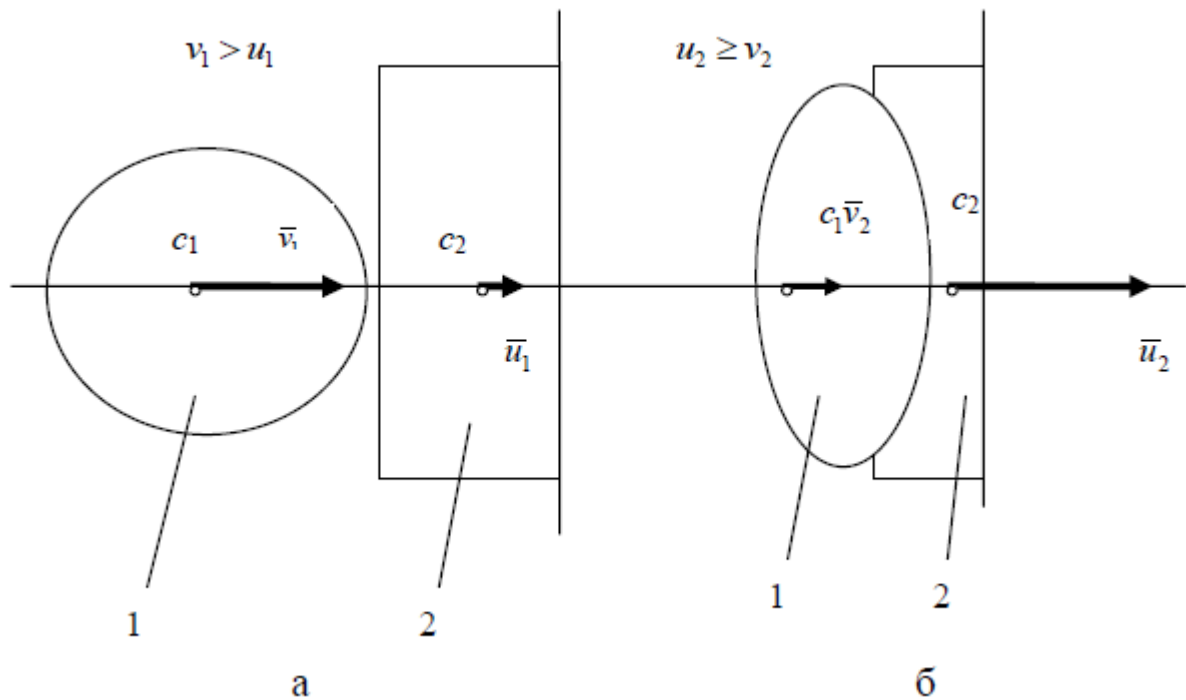


Рис. 2.6. Позначення швидкості центрів мас краплі та частинки забруднення на початку (а) та наприкінці удару (б): 1 – крапля, 2 – забруднення

За центрального удару краплі й частинки забруднення, знаючи їхні маси, швидкості центрів цих тіл на початку удару та коефіцієнт відновлення, визначимо, швидкості краплі й частинки забруднення наприкінці удару та ударний імпульс. Застосовуємо теорему про зміну кількості руху системи, причому сили, що діють, є внутрішніми. Оскільки сума зовнішніх ударних імпульсів дорівнює нулю, то кількість руху системи на початку удару і в кінці удару однакова.

У цьому рівнянні два невідомих v_2 і u_2 . Отже, щоб визначити ці невідомі, треба знайти друге рівняння, яке отримаємо, якщо задати додатковий коефіцієнт відновлення k . Оскільки після удару частинка забруднення отримує перевагу у швидкості над краплею ($v_2 \leq u_2$), то коефіцієнт відновлення під час прямого удару двох тіл визначатиметься як частка від ділення модулів відносних швидкостей тіл наприкінці та на початку удару, тобто:

$$k = \frac{|v_2 - u_2|}{|v_1 - u_1|} = -\frac{v_2 - u_2}{v_1 - u_1} \quad (2.16)$$

де $v_1 < u_1$.

Звідси знаходимо:

$$u_2 - v_2 = k(v_1 - u_1) \quad (2.17)$$

Розв'язуючи систему двох рівнянь (2.15) і (2.17), отримуємо:

$$\begin{cases} v_2 = v_1 - (1+k) \frac{m_k}{m_k + m_{\text{чз}}} (v_1 - u_1) \\ u_2 = u_1 + (1+k) \frac{m_k}{m_k + m_{\text{чз}}} (v_1 - u_1) \end{cases} \quad (2.18)$$

З рівності (2.17) випливає, що

$$k = \frac{u_2 - v_2}{v_1 - u_1} \quad (2.19)$$

при цьому, очевидно, має місце рівність

$$\frac{1-k}{1+k} = \frac{(v_1 - u_1) - (u_2 - v_2)}{(v_1 - u_1) + (u_2 - v_2)} \quad (2.20)$$

з якого знаходимо

$$(v_1 + v_2) - (u_1 + u_2) = \frac{1-k}{1+k} [(v_1 - v_2) - (u_1 - u_2)] \quad (2.21)$$

З рівняння (2.19) видно, що

$$m_k(v_1 - v_2) = -m_{\text{чз}}(u_1 - u_2) \quad (2.22)$$

Підставляючи це значення в рівність (2.14), отримуємо

$$T_0 - T = m_k(v_1 - u_1)[(v_1 + u_1) - (v_2 + u_2)] \quad (2.23)$$

Далі, беручи до уваги рівність (2.22), ми формулу (2.23) можемо представити у вигляді

$$T_0 - T = \frac{1-k}{1+k} [m_k(v_1 - v_2)^2 + m_{\text{чз}}(u_1 - u_2)^2] \quad (2.24)$$

де різниці $(v_1 - v_2)$ і $(u_1 - u_2)$ показують, наскільки зменшилася при ударі швидкість кожного з тіл, що зіштовхуються, а тому їх називають втраченими при ударі швидкостями.

Таким чином, з рівності (2.24) випливає що, кінетична енергія, втрачена системою під час прямого центрального і не цілком пружного удару двох тіл,

дорівнює $\frac{1-k}{1+k}$ тій частці тієї кінетичної енергії, яку мала б система, якби її тіла рухалися із втраченими швидкостями.

Рівності (2.24) можна надати дещо іншого вигляду. Справді, з формул (2.18) маємо:

$$(1+k)^2 \frac{m_{\text{цз}}^2}{(m_{\text{к}} + m_{\text{цз}})^2} (v_1 - u_1)^2 = (v_2 - v_1)^2 \quad (2.25)$$

або

$$(1+k)^2 \frac{m_{\text{к}}^2}{(m_{\text{к}} + m_{\text{цз}})^2} (v_1 - u_1)^2 = (u_2 - u_1)^2 \quad (2.26)$$

Звідси легко знайдемо:

$$\frac{m_{\text{к}}(v_2 - v_1)^2}{2} + \frac{m_{\text{цз}}(u_2 - u_1)^2}{2} = \frac{(1+k)^2}{2} \frac{m_{\text{к}}m_{\text{цз}}}{m_{\text{к}} + m_{\text{цз}}} (v_1 - u_1)^2 \quad (2.27)$$

або

$$\frac{1+k}{2} \frac{m_{\text{к}}m_{\text{цз}}}{m_{\text{к}} + m_{\text{цз}}} (v_1 - u_1)^2 = \frac{1}{1+k} \left[\frac{m_{\text{к}}(v_2 - v_1)^2}{2} + \frac{m_{\text{цз}}(u_2 - u_1)^2}{2} \right] \quad (2.28)$$

і, отже, матимемо

$$\frac{1-k}{1+k} \left[m_{\text{к}}(v_2 - v_1)^2 + m_{\text{цз}}(u_2 - u_1)^2 \right] = \frac{1-k^2}{2} \frac{m_{\text{к}}m_{\text{цз}}}{m_{\text{к}} + m_{\text{цз}}} (v_1 - u_1)^2 \quad (2.29)$$

Звідси, звертаючись до формули (2.24), отримуємо:

$$T_0 - T = \frac{m_{\text{к}}m_{\text{цз}}}{2(m_{\text{к}} + m_{\text{цз}})} (1-k^2)(v_1 - u_1)^2 \quad (2.30)$$

У окремому випадку, коли частинка забруднення до удару нерухома ($u_1 = 0$), матимемо:

$$\begin{cases} T_0 - T = \frac{m_{\text{к}}m_{\text{цз}}}{2(m_{\text{к}} + m_{\text{цз}})} (1-k^2)v_1^2 \\ T_0 = m_{\text{к}}v_1^2 \\ T = \frac{m_{\text{к}} + k^2m_{\text{цз}}}{m_{\text{к}} + m_{\text{цз}}} T_0 \end{cases} \quad (2.31)$$

З рівності (2.24) випливає, що найбільша втрата кінетичної енергії буде за абсолютно непружного удару ($k = 0$), коли тіла наприкінці удару не відновлюються.

У цьому випадку $v_2 = u_2 = u$, тому рівність (2.24), що виражає теорему Карно, набуде такого вигляду:

$$T_0 - T = m_k (v_1 - u)^2 + m_{\text{чз}} (u_1 - u)^2 \quad (2.32)$$

Тобто кінетична енергія, втрачена системою при прямому центральному і абсолютно непружному ударі, дорівнює тій кінетичній енергії, яку мала б би система, якби її тіла рухалися із втраченими швидкостями.

Припускаючи $k = 0$, з рівності (2.30) отримаємо вираз для втраченої кінетичної енергії за абсолютно непружного удару в іншому вигляді, а саме:

$$T_0 - T = \frac{m_k m_{\text{чз}}}{2(m_k + m_{\text{чз}})} (v_1 - u_1)^2 \quad (2.33)$$

Розглянемо випадок абсолютно непружного удару, коли одне з тіл, що соударяються, до удару було нерухомим. Нехай цим тілом буде друге тіло, тоді його швидкість до удару $u_1 = 0$. У цьому разі кінетична енергія системи на початку та наприкінці удару буде відповідно дорівнювати:

$$T_0 = m_k v_1^2 \quad (2.34)$$

$$T = (m_k + m_{\text{чз}}) v_2^2 \quad (2.35)$$

оскільки при абсолютно непружному ударі $v_2 = u_2$. При цьому матиме місце формула (2.34, 2.35), тобто:

$$v_1 = \frac{m_k + m_{\text{чз}}}{m_k} v_2 \quad (2.36)$$

Підставляючи це значення v_1 до формули (2.33) і враховуючи другу з формул (2.34, 2.35), отримуємо:

$$T = \frac{1}{1 + \frac{m_{\text{чз}}}{m_k}} T_0 \quad (2.37)$$

Відома швидкість струменя з досліджень, а також відома витрата рідини.

Розглянемо дію всебічної деформації, коли швидкість деформації не дорівнює нулю, що викличе збільшення міцності. Розглянемо це твердження кількісною мовою.

Об'ємне реологічне рівняння для однорідного матеріалу, запишемо:

$$-\sigma = k_y e_v + \xi_s \dot{e}_v \quad (2.38)$$

де ξ_s - коефіцієнт об'ємної в'язкості твердого тіла.

e_v - об'ємна деформація забруднення, м³,

$\dot{e}_v$ - швидкість об'ємної деформації м³/с,

k_y - коефіцієнт пружності матеріалу забруднень, Н/м³

Ця об'ємна в'язкість затримує появу пружної деформації та (або) викликає в'язке загасання, але течія при цьому відсутня. Це і є в'язкість твердого тіла.

Робота деформації на одиницю об'єму, запишемо:

$$A = \int_0^{e_v} k_y e_v de_v + \int_0^t \xi_s \dot{e}_v^2 dt \quad (2.39)$$

Перша частина в правому боці, будучи пружною потенційною енергією, оборотна, тоді як друга частина переходить у тепло і дисипується. Тому руйнування має місце, коли перша частина досягає і перевищує граничну пружну потенційну енергію матеріалу при рівномірному всебічному напруженому стані, вимірювану E_v . Умова руйнування буде:

$$A - \int_0^t \xi_s \dot{e}_v^2 dt = \int_0^{e_v} k_y e_v de_v \geq \Pi \quad (2.40)$$

Якщо k постійне, інтеграл у правій частині може бути обчислений, і він дорівнює $k_y = \frac{e_v^2}{2}$. Тому об'ємне розширення, за якого відбувається руйнування, дорівнює:

$$e_{cr} = \pm \sqrt{\frac{2\Pi}{k}} \quad (2.41)$$

Тоді рівняння (2.38) дає для розтягувального напруження, при якому має місце руйнування, таке значення:

$$-\sigma = k_y e_{cr} + \xi_s \dot{e}_v = \sqrt{2\Pi k} + \xi_s \dot{e}_v \quad (2.42)$$

Нехай рівнісне напруження в статичному стані, при якому $\dot{e}_v = 0 \in \sigma_{rs}$

$$\sigma_{rs} = \pm \sqrt{2Pk_y} \quad (2.43)$$

Тоді

$$\sigma = \sigma_{rs} + \xi_s \dot{\epsilon}_v \quad (2.44)$$

Отже: напруження, за якої матеріал руйнується під час всебічному рівномірному розтягуванні, зростає при збільшенні швидкості розширення. Якщо ξ_s постійна, зростання лінійне; в іншому разі воно слідує деякому пружному закону, що визначається залежністю ($\xi_s = f \epsilon_v$).

Таблиця 2.1 – Розподіл забруднень за ступенем активності

Ступінь активності забруднень	Вид забруднень поверхні	Щільність, кг/м ³	Товщина, мм	Межа міцності на стиск, МПа	Умовний коефіцієнт адгезійної міцності
1	2	3	4	5	6
Слабо пов'язані	Рослинні рештки	40-100	30	3-20	0,2
Середньо пов'язані	Маслянисто-грязьові	200-900	5-10	1-5	0,15-0,3
	Технологічні забруднення	790-1200	5-10	1-5	0,15-0,5
Міцно пов'язані	Старі лакофарбові покриття	1000-1400	1	30	3
	Продукти корозії	1500-2500	-	40	4
	Смолисті відкладення	950-1050	5	3-8	0,9
	Нагар	1050-1200	10	30	3
	Накип	2300-2600	5	30	3

Слід зазначити, що цей результат не залежить від сталості k_y . З рівняння (2.39) безпосередньо впливає, що робота деформації, A , що приводить до руйнування, для будь-якої швидкості розширення $\dot{\epsilon}_v$ завжди більша, ніж робота деформації A_{rs} , яка витрачається при нескінченно повільному розширенні (для якого $\dot{\epsilon}_v = 0$).

Отже, тоді як за відсутності в'язкого опору для об'ємного розширення матеріалу існує певне напруження, за якої відбувається руйнування, у випадку, коли в'язкість існує, розширення ϵ_v є фіксованим, а напруження σ - ні.

На підставі проведених теоретичних досліджень отримано вирази, що зв'язують напруження, яка руйнує забруднення, і потенційну енергію (роботу) з руйнування забруднення. У результаті розрахунку отримано потенційну енергію руйнування середньо зв'язаних забруднень, яка становить згідно з формулою (2.44) близько 3 КДж на площі 1 м^2 .

Також встановлено залежності для розрахунку енергії руйнування частинок забруднень, що дало змогу розрахувати початкову кінетичну енергію крапель рідини, яку можна визначити за формулою (2.37), при середньому розмірі краплі близько 0,2 мм її енергія становить близько $7,95 \cdot 10^{-5}$ Дж.

Подальше дослідження кінетичної енергії струменя, що розпадається на краплі дало змогу встановити, що початкова швидкість струменя згідно з формулою (2.34) має становити близько 21 м/с. Для випадку обертових гідравлічних струменів.

Висновки по розділу

Для вдосконалення мийного процесу розроблено пристрій з обертовими гідравлічними струменями, що складаються з прямої нерухомої труби, на яку надягнуто ведене колесо з крильчаткою, що забезпечує обертання циліндричного патрубку з соплами. Завдяки чому утворюються обертові струмені.

Застосування обертових струменів забезпечує комплексний гідродинамічний вплив на частинки забруднення. Завдяки обертанню спрямованого струменя вплив здійснюється під деяким кутом з багаторазовим повторенням, що покращує руйнування частинок забруднення і сприяє відведенню забруднених частинок із зони мийки.

РОЗДІЛ 3

ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПРИСТРОЮ У ВИРОБНИЦТВО

Лабораторні дослідження проводилися з метою підтвердження теоретичних досліджень щодо можливості використання обертового експериментального струменя та його впливу на ефективність видалення забруднень із зовнішніх поверхонь машин.

До завдань лабораторних досліджень входило: визначення раціональних параметрів роботи експериментальної мийної установки; визначення залежності ступеня очищення від відстані до поверхні, що очищається; визначення залежності ступеня очищення від швидкості потоку мийного струменя.

Лабораторні дослідження проводилися на експериментальній установці, принципову схему та загальний вигляд якої представлено на рис. 3.1 і 3.2.

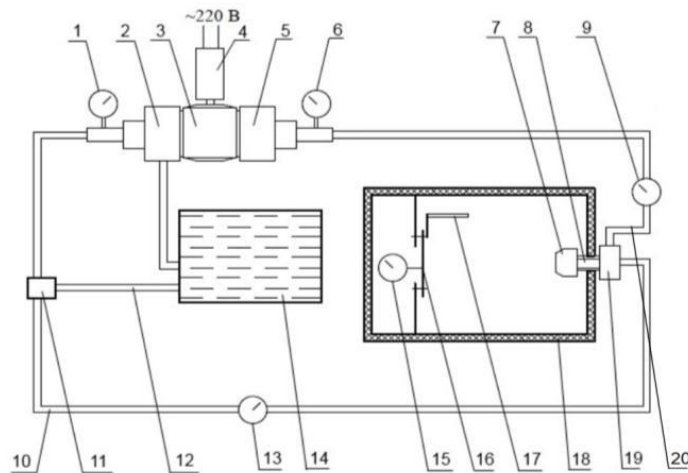


Рис. 3.1. Принципова схема експериментальної установки: 1 – манометр водяний, 2 – насос водяний, 3 – електродвигун, 4 – електроцист, 5 – насос повітряний, 6 – манометр повітряний, 7 – віялоутворювальне сопло, 8 – тримач, 9 – витратомір повітряний; 10 – напірна магістраль, 11 – запобіжний клапан, 12 – перепускна магістраль, 13 – витратомір води, 14 – ємність для води, 15 – динамометр, 16 – зразок, 17 – лінійка, 18 – мийна камера, 19 – повітряна камера, 20 – повітряна магістраль

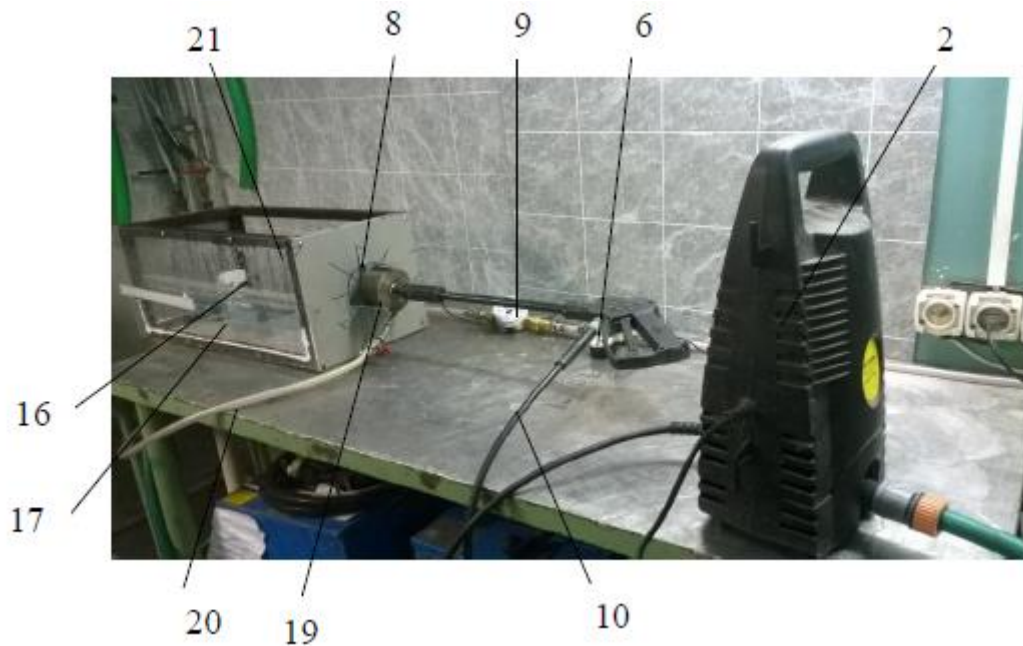


Рис. 3.2. Загальний вигляд експериментальної установки: 2 – насоса високого тиску, 8 – тримач, 9 – витратомір повітряний, 20 – повітряна магістраль, 6 – манометр повітряний, 10 – напірна магістраль, 16 – зразок, 17 – лінійка, 18 – мийна камера та встановленим у ній обертовим віяловим соплом 7, 19 – повітряна камера.

Лабораторна установка живиться від мережі 220 В і працює так: електродвигун 3 приводить у дію насос високого тиску 2. У результаті цього мийна рідина з бака 14 через насос високого тиску 2 надходить у напірну магістраль 10 і далі по напірній магістралі у віялоутворювальне експериментальне сопло 7, загальний вигляд якого представлений на рис. 3.3. При виході з сопла мийний струмінь прямував на зразок 16, закріплений у мийній камері 18. Відстань до зразка вимірювали за допомогою лінійки 17, експериментальне сопло фіксували затискачами 7. Електродвигун 3 приводив у дію повітряний насос 5, який повітряною магістраллю 20 надходив у повітряну камеру, де приводив у рух веденне колесо з крильчаткою. Вплив обертового складного віялового струменя на зразок фіксувався індикатором 15. Кількість мийної рідини, що проходить через сопло, визначали витратоміром 9, кількість повітря, що проходить у повітряну камеру, визначали витратоміром 8,

встановленим у повітряній магістралі. Зміна тиску рідини в напірній магістралі здійснюється за рахунок регулятора тиску, встановленого в насосі.



Рис. 3.3. Загальний вигляд пристрою для створення обертового гідравлічного струменя : 1 – нерухома труба, 2 – поворотна опора, 3 – корпус повітряної камери, 4 – віялоутворювальний гідравлічний насадок, 5 – ведене колесо з крильчаткою

Для вирішення поставлених завдань було створено промисловий зразок установки, що дає змогу здійснювати очищення обертовими віяловими струменями. Принципову схему і загальний вигляд установки представлено на рис. 3.4 і 3.5 відповідно.

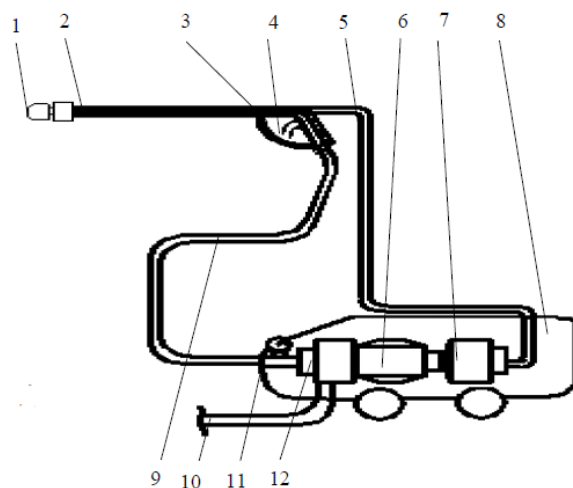


Рис. 3.4. Принципова схема установки: 1 – віялоутворювальне обертове сопло, що обертається, 2 – гідромонітор, 3 - кнопка подачі повітря, 4 – кнопка подачі води, 5 – повітряна магістраль, 6 – ефектордвигун, 7 – насос компресора,

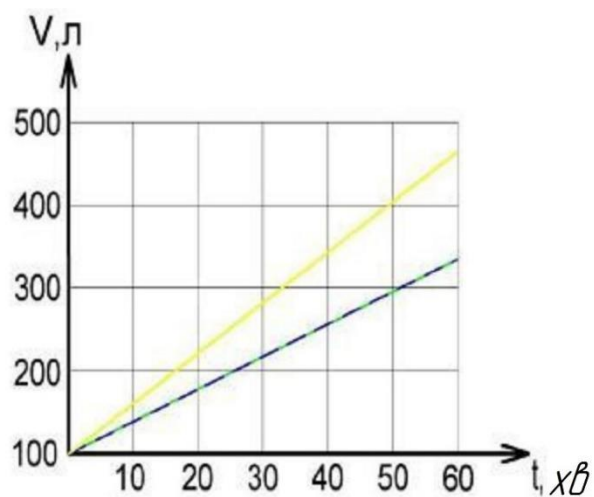
8 – корпус установки, 9 – напірна магістраль, 10 – подавання води, 11 – манометр, 12 – насос високого тиску.

Мийна установка складається з корпусу 8, усередині якого розташовано плунжерний насос високого тиску 12 і електричний двигун 6. Вода до насоса надходить через підвідну магістраль, і далі через напірну магістраль подається до мийного пістолета (гідромонітора). На передній частині гідромонітора закріплений порожнистий з перепускними каналами корпус, усередині якого встановлено обертове віялове сопло, що обертається.

Під час натурних випробувань було проведено порівняння способів засобів для видалення забруднень із поверхонь сільськогосподарських машин, які зустрічаються найчастіше, і встановлено техніко-експлуатаційні показники роботи установок, що представлені на рис. 3.6, 3.7 і в таблиці 3.1.

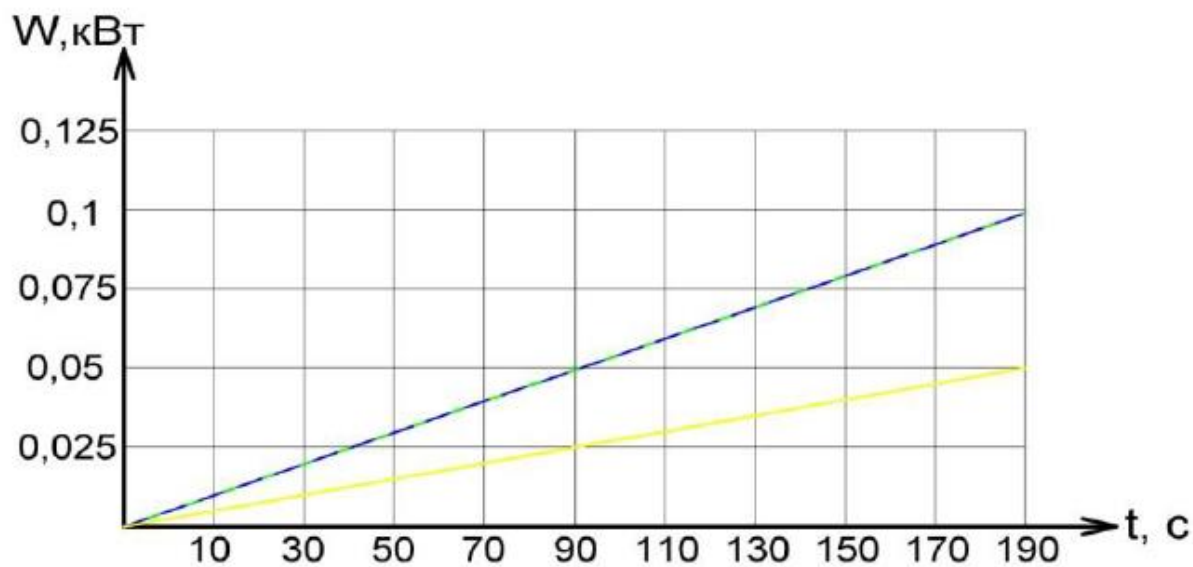


Рис. 3.5. Загальний вигляд установки: 1 – ємність для води, 2 – насос високого тиску, 3 – напірний шланг високого тиску, 4 – експериментальне сопло, 5 – компресор, 6 – повітряний шланг, 7 – манометр мийної установки,.



- експериментальна установка
- установка високого тиску "KARCHER K7"
- установка високого тиску "Huter W105-GS"

Рис. 3.6. Графік споживання води від часу миття



- експериментальна установка
- установка високого тиску "KARCHER K7"
- установка високого тиску "Huter W105-GS"

Рис. 3.7. Графік споживання електроенергії від часу миття.

Таблиця 3.1 – Експлуатаційні показники очищення сільськогосподарських машин від середньо- та слабкозв'язаних забруднень

№ п/п	Найменування способу очищення	Марка установки для очищення	Марка с/г машини	Оціночні показники				
				Витрата електроенергії, кВт-год	Витрата робочої рідини.	Робочий тиск МПа	Час очищення, хв.	Залишкове забруднення, г/м ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Мийка високого тиску	Huter W105- GS	СЗУ-3.6	0,6	128	6,8	25,4	0,85
			КамАЗ	1	229		49,1	0,88
			RopaV8-3	1,7	376		83	0,9
2.	Мийка високого тиску	Kircher K7	СЗУ-3.6	0,9	158	14,3	20,3	0,74
			КамАЗ	1,6	287		41,5	0,77
			RopaV8-3	2,7	486		70,4	0,79
3.	Мийка з обертовим струменем	Експериментальна установка	СЗУ-3.6	0,8	116	7,8	18,5	0,71
			КамАЗ	1,4	205		37,2	0,73
			RopaV8-3	2,3	349		63,5	0,76

Максимальне очищення поверхні від забруднення може бути досягнуто при використанні установки високого тиску "KARCHER K7" та експериментальної установки з обертовим струменем, кількість залишкових забруднень при використанні цих способів на 7-9% нижча, ніж при використанні мийки високого тиску "Huter W105-GS". Порівняльний аналіз техніко-експлуатаційних показників способів очищення показав, що мийка з використанням обертового струменя є найбільш економічною, витрата електроенергії та робочої рідини на 15-20% нижча, ніж за умови використання мийки високого тиску "KARCHER K7" і забезпечує високу продуктивність. Залишкові забруднення після використання експериментальної установки становлять 3-5%, що відповідає ДСТУ.

Аналіз якості очищення еталонних зразків із застосуванням струменевих установок показав, що якість залежить від часу впливу, рис. 3.8.

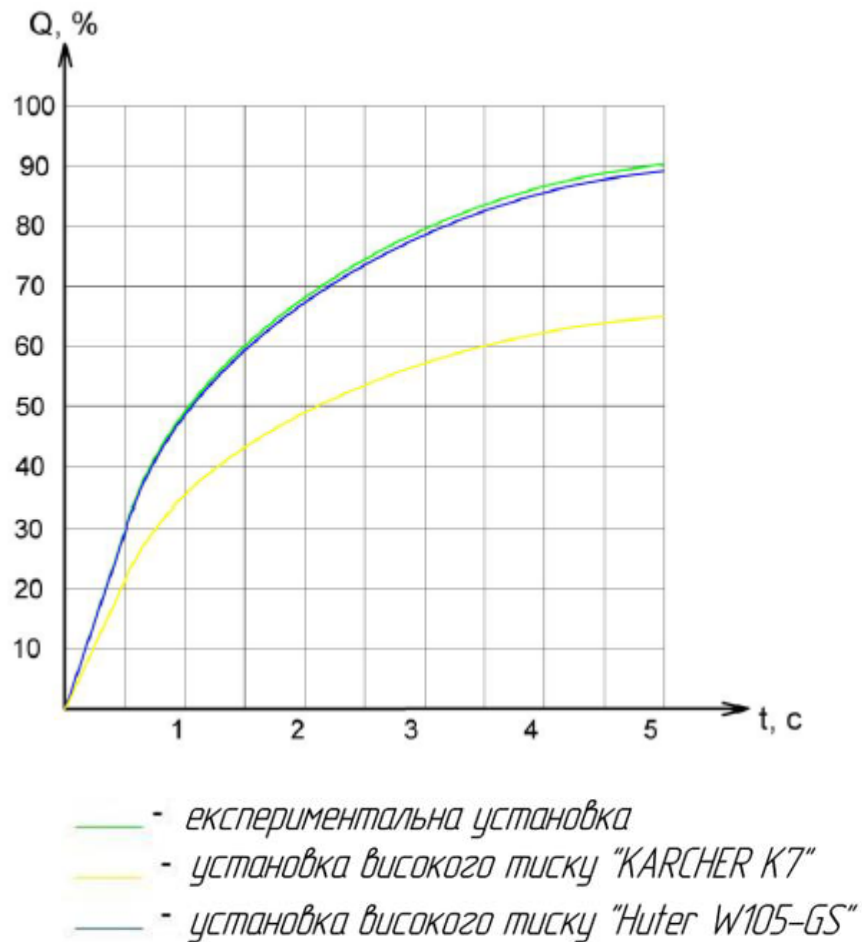


Рис. 3.8. Графік залежності ступеня очищення від часу

При цьому на початковому етапі спостерігається максимальна інтенсивність очищення, а потім вона знижується, тому для отримання високих експлуатаційних показників установок, час очищення має бути обмежений. Найефективнішими є "KARCHER K7" та експериментальна установки, що забезпечують максимальне очищення за мінімальних витрат часу. Необхідна якість очищення еталонного зразка досягається за 5 с. Найгірші якісні показники має установка для очищення струменем високого тиску "Huter W105-GS", яка за такий самий проміжок часу забезпечує якість очищення не більше 65%.

Ефективність очищення сільськогосподарських машин залежить не тільки від техніко-експлуатаційних показників роботи установок, а й від технології організації робіт. Нами було проведено дослідження щодо впливу технології очищення на трудомісткість і якість робіт, які представлені на рис. 3.9.

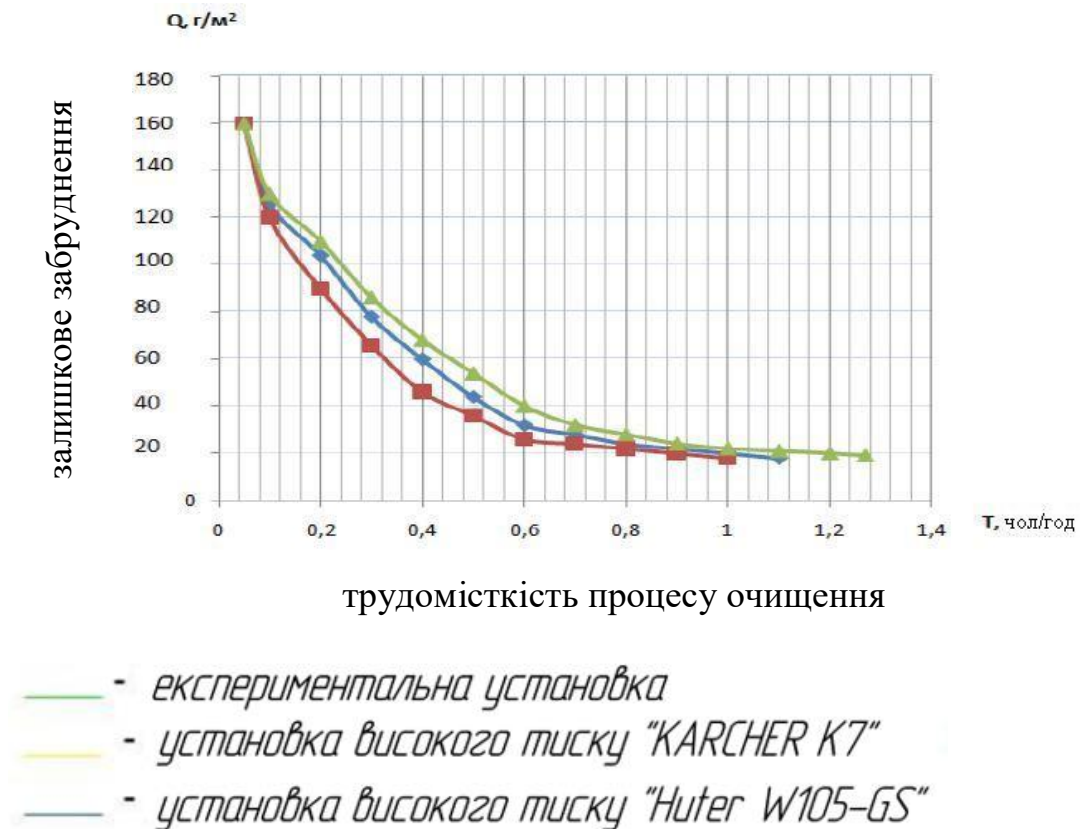


Рис. 3.9. Графік впливу очищення на трудомісткість і якість робіт.

Аналіз якості очищення від трудовитрат показав, що найбільші трудовитрати при очищенні сільськогосподарських машин отримано при очищенні струменями високого тиску за допомогою установки "Huter W105-GS" і установки "KARCHER K7". Використання експериментальної установки дає змогу суттєво збільшити ефективність очищення сільськогосподарських машин від забруднень. Так, для забезпечення допустимої якості очищення (залишкове забруднення 1 г/м²), трудомісткість миття для експериментальної установки становить 1,03 чол*год, для установки "KARCHER K7" - 1,11 чол*год та установки "Huter W105-GS" - 1,15 чол*год.

На підставі проведених натурних випробувань розроблений спосіб очищення обертовим струменем з використанням промислового зразка установки пройшов успішну виробничу перевірку. У зв'язку з цим було розроблено операційні карти для зовнішньої мийки досліджуваних марок сільськогосподарських машин. Застосування розробленої технології дало змогу підвищити ефективність очищення сільськогосподарських машин, так загальний

час мийної операції становить для бурякозбирального комбайна RoraV8-3 - 63,5 хв, автомобіля КамАЗ - 37,2 хв, сівалки СЗУ-3.6 - 18,4 хв.

Висновки по розділу

Застосування експериментальної установки для миття бурякозбирального комбайна RoraV8 дає змогу суттєво збільшити ефективність очищення від забруднень. Так, для забезпечення допустимої якості очищення (залишкове забруднення 1 г/м^2), трудомісткість мийки для експериментальної установки становить 1,03 чол. год., витрата електроенергії $2,3 \text{ кВт*год.}$; витрата води $0,4 \text{ м}^3$.

Застосування розробленого способу миття дало змогу підвищити ефективність очищення сільськогосподарських машин, так загальний час мийної операції становить для бурякозбирального комбайна RoraV8-3 – 63,5 хв, автомобіля КамАЗ – 37,2 хв, сівалки СЗУ-3.6 – 18,4 хв.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На підставі дослідження науково-виробничого досвіду очищення сільськогосподарських машин від забруднень встановлено, що для мийних установок найефективнішими для поліпшення якості миття є гідродинамічні насадки, які створюють ефект гідравлічного удару та забезпечують підвищення механічного впливу водяного струменя.

Для вдосконалення мийного процесу розроблено конструкцію пристрою з обертовими гідравлічними струменями, які складаються з прямої нерухокої труби, на яку надягнене ведене колесо з крильчаткою, що забезпечує обертання циліндричного патрубку з соплами й утворення обертового струменя. Його застосування забезпечує комплексний гідродинамічний вплив на частинки забруднення з багаторазовим повторенням, що дає змогу зруйнувати забруднення і відвести його із зони мийки.

Встановлено, що раціональними параметрами пристрою для створення обертового струменя є: кількість струменів – 3; діаметр отворів – 0,97 мм; тиск мийної рідини в соплі – 7,8 МПа; швидкість обертання сопла – 132 об/хв.

Максимальна ефективність мийки досягається на відстані 220 мм від сопла до поверхні, що омивається, і швидкості обертання сопла 132 об/хв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. М.С. Агеєв, І. В. Грицук, Е.К. Солових Застосування комбінованих технологій відновлення для підвищення ресурсу деталей засобів транспорту Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ), 2020, Вип. 194.С. 81 – 92.

2. М.С. Агеєв, А.В. Рудковський, О.П. Грищенко, Е.К. Солових, С.О. Магопєць Відновлення деталей засобів транспорту комбінованим методом нанесення багатофункціональних покриттів Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». Технічні науки. 2020. №3 (285). С. 268 – 277. DOI 10.31891/2307 – 5732.

3. O. Saraiev, I. Saraieva, I. Gritsuk, R. Vrublevskyi, D. Kurnosenko, M. Ahieiev Automated Diagnostic System for Engine Cylinder – Piston Group. SAE Technical Paper 2020 – 01 – 2022. 2020. doi: <https://doi.org/10.4271/2020 – 01 – 2022>. Mode of access: SAE International (Scopus). <http://papers.sae.org/10.4271/2020 – 01 – 2022>. Title from the screen.

4. М.С. Агеєв, М.А. Білоцерківський, В.М. Лопата, Н.В. Вігілянська Використання структурних аномалій в сталевих газотермічних покриттях при підвищенні зносостійкості засобів транспорту. Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». Технічні науки. 2020, №4. Том 1 (287), С. 257 – 262. DOI 10.31891/2307 – 5732.

5. M. Ageev, S. Dovzhuk, V. Nikolaychuk The Influence of Design Parameters for Electric arc Equipment on the Factors of Spray Process and Properties of Coatings. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2019. Col.1(32). P.114 – 123.

6. М.С. Агеєв Дослідження кінетики виміру електрохімічного потенціалу в часі при підвищенні корозійної стійкості деталей Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». Технічні науки. 2019 №6 (279). С. 240 – 248. DOI 10.31891/2307 – 5732.

7. М.С. Агєєв Застосування методів аналітичної механіки для створення моделі переміщення маси в робочих зонах елементів СЕУ. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк: 2013. Вип. №40. С. 4 – 6.

8. Б.А. Ляшенко, М.С. Агєєв, С.Л. Чиграй Управління дифузійним насиченням пористих покриттів в умовах термоциклічного іонного азотування Інженерія поверхні і реновація виробів: матеріали 17 – ї міжнародної науково-технічної конференції (29 травня – 2 червня 2017 р., Одеса). Одеса: АТМ України. 2017. С. 111 – 114.

9. Ющенко К.А. Інженерія поверхні. Київ: Наук-а думка, 2007. 559 с.

10. В.М. Корж, Ю.С. Попіль Інженерія поверхні – новий технологічний напрямок виготовлення та відновлення деталей машин та конструкцій. Сучасне машинобудування. 1999. №1. С. 92 – 94.

11. М.В. Кіндрачук, В.М. Писаренко, Н.В. Іщук, М.В. Кіндрачук Формування зносостійких структур на сталях дискретною модифікацією поверхні. Металознавство та обробка матеріалів, 2009. №3. С. 11 – 17.

12. В.В. Возненко Підвищення експлуатаційних характеристик деталей приладів шляхом формування поверхонь з дискретно-орієнтованою топографією: автор. дис. к.т.н., НТУУ. Київ: 2006. 20 с.

13. Патент 33410, Україна. Спосіб нанесення дискретних зносостійких покриттів. Бюл. 2001. № 1.

14. А.О. Корнієнко Формування покриттів триботехнічного призначення комбінованою лазеро-хіміко-термічною обробкою. Проблеми тертя та зношування: Науково-техн. зб. К.: НАУ. 2008 Вип. 49. Т.2. С.61 – 65.

15. 1. Білецький В.Р., **Криворучко В.І.** Аналіз технологій миття поверхонь сільськогосподарської техніки. Технічний прогрес в АПВ: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 9-10 травня 2023 року / Державний біотехнологічний університет. Харків. С. 84-87.

2. Білецький В.Р., **Криворучко В.І.** Пристрій для створення обертового гідравлічного струменя. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної*

конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 19 квітня 2023 р.
Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 3-6.