

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА**

**МІЛЯНИЧ АНДРІЙ РОМАНОВИЧ**



**УДК: 629.463.3.083**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ КОТЛІВ ВАГОНІВ-  
ЦИСТЕРН ПРИ ПІДГОТОВЦІ ЇХ ДО РЕМОНТУ**

**05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**дисертації на здобуття наукового ступеня**  
**кандидата технічних наук**

**Дніпропетровськ – 2015**

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник** – доктор технічних наук  
**КУЛІЧЕНКО Анатолій Якович**,  
Львівський національний аграрний університет,  
професор кафедри машинобудування

**Офіційні опоненти:** – доктор технічних наук  
**БУБНОВ Валерій Михайлович**,  
ПАТ «Азовмаш», м. Маріуполь  
Перший заступник Генерального директора з  
науково-технічного розвитку,

– кандидат технічних наук  
**БОРЗИЛОВ Іван Дмитрович**,  
Український державний університет залізничного  
транспорту Міністерства освіти і науки, м. Харків,  
професор кафедри вагонів

Захист відбудеться “8” жовтня 2015 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 при Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. В. Лазаряна, 2, ауд. 314 (зала засідань)

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпропетровськ, вул. Акад. В.Лазаряна, 2

Автореферат розісланий “7” вересня 2015 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І. В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Вступ.** Залізничний транспорт є основним складовим єдиного транспортного комплексу нашої держави і становить особливе стратегічне значення для України. Домінуючою задачею перевезень вантажів залізничним транспортом є підвищення його ефективності та безпека експлуатації вантажного рухомого складу, тому безперервно і цілеспрямовано здійснюються роботи по розвитку і технічному вдосконаленню технологічних процесів ремонтних робіт та технічного обслуговування вантажних вагонів.

Від чіткої і злагодженої роботи усіх підрозділів вагоноремонтних спеціалізованих підприємств залежить безперебійність і безпека руху поїздів та своєчасне забезпечення перевезень технічно справним рухомим складом. Зростання обсягу вантажних перевезень залізницями України різних за характером вантажів, таких як, наприклад, речовин, які тверднуть, є неможливим без постійного вдосконалення умов та підвищення ефективності технології проведення підготовчих робіт для вантажних вагонів, пов'язаних у першу чергу із вантажно-розвантажувальними процесами на транспорті.

**Актуальність теми.** Однією із основних проблем сьогодення у вантажних перевезеннях залізничним транспортом є технічне обслуговування засобів транспорту на етапах їх підготовчих робіт, пов'язаних із видаленням у процесі розвантаження з вагонів-цистерн залишків застиглих речовин, які тверднуть під час перевезень. Слід констатувати той факт, що на сьогоднішній час даний технологічний процес здійснюється у більшості ручним способом, що пов'язано із значними фізичними навантаженнями та шкідливими умовами для здоров'я робітників.

Складність у руйнуванні монолітності вантажів, які тверднуть полягає в специфічних особливостях матеріалу та труднощах порушення їх адгезійних взаємозв'язків із металом внутрішньої поверхні вантажного засобу, тому розробка та прийняття науково обґрунтованих рішень пов'язані із необхідністю підвищення ефективності нових технологічних процесів і обладнання відновлювального ремонту, що можливе лише на основі об'єктивних оцінок його технічного стану та залишкового ресурсу.

Одним із найбільш ефективних засобів підвищення ефективності підготовчих робіт є розробка нових методик впровадження на вагоноремонтних підприємствах прогресивних науково та економічно обґрунтованих технологічних процесів, здатних в оптимальних режимах вирішувати поставлені задачі.

Актуальність проблеми полягає у вирішенні технологічної задачі ефективної, швидкої та економічно раціональної проблеми розвантажування залізничних вагонів-цистерн від залишків транспортіваних вантажів, які тверднуть.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, які визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 № 2174-р), а також відповідає напрямкам досліджень та розробок, що проводяться на кафедрі «Вагони та

вагонне господарство» ДНУЗТу. За темою дисертації виконана науково-дослідна робота «Технічне діагностування вантажних вагонів, що знаходиться на балансі ДП «Одеська залізниця» та які вислужили призначений термін служби з метою визначення їх технічного стану і можливості подальшої експлуатації» номер державної реєстрації 0115U004579. Автор брав участь у виконанні цієї науково-дослідної роботи як виконавець.

**Мета роботи.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності підготовчих робіт до ремонту вагонів-цистерн шляхом вдосконалення технології очищення внутрішніх поверхонь їхніх котлів.

**Задачі досліджень.** Для досягнення зазначеної мети необхідно розв'язати наступні задачі: 1. Провести аналіз існуючих методів очищення внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн на етапі підготовчих робіт для виконання ремонту;

2. Розробити математичну модель руйнівного та очисного технологічних процесів якісного очищення внутрішньої поверхні котла вагона-цистерни;

3. Розробити загальні технічні вимоги до процесів та засобів руйнування та видалення із внутрішніх поверхонь котлів вагонів-цистерн застиглих залишків речовин;

4. Розробити методику оптимальних та ефективних технологічних режимів очищення внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн від застиглих залишків речовин, які тверднуть із формуванням якісних показників поверхні;

5. Визначити економічну ефективність впровадження нового методу очищення внутрішніх поверхонь котлів цистерн;

6. Розробити практичні рекомендації із технології очищення внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн для проведення ремонту.

**Об'єкт досліджень** – технологічний процес очищення внутрішніх поверхонь котлів вагонів-цистерн.

**Предмет досліджень** – взаємодія робочих частин інструмента з залишками вантажів, що тверднуть та внутрішньою поверхнею котла вагонів-цистерн.

**Методи досліджень.** Основні положення технології металообробки, теорії математичного аналізу та числових методів вирішення диференціальних рівнянь, теорії моделювання, методи ітераційного та варіаційного числення, статистична обробка результатів експериментів.

Достовірність теоретичних положень, висновків і рекомендацій роботи підтверджено результатами експериментальних досліджень та практикою впровадження нової технології, установки та інструменту.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вперше на основі дослідження процесів зчеплення між внутрішньою поверхнею котла цистерни та застиглих залишків речовин встановлено зусилля для їх руйнування та відокремлення;

2. Вперше розроблено теоретичну модель руйнування та очищення із вагонів-цистерн накопичення вантажів, які тверднуть шляхом динамічного впливу робочих елементів інструменту;

3. Вперше розроблено технологічний процес вибору ефективних технологічних режимів механічного руйнування та видалення із внутрішніх

поверхонь вагонів-цистерн застиглих залишків вантажів, які тверднуть;

4. Удосконалено теоретичну модель формування шорсткості металу та внутрішніх залишкових напружень поверхонь котлів вагонів-цистерн методом комплексного впливу елементів інструменту;

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати можуть бути використані у ремонтному виробництві на етапі проведення механізованих підготовчих робіт перед ремонтом залізничних вагонів-цистерн. Також вони можуть бути використані в різних засобах транспортних перевезень.

Одержали подальшого розвитку практичні рекомендації із забезпеченням ефективності технології очищення внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн перед постановкою їх у ремонт.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у вагонному депо ВЧДР-2 Дрогобич Львівської залізниці для очистки внутрішньої поверхні котлів залізничних цистерн від залишків вантажів, що тверднуть та якісної підготовки очищеної поверхні для подальшої експлуатації цистерн.

Результати роботи використано для проведення практичних занять з дисципліни «Вагоноремонтні машини та обладнання» та «Основи експлуатації та відновлення вагонів» на кафедрі «Рухомий склад і колія» (Львівська філія Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна).

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційних досліджень отримані автором самостійно. Крім цього, у публікаціях, у яких відображено основні результати дисертації та які написані у співавторстві, автор: у [1] – провів аналіз існуючих методів очистки перед завантаженням вантажів; у [3] – провів аналіз взаємодії контактуючих поверхонь з різними якісними показниками матеріалу, що впливають на зносостійкість елементів інструментів і поверхню обробки; у [4] – теоретично обґрунтував роботу інструментів, призначених для механізованого руйнування монолітності ортотропних матеріалів та видалення їх залишків із порожнин котлів цистерн; у [10] – дослідив технологічні фактори процесу поверхневої обробки інструментом із гнучкими робочими елементами; у [11] – розробив методика динамічних випробовувань деталей вантажних вагонів на міцність та надійність, а також провів аналіз тривалості експлуатації якісно сформованої поверхні; у [12] – провів аналіз статичних випробовувань деталей вагонів на ефективність поверхневої обробки; у [13] – розробив принцип дії секційної щітки за допомогою коливного руху, а також дослідив тепловий вплив на оброблену поверхню; у [14] – проаналізував методи та інструменти, які застосовуються у існуючих технологічних процесах очищення ємностей, резервуарів та залізничних цистерн від осадів органічного характеру; у [15] – вирішив задачу створення механізму, який із зовні можна направляти крізь вузьку горловину або люк ємності у внутрішню її порожнину; у [16] – розробив пристрій, в якому розгортається вісь з гнучкими робочими елементами на довжину, рівну половині довжини цистерни та надає осі обертового руху; у [17] – вирішив задачу створення установки, здатної здійснювати одночасно очистку

значної за розмірами площі поверхні механічними торцевими щітками; у [18] – спроектував механізм, закріпивши який в котлі цистерни змушує щітки здійснювати зворотно-поступальний рух вздовж горизонтальної осі котла цистерни; у [20] – провів економічний аналіз існуючого процесу очистки цистерн.

Роботи [2, 5-9, 19, 21-24] написані самостійно, без співавторів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати роботи доповідалися: на 65 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2005 р.); на V Міжнародній науковій конференції «Проблеми економіки транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2006 р.); на 73 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2013 р.); на 74 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); на Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті», (м. Харків, 2014 р.); на 75 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2015 р.).

**Публікації.** Результати дисертаційної роботи опубліковано у 24 наукових працях, у тому числі: 9 – у спеціалізованих фахових виданнях України, 1 – у науковому періодичному виданні іноземної держави, 1 – у журналі, зареєстрованому в міжнародних каталогах, 6 деклараційних патентів на винаходи та 1 патент на корисну модель, 6 – тези доповідей конференцій.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновку, списку використаних джерел із 177 найменувань. Повний обсяг дисертації становить 181 сторінку, в тому числі 165 основного тексту, ілюстрованого 61 рисунками та 13 таблицями.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтована актуальність досліджень, сформульована мета і завдання досліджень, приведені основні наукові положення та результати, винесені на захист, а також відомості про практичне значення результатів роботи, їх апробацію і публікацію матеріалів дослідження.

У *першому розділі* на основі дослідження літературних джерел і реального ознайомлення проведено аналіз сучасного стану процесу підготовчих робіт до ремонту, зокрема очищення вагонів-цистерн від вантажів, які тверднуть.

Напрямки удосконалення технології очищення котлів вагонів-цистерн знайшли відображення у значній кількості наукових праць, які проводились у ДНУЗТі, УкрДУЗТі, ДЕТУТі, ВНДІЗТі, БелДУТі, МПТі та ін.

Питаннями удосконалення технології очищення в Україні займалися такі видатні вчені, як Борзилов І.Д., Бубнов В.М., Власов А.С., Зайончковський Г.Ф., Куліченко А.Я., Мартинов І.Е. Радченко В.Ю., Тарасенко Т.В. та інші.

Серед російських і білоруських вчених слід відзначити праці Бикова Б.В.,

Бугаєва В. П., Герасимова В. С., Гридюшка В.І., Губенка В.К., Козлова Ю.С., Кузнецова О.К., Лисичкина Е.А., Морчиладзе І.Г., Сенька В.І., Тельнова А.Ф., Пастухова І.Ф. та ін. Основними проблемами розвитку підготовчих робіт до ремонту вантажних вагонів, зокрема очищенням котлів вагонів-цистерн за кордоном займаються науковці М. Kratzsch-Leichsenring, Jepsen Erik Lund, Sie Gunner Monrad, Thoegersen Klaus та ін.

Встановлено, що у залізничних вагоноремонтних депо сконцентровані потужності, здатні сприяти технічному підготовчому обслуговуванню вагонів, а у випадках необхідності – і їх ремонту. У зв'язку із цим технологічні операції підготовки вагонів-цистерн під завантаження є одночасно підготовчою частиною ремонтного процесу. Наводяться також технічні характеристики та специфіка вагонів-цистерн для перевезення вантажів, які тверднуть.

На основі вивчення літературних джерел досліджені особливості фізико-механічних і хімічних властивостей речовин, яким властиве швидке застигання.

Із проведеного аналізу науково-дослідних робіт випливає, що питанню технології очищення поверхонь вагонів-цистерн приділяється недостатня увага, хоча відзначається актуальність даного питання.

У другому розділі наведені математичні моделі принципів руйнування монолітності застиглому шару швидкотверднучих вантажів. Представлена у загальній формі математична модель визначення умов руйнування, яка ґрунтується на припущенні, що гранична величина енергії формозмінення є постійною при всіх комбінаціях напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  та  $\sigma_z$ . Для застосування критерію руйнування необхідно мати шість пружних констант і одне значення границі міцності при простому розтягу, яке дозволяє визначити величину граничної енергії, що затрачується на процес руйнування:

$$\sigma_{\tau}^{\text{руйнув.}} = S_{\tau} \cdot \left[ \frac{1 - \left(1 - \alpha - \beta \frac{E_{\tau}}{E_r}\right)^2 \cdot \left[(1 - \alpha) \frac{E_{\tau}}{E_r} + 2 \cdot (1 + 2\beta)\right]}{9 \cdot \left(1 - \alpha - 2\beta^2 \frac{E_{\tau}}{E_r}\right)} + \frac{\left[2 \cdot \left(1 - \alpha - \beta \frac{E_{\tau}}{E_r}\right) + (1 - 2\beta) \frac{\sigma_{\tau}}{\sigma_r} \frac{E_{\tau}}{E_r}\right]^2 \cdot \left[(1 - \alpha) \frac{E_{\tau}}{E_r} + 2 \cdot (1 + 2\beta)\right]}{9 \cdot \left(1 - \alpha - 2\beta^2 \frac{E_{\tau}}{E_r}\right)} + \frac{+2 \cdot (1 - \alpha) + \left(\frac{\sigma_r}{\sigma_{\tau}}\right)^2 \frac{E_{\tau}}{E_r} - 4 \cdot \beta \frac{\sigma_r}{\sigma_{\tau}} \frac{E_{\tau}}{E_r}}{1} \right], \quad (1)$$

де  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  – напруження, які впливають на зміну елементарного об'єму;  $E$  – модуль поздовжньої пружності (модуль Юнга);  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $E_t$ ,  $E_r$  – пружні параметри матеріалу руйнування.

Прикладання до експериментального зразка двох однакових стискуючих напружень та одного розтягуючого напруження, яке напрямлене перпендикулярно діючим стискуючим напруженням, підтверджує у правильності запропонованої теоретичної викладки.

Моделювання технологічного процесу технічного обслуговування підготовчих робіт проводилось на основі системного підходу. Особливість його

полягає в розробці моделей окремих структур процесу, а також моделей структур у їх взаємозв'язку. Основна суть моделювання процесу обробки полягає у здатності поєднування двох, протилежних за своєю суттю, динамічних процесів – руйнування монолітності застиглої маси речовини та концентрації зруйнованого і роздробленого шламу з одночасним якісним формуванням поверхні металу внутрішньої порожнини котла вагона-цистерни.

1) *Процес руйнування внаслідок динамічного удару.* До факторів, які впливають на динаміку системи «шар застиглого вантажу – інструмент обробки» і на якість руйнування, відносяться: частота вимушеного впливу; розмах вертикальних коливань; відцентрове зусилля; вага неамортизованих частин механізму; відношення відцентрових сил до ваги; стійкість роботи механізму; швидкість переміщення даного механізму; тип і товщина руйнівного шару матеріалу.

У проміжках між ударами переміщення робочої головки описується наступними лінійними диференціальними рівняннями:

$$m\ddot{y} = -H + F_0 \cdot \sin(\omega \cdot t + \beta); m\ddot{x} = -F_0 \cdot \cos(\omega \cdot t + \beta), \quad (2)$$

де  $\beta$  – невідомий фазовий кут;  $H$  – відновлюючі зусилля;  $F_0$  – амплітуда вимушуючих зусиль;  $\omega$  – кутова частота вимушуючих зусиль;  $t$  – час, а точками над символами вказується про диференціювання по  $t$ .

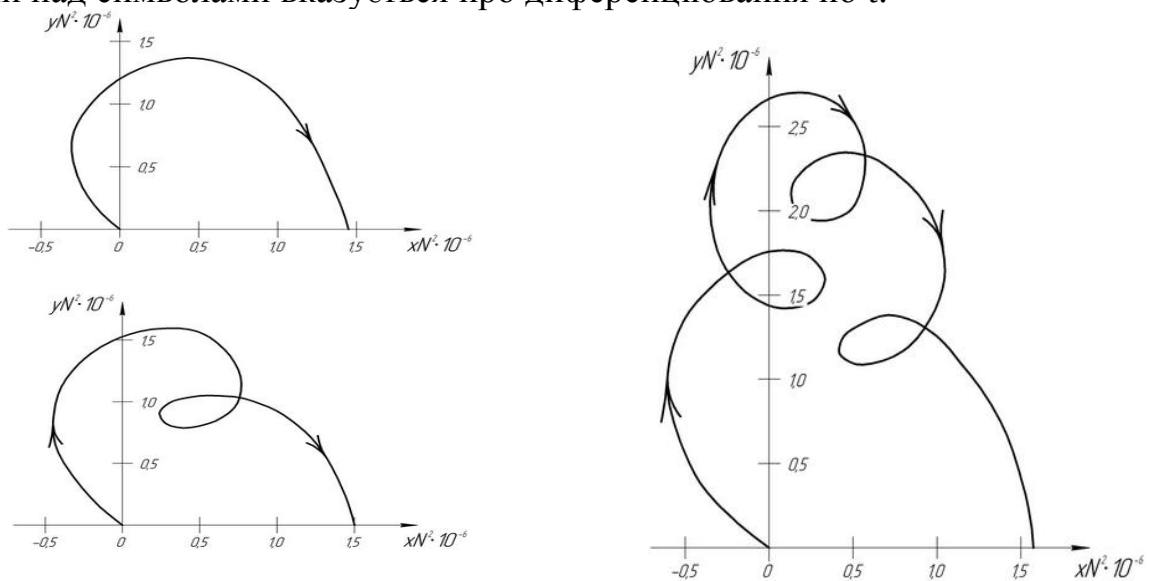


Рис. 1. Траєкторія переміщення елементарного шипа шарошки в інтервалах між ударами

Виведені рівняння, згідно яких визначаємо потужність, що передається інструментом до поверхні застиглого матеріалу та середню швидкість його переміщення:

$$P = \frac{\pi \cdot M}{m \cdot \omega} H^2 \cdot \frac{1-e}{1+e}; \quad (3)$$

$$V_x = \frac{\delta}{2M\pi} = \frac{H}{m \cdot \omega} \cdot \sqrt{F_R^2 - M^2 \pi^2}, \quad (4)$$

де  $H$  – відновлююче зусилля;  $m$  – маса ударного елементу руйнування;  $F_0, \omega$  –

амплітуда та частота переміщення ударного елементу;  $M$  – період коливання;  $F_R$  – безрозмірне зусилля.

2) *Взаємодія очисних елементів інструменту із застиглими залишками речовин.* Контактна взаємодія гнучких робочих елементів очисних секцій за своїми особливостями значно відрізняється від характеру впливу на поверхню обробки робочих елементів шарошок. Особливості полягають в тому, що контактні зусилля гнучких робочих елементів в момент миттєвого удару об поверхню зруйнованого шламу впливають не лише на поверхню, але й на сусідні (вигнуті та ущільнені) дротинки даної секції. Дані обставини приводять до зниження інтенсивності деформування поверхневого шару як застиглої маси, так і металу цистерни.

Розглядаємо рух кожного із співударних тіл (одиничний гнучкий елемент – поверхня обробки) на основі теорем динаміки відносно миттєвих сил, де до дротинки застосована теорема про зміну головного моменту кількості руху, а для поверхні обробки – теорема кінетичної енергії, то встановлюється залежність кінцевої швидкості  $V_K$  від конструктивних і технологічних параметрів торцевої секційної щітки:

$$V_K = \frac{V_{\dot{U}}}{1 + 3 \frac{m_i}{m_n} \cdot \frac{R \cdot l^2}{R^3 - (R-l)^3} \cdot \sin^2(\beta_H - \varphi_H)}, \quad (5)$$

де  $m_i$  та  $m_n$  – маси, відповідно, одиничної дротинки та одиничного об'єму речовини видалення;  $\beta_H$  та  $\varphi_H$  – відповідно робочий кути повороту щітки та контакту гнучкого елемента з поверхнею обробки.

Кінетична енергія  $W_K$  ударяючого тіла перетворюється в потенціальну енергію  $W_{II}$  його деформації ( $W_K = W_{II}$ ). Для консольно закріпленого одиничного гнучкого елемента:

$$W_I = \frac{P^2 \cdot l_{\zeta\bar{a}}^3}{G \cdot E \cdot J_{\bar{a}\bar{a}\bar{a}}}; \quad (6)$$

$$W_K = \frac{J_0 \cdot \omega_{\dot{U}}^2}{2}; \quad (7)$$

де  $l_{\zeta\bar{a}}$  – довжина дротинки, яка вигинається при контакті;  $J_{екв}$  – момент інерції поперечного перерізу одиничного гнучкого робочого елемента;  $P$  – максимальне зусилля, яке діє на кінці дротинки;  $J_0$  – динамічний момент інерції одиничного гнучкого робочого елемента.

Зусилля удару передніми (атакуючими) дротинками секції буде:

$$P = k^2 \frac{\omega_{\dot{U}}}{l_{\zeta\bar{a}}^2} \cdot \sqrt{m_n \cdot [R^3 - (R-l_{\zeta\bar{a}})^3]} \cdot E \cdot J. \quad (8)$$

На рис. 2 у вигляді графіків наведені залежності контактного зусилля від технологічних режимів обробки. Зусилля  $P$  зростає із підвищенням швидкості обертання торцевої щітки, розмірів поперечного перерізу одиничного гнучкого робочого елемента та зменшення величини його вільного вильоту.

Характеристика ударного деформування евольвентними секціями інструменту, яке крім остаточного руйнування роздроблених залишків

застиглих речовин одночасно здійснює якісне формування поверхні металу котла цистерни, визначається не лише величиною контактної зусилля, фізико-механічними властивостями контактуючих тіл, але й розмірами та формою робочої поверхні гнучких робочих елементів.

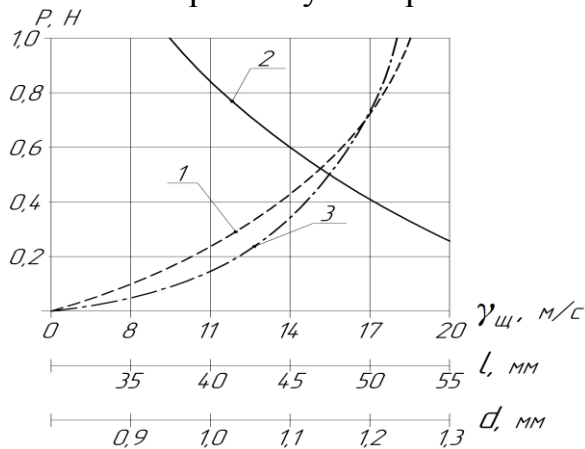


Рис.2. Вплив швидкості удару (1), довжини вільного вильоту дротинки (2) та її діаметру (3) на зусилля контактування

У третьому розділі наведені моделі основних принципів руйнування кристалізованих залишків швидкотверднучих речовин, які ґрунтуються на основі комплексного механічного впливу, що об'єднує динамічні удари каскаду шарошок і секційно набрані та евольвентно розташовані комплекси із гнучкими робочими елементами.

Конструкція руйнівного-очисного інструменту (рис.3), режими процесу обробки та ефективність їх застосовування безпосередньо впливають на досягнення у вирішенні головної задачі – руйнування монолітності застиглих залишків транспортованих речовин та їх видалення із порожнин котлів залізничних цистерн із одночасним якісним формуванням поверхневого шару металу донної їх частини. Суттєвим фактором розробленого технологічного процесу є тривалість і надійність ефективності експлуатації запропонованого інструменту.

У даному розділі констатовано, що: результати руйнування та видалення із порожнин котлів залізничних цистерн залежать безпосередньо від ефективності комбінованого впливу на поверхню обробки робочих елементів інструменту як окремо, так і в комплексі, тобто, як від впливу робочих елементів шарошки, так і від ефективності роботи елементів очищування; надана перевага в якості параметру, який характеризує механічні та експлуатаційні характеристики робочих елементів інструменту для руйнівних шарошок – міцність шипів, а для гнучких робочих елементів евольвентних очисних секцій – їх жорсткість; розширення меж використання результатів вимірювання силових характеристик комплексного впливу робочих елементів інструменту можливе лише за рахунок приведення до одиниці елементарної площі кожного із видів контактуючих із поверхнею обробки елементів до величини зусилля та потужності процесу; проведення експериментальних досліджень із застосовуванням теорії математичного планування експериментів дозволяє при мінімальних затратах виробничих потужностей та часу вивчити якісні та ефективні особливості даного процесу підготовчих робіт вантажних засобів залізничного транспорту.

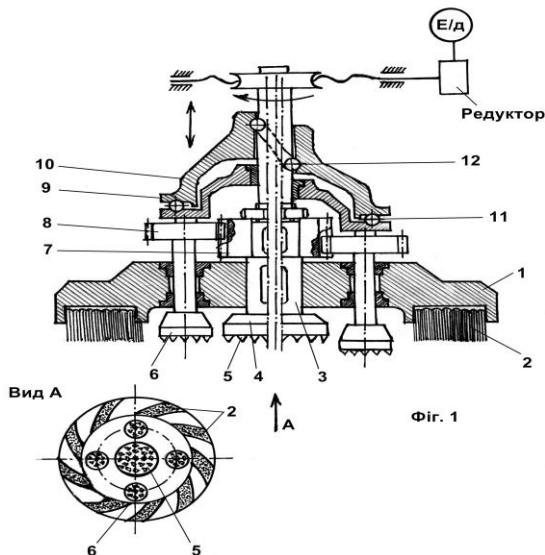


Рис. 3. Руйнівно-очисний інструмент для видалення із цистерн застиглих залишків речовин

У четвертому розділі розроблена методика оптимальних та ефективних технологічних режимів очищення внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн від застиглих залишків речовин, які тверднуть.

Домінуючою особливістю та важливістю впровадження у виробництво будь-якого технологічного процесу є його економічна ефективність. В першу чергу це стосується експлуатаційних енерговитрат, фінансових витрат на технологічне обладнання та інструмент, термін їх ефективної експлуатації тощо. Всі наведені економічні фактори технологічного процесу заздалегідь розраховуються ще на етапі початкового проектування і за їх результатами вносяться певні корективи в загальний проект майбутнього виробництва або окремого технологічного процесу.

Попередня апробація даного розробленого техпроцесу вказала на те, що найбільше зусилля контактної взаємодії виникає при обробці застиглої маси торцевою щіткою. У даному випадку в контакт із поверхнею обробки одночасно вступають всі робочі торці дртинок секцій інструменту, отже прикладання максимальної потужності даного процесу обробки може розглядатись, як процес поверхневого шліфування.

Для всіх технологічних способів шліфувальної обробки головним переміщенням різання  $V_K$  (м/с) є обертання інструменту. При обробці поверхні по всій ширині слід також враховувати ширину  $b$  (мм) зони контактування та глибину різання  $t$  (мм). Ефективна потужність при шліфуванні розраховується згідно наступної емпіричної залежності

$$N = C_N \cdot V^r \cdot t^x \cdot b^z, \quad (9)$$

де  $C_N$  – коефіцієнт шліфування;  $r, y, z$  – показники степені.

Згідно інформації літературних джерел, коефіцієнт шліфування та показники степені будуть рівними:  $C_N = 0,39$ ;  $r = 0,5$ ;  $x = 0,5$ ;  $z = 0,6$ . Підставивши у залежність (9) максимальні значення режимів обробки, отримуємо величину максимальної потужності технологічного процесу поверхневої обробки матеріалу:

$$N_{\max} = C_N \cdot V_{\max}^r \cdot t_{\max}^x \cdot b_{\max}^z = 0,17 \cdot 7,55^{0,7} \cdot 3^{0,5} \cdot 30^{0,6} = 9,32 \text{ кВт}. \quad (10)$$

Згідно встановленої необхідної потужності приймаємо асинхронний

електродвигун типу МТКФ 211-6 потужністю  $N_i = 10,5 \text{ кВт}$  і частотою обертання ротора  $n_i = 915 \text{ хв}^{-1}$ .

Каретка із закріпленням механізмом інструменту обробки, переміщується за допомогою мотор-редуктора типу МЦЧ-63 із потужністю на швидкохідному валу  $N_p = 1,5 \text{ кВт}$ , номінальною частотою обертання вихідного валу  $n_{ex.p} = 88 \text{ хв}^{-1}$  та номінальним передавальним числом  $i = 16$ .

Для забезпечення нормальних для роботи санітарно-гігієнічних умов і збереження відповідно санітарним нормам екологічних умов оточуючого середовища, зона роботи у вагоні-цистерні руйнівного-очисного інструменту огорожена брезентовим кожухом, із внутрішньої порожнини якого шляхом вентиляції здійснюється процес видалення роздроблених часточок застиглих речовин та пилу. У даному технологічному процесі передбачене застосування автономної компресорно-вентиляційної установки для місцевої витяжної вентиляції, при якій швидкість витягу повітря в компресорно-вентиляційній установці для даного виду обробки визначається згідно залежності

$$V_x = \frac{V_0}{16 \cdot \left(\frac{x}{d}\right)^2} = \frac{8,5}{16 \cdot \left(\frac{0,2}{0,5}\right)^2} = 3,32 \text{ м/с}, \quad (11)$$

де  $V_0$  – швидкість повітря в зоні обробки, ( $V_0 = 8,5 \text{ м/с}$ );  $x$  – радіус зони обробки, м;  $d$  – діаметр отвору витяжного вентилятора, м.

Згідно результатів отриманих розрахунків за рекомендаціями довідникової літератури приймаємо вентилятор осьовий моделі В 06-300 із потужністю електродвигуна  $N_B = 0,12 \text{ кВт}$  та продуктивністю  $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ . Загальна потужність процесу руйнування залишків застиглих речовин становитиме:

$$N_{заг} = N_i + N_p + N_B = 10,5 + 1,5 + 0,12 = 12,12 \text{ кВт}. \quad (12)$$

Введення у даній роботі співвідношення взаємодії пошкоджень відноситься головним чином до таких елементів конструкції інструменту, які внаслідок впливу широкосмугових гауссівських випадкових навантажень здійснюють коливання із своїми резонансними або наводорезонансними частотами. При таких коливаннях напруження в робочих елементах являє собою вузькосмуговий гауссівський випадковий процес із наближеними до нуля середніми значеннями та із середньоквадратичним значенням  $\sigma$ . Густина ймовірності згинаючої кривої циклів (амплітуд) такого напруження наближено підпорядковується розподіленню Релея. Такі закони зміни напружень по часові характеризуються порівняно незначною кількістю циклів напруження високої амплітуди у порівнянні із циклами невеликих амплітуд. Цикл високої амплітуди приводить до перевантаження, тобто до підвищення деформації. Величина максимального піку  $S_m$  вузькосмугових гауссівських випадкових напружень залежить від ширини спектру напруження та від тривалості навантаження. Пошкодження  $D_s$  від піку напружень  $S$  визначається:

$$D_s = \frac{n_s}{N_s} \cdot \left(\frac{S}{S_m}\right)^d, \quad (13)$$

де  $n_s$  – кількість циклів напруження з амплітудою  $S$ ;  $N_s$  – кількість циклів до

руйнування при амплітуді напружень  $S$ ;  $d$  – показник роботи пластичного деформування.

Ефект накопичення пошкоджень описується інтегруванням нелінійної функції (13) по всім рівням амплітуд напруження до  $S_m$ . Умова руйнування виражатиметься:

$$\int_0^{S_m} D_S dS = 1. \quad (14)$$

Довговічність стомленістю, тобто очікувана кількість циклів до руйнування  $N_M$ , можна встановити на основі запропонованого модифікованого правила лінійного додавання шляхом підстановки в (13) та (14) параметрів вузькосмугових гауссівських випадкових напружень. Внаслідок цього отримується степенева залежність довговічності від  $\sigma$ .

На рис. 4 наведений масштабований графік густини ймовірності пошкоджень робочих елементів інструменту обробки згуслих залишків речовин згідно правила лінійного та нелінійного додавання.

Слід зауважити, що найбільше пошкоджень виникають циклами напружень з амплітудою від  $2\sigma$  до  $5\sigma$ . Цикли з амплітудою вище  $5\sigma$  можуть викликати дуже значні пошкодження; однак такі цикли, якщо і виникають, то дуже рідко. Цикли з амплітудою менше  $2\sigma$  виникають доволі часто, однак будь-яких значних пошкоджень не спричиняють. Максимум пошкоджень у наведеному прикладі припадає на цикли з амплітудою  $3,23\sigma$ .

У п'ятому розділі згідно математичних моделей процесу руйнування застиглих залишків транспортованого матеріалу, наведених у розділі 2, досліджується якісне формування металу внутрішньої поверхні порожнини котла вагона-цистерни. Під поняттям якісного формування поверхневого шару металу слід розуміти такі наслідки впливу технологічних процесів механічної обробки із руйнуванням та видаленням застиглих залишків вантажів, що пов'язані із контактуванням робочих елементів інструменту безпосередньо як із залишками вантажу, так і з металом внутрішньої поверхні котла цистерни. Комплекс технологічних задач із якісного формування поверхні металу об'єднує в собі такі чинники процесу, як формування шорсткості поверхні, зміцнення поверхневого шару металу, виникнення внаслідок механічної обробки внутрішніх залишкових напружень та зміни внаслідок неї структури металу.

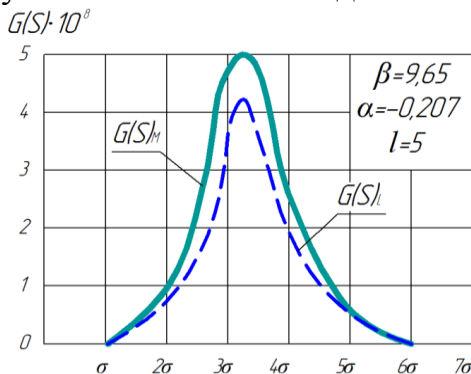


Рис. 4 Масштабована густина ймовірності пошкоджень згідно правила лінійного та нелінійного додавання

Аналіз результатів досліджень з формування висоти профілю шорсткості при обробці різними за характеристиками робочими елементами інструменту

дозволяє зробити висновок, що на формування шорсткості поверхні впливають наступні фактори: глибина проникнення робочої поверхні робочої частини інструментів (шипів шарошок і гнучких елементів щітки); кінематика їх робочих переміщень; коливне переміщення інструменту відносно поверхні обробки; пружні та пластичні деформації матеріалу в зоні безпосереднього контактування із робочими елементами інструменту.

У залежності від умов обробки порожнини котла цистерни степінь впливу кожного із цих факторів на формування шорсткості буде різною. Наведені фактори викликають утворення систематичної складової профілю шорсткості, яку можна описати математично:

$$R_z = h_1(h'_1) \mp (h_2 + h_3 + h_4), \quad (15)$$

де  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  та  $h_4$  – складові профілю шорсткості поверхні, які обумовлені, відповідно: глибиною проникнення робочої поверхні робочої частини шипів шарошок, кінематики їх робочих переміщень, коливне переміщення інструменту відносно поверхні обробки, пружні та пластичні деформації матеріалу в зоні безпосереднього контактування із робочими елементами інструменту;  $h'_1$  – глибина проникнення поверхні робочої частини гнучких елементів інструменту обробки.

При ударно-обертовому переміщенні шарошок, руйнування  $h_1$  спочатку застиглих залишків речовин, а далі – формування профілю шорсткості внутрішньої поверхні котла цистерни, відбуваються під впливом певного ударного навантаження, а також у перервах між ударами за рахунок обертового моменту, хоча потужність механізму обертання є значно меншою ударного. Після певних математичних перетворень, глибина проникнення шипа шарошки в матеріал обробки становитиме:

$$h_1 = \frac{P_Y}{2 \cdot d \cdot \sigma_{CT} \cdot \left( \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \mu_1 \right) \cdot K_{\zeta\delta}}, \quad (16)$$

де  $P_Y$  – зусилля удару;  $\sigma_{\zeta\delta}$  – границя міцності матеріалу обробки при одновісному стиску;  $d$  – діаметр шарошки;  $h_1$  – глибина проникнення шипа шарошки в матеріал обробки;  $\mu_1$  – коефіцієнт тертя контактуючих матеріалів;  $K_{3T}$  – коефіцієнт затуплення робочих елементів шарошки.

Глибина проникнення  $h'_1$  робочої поверхні робочої частини інструменту, що складається зі гнучких елементів щітки розраховується згідно залежності

$$h'_1 = 2 \cdot (1 - \cos \varphi_a) + S \cdot \sin \varphi_a \cdot \cos \varphi_a - \sin \varphi_a \cdot \sqrt{S \cdot \sin \varphi_a \cdot (2r - S \cdot \sin \varphi_a)}, \quad (17)$$

де  $r$  – радіус формуючої поверхні одиничного гнучкого елементу;  $\varphi_a$  – задній кут втискування дротинки у поверхню обробки.

Найбільш суттєвим впливом на формування профілю шорсткості поверхні металу, що залежать від кінематики переміщень робочих елементів,  $h_2$  є контактування із даною поверхнею шипів шарошок, оскільки крім динамічного удару вони у процесі обробки здійснюють ще й складне обертово-поступальне переміщення. Координати обертово-поступального переміщення крайньої

точки на ободі шарошки виглядатимуть у вигляді системи наступних рівнянь:

$$h_2 = \begin{cases} \varphi = \text{Arctg} \left[ \frac{(R_2 + R_1 \cdot \cos \alpha_1) \cdot \sin \left( \alpha_2 + \text{Arctg} \frac{R_1 \cdot \sin \alpha_1}{R_2 + R_1 \cdot \cos \alpha_1} \right)}{(R_2 + R_1 \cdot \cos \alpha_1) \cdot \cos \left( \alpha_2 + \text{Arctg} \frac{R_1 \cdot \sin \alpha_1}{R_2 + R_1 \cdot \cos \alpha_1} \right) + V} \right]; \\ r = \frac{(R_2 + R_1 \cdot \cos \alpha_1) \cdot \sin \left( \alpha_2 + \text{Arctg} \frac{R_1 \cdot \sin \alpha_1}{R_2 + R_1 \cdot \cos \alpha_1} \right)}{(R_2 + R_1 \cdot \cos \alpha_1) \cdot \cos \left( \alpha_2 + \text{Arctg} \frac{R_1 \cdot \sin \alpha_1}{R_2 + R_1 \cdot \cos \alpha_1} \right) + V} \end{cases}, \quad (18)$$

Вплив коливного переміщення інструменту відносно поверхні обробки на формування складової висоти її мікропрофілю  $h_3$  визначається амплітудою коливання від частоти  $\lambda$  збуджуючого зусилля, викликаного різницею припуску при проходженні вершини шипа шарошки або впадини вихідної шорсткості та нерівномірністю твердості поверхні обробки.

При обробці поверхні металу із застосуванням шарошок їх коливні переміщення відносно поверхні викликають утворення хвилястості. Однак на складову профіль шорсткості впливають пружні коливання контактних переміщень одиничного шипа шарошки, викликані зусиллям удару  $P_Y$ . Величина утвореної складової мікропрофілю розраховується згідно наступної залежності:

$$h_3 = \frac{P_Y \cdot [E_2 \cdot (1 - \mu_1^2) + E_1 \cdot (1 - \mu_2^2)]}{\pi \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{\lambda^2}{\omega^2}\right) + T_h^2 \cdot \lambda^2}}, \quad (19)$$

де  $E_1$  і  $E_2$  – модуль пружності матеріалу шарошки та поверхні обробки;  $\mu_1$  і  $\mu_2$  – коефіцієнт Пуассона відповідно матеріалу шарошки та поверхні обробки;  $T_h$  – стала часу демпфування;  $\lambda$  – амплітуда коливань від частоти збуджуючого зусилля;  $\omega$  – частота власних коливань.

Вплив пружних та пластичних деформацій матеріалу в зоні безпосереднього контактування із робочими елементами інструменту на величину утвореної складової мікропрофілю  $h_4$  характеризується частковим пластичним деформуванням поверхневого шару основного металу котла цистерни та відносних зсувів даного пластично деформованого шару. Розрахунок складової  $h_4$  проводиться згідно залежності

$$h_4 = R_Z - (h_{\text{пл}} - h_{\text{пр}}), \quad (20)$$

де  $R_Z$  – висота мікрориступів на вихідній поверхні металу до обробки;  $h_{\text{пл}}$  – глибина пластичного проникнення в поверхневий шар матеріалу гнучких робочих елементів інструменту, як основних формуючих мікропрофіль поверхні;  $h_{\text{пр}}$  – величина пружного відновлення поверхні обробки.

Технологічний процес руйнування та видалення застиглих залишків речовин і остаточного якісного формування поверхні металу внутрішньої порожнини вагона-цистерни методом поєднування динамічних ударів робочих

елементів шарошок і одночасним контактуванням гнучких робочих елементів комбінованого інструменту супроводжується виникненням температурних полів у поверхневих шарах металу. Такий термомеханічний вплив на поверхню металу викликає виникнення внутрішніх залишкових напружень.

В теорії концентрації напружень розтягнення півплощини з розташованими на ній виїмками, виступами або іншими змінами суцільності місцевого рельєфу розглядається як гранична задача для плоских стержнів і валів при збільшенні відношення поперечного розміру деталі до розмірів концентратора. Для рішення поставленої задачі пропонується застосовувати спеціально складені інтегральні рівняння Фредгольма другого роду, у яких невідомими є безпосередньо напруження, що накопичуються біля поверхні матеріалу. Такий підхід до вирішення задачі дозволяє позбутися втрат точності при числовому диференціюванні.

Наступна система інтегральних рівнянь вказує на визначення показників внутрішніх залишкових напружень:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_k - \frac{2}{\pi} \oint \frac{\cos \gamma \cdot \sin \gamma}{\rho} (\sigma \cdot \sin \alpha - \bar{\sigma} \cdot \cos \alpha) ds &= 2 p_{xk} - \frac{2}{\pi} \oint \left( p_x \frac{\cos \gamma}{\rho} - p_y \frac{\sin \gamma}{\rho} \right) ds; \\ \bar{\sigma}_k + \frac{2}{\pi} \oint \frac{\cos^2 \gamma}{\rho} (\sigma \cdot \sin \alpha - \bar{\sigma} \cdot \cos \alpha) ds &= 2 p_{yk} - \frac{2}{\pi} \oint \left( p_x \frac{\sin \gamma}{\rho} + p_y \frac{\cos \gamma}{\rho} \right) ds, \end{aligned} \right\}, \quad (21)$$

де  $\gamma$  і  $\rho$  – полярний кут та радіус;  $\alpha$  – кут між нормаллю до контуру і радіусом-вектором;  $k$  – індекс, яким відмічені значення функції у точці  $K$ , від якої відраховуються розміри  $\gamma$  і  $\rho$ ;  $\sigma$  – сума нормальних напружень (інваріант тензора напружень);  $\bar{\sigma}$  – спряжена із сумою  $\sigma$  гармонійна функція.

Теоретична методика визначення величин залишкових напружень підтверджена результатами експериментів, проведених за розробленою моделлю впливу технологічних параметрів процесу, наведеної у вигляді адекватних степеневих виразів, розроблених для кожного з способів обробки.

Дослідження впливу технологічних параметрів процесу обробки на показники внутрішніх залишкових напружень матеріалу внутрішньої поверхні котла цистерни проводилось для різних марок сталей даного виду вантажних засобів залізничного транспорту, згідно основи теорії планування багатofакторних експериментів.

В режимі оброблення, коли одночасно на поверхню металу цистерни впливають всі робочі секції інструменту, величина їх впливу супроводжується зменшенням товщини шару залягання та значенням стискуючих внутрішніх напружень. Так, наприклад, у зразку із сталі 09Г2Д із границею текучості матеріалу  $\sigma_T = 245$  МПа, максимальна величина напружень ( $\sigma_x = 210$  МПа) не досягає межі текучості металу (рис. 5), а це означає, що при нагріванні металу у процесі обробки в ньому відбуваються лише пружні деформації і після повного охолодження зразка залишкові напруження в поверхневих шарах відсутні. З поступовим підвищенням швидкості обертання інструменту зростають відповідно і зусилля динамічного впливу, що супроводжується підвищенням температури поверхневого шару металу.

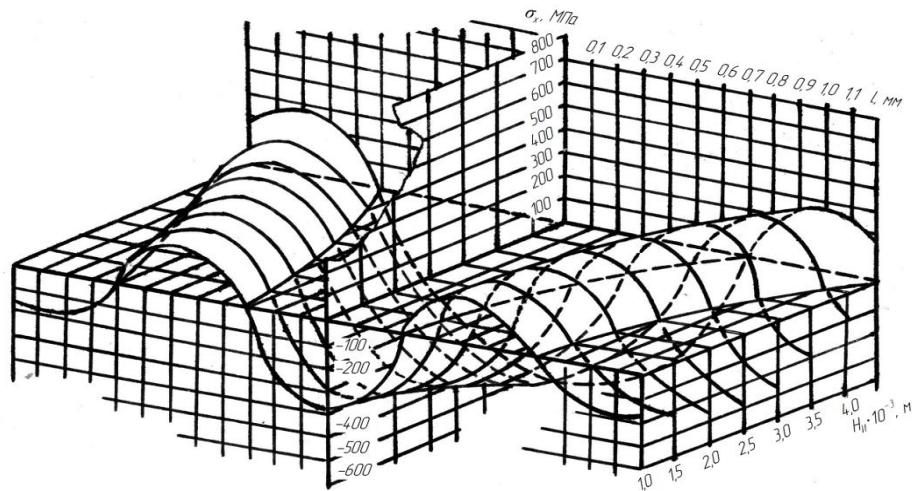


Рис. 5. Залежність внутрішніх напружень від вільного вильоту ГРЕ

За умови незмінності решти факторів технологічних режимів процесу оброблення, внутрішнє напруження розтягу (рис. 6) досягає свого максимального значення –  $\sigma_x = 960$  МПа, а напруження стиску становитиме  $\sigma_x = 610$  МПа, переходячи у залишкове (на глибині  $l = 1,2$  мм –  $\sigma_x = 440$  МПа).

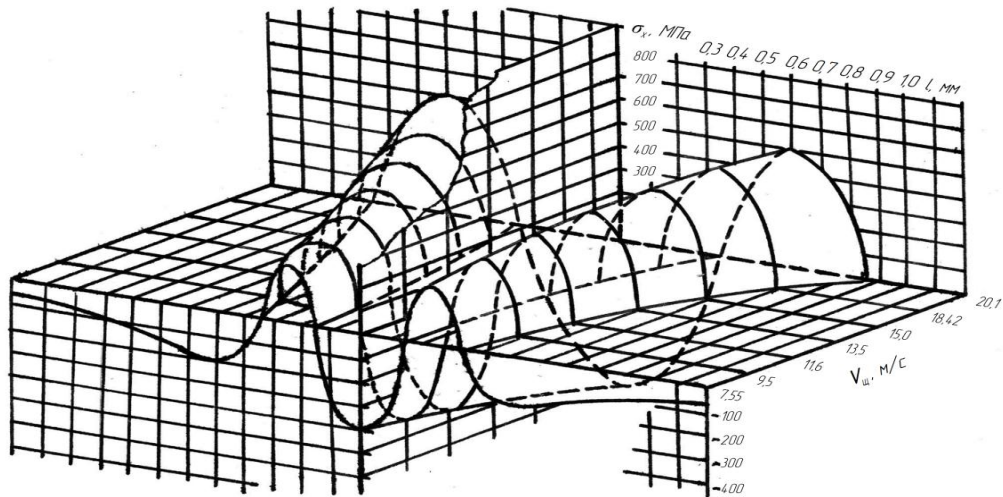


Рис. 6. Залежність внутрішніх напружень від швидкості обертання інструменту

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній дисертаційній роботі на основі виконаних досліджень розв'язано важливу науково-технічну задачу удосконалення технології очищення внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн при підготовці їх до ремонту. Отримані результати в сукупності мають суттєве значення для вагонного господарства залізничного транспорту України. Основні наукові результати, висновки та практичні рекомендації полягають в наступному:

1. На основі проведеного аналізу вітчизняних і зарубіжних технологічних процесів проведення підготовчих робіт виявилось, що в основному очищення внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн ґрунтується на роботах, які проводяться на промивально-пропарювальних станціях вагоноремонтних депо із застосуванням ручної праці та теплового впливу води і пару, що суттєво обмежує можливості широкого, швидкого, якісного, а головне – ефективного проведення даних видів робіт. Крім того виявлено, що у більшості випадках при проведенні ремонтних

робіт на етапах технічної підготовки вантажних вагонів задіяна значна кількість робітників і практично відсутні засоби механізації.

2. Детально досліджені характер та особливості кристалізованої застиглої маси, що залишається у порожнинах котлів цистерн після їх розвантаження, складності руйнування їх монолітності та порушення зчеплення із металом внутрішньої поверхні даного виду транспорту. Для чого була розроблена математична модель руйнівного та якісного очищення внутрішньої поверхні котла вагона-цистерни, яка ґрунтується на методах визначення умов руйнування, коли гранична величина енергії формозмінення є постійною при всіх комбінаціях напружень  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  та  $\sigma_z$ , для того необхідно мати шість пружних констант і одне значення границі міцності при простому розтягу, яке дозволяє визначити величину граничної енергії. Досліджена динамічна модель, яка враховує суттєво нелінійний характер процесу контактної взаємодії робочих елементів інструменту із поверхнею застиглих залишків речовин. Дослідження представлені двома методами, якими показано, що при певних значеннях параметрів системи можна отримати її переміщення із періодом, який є кратним періоду вимушеного чого зусилля удару. Теоретично досліджена стійкість «простих» несинхронних усталених рішень та визначаються границі усталеності у просторі параметрів.

3. Розроблена технологія та комплекс механізмів та інструментів, що сприяє ефективному руйнуванню монолітності шару залишків застиглої речовини. Конструкція руйнівного-очисного механізму, який обертається, являє собою суміщений комплекс, що складається із шарошок і торцевих інструментів із набором гнучких робочих елементів. Принцип установки та закріплення на консольній штанзі механізму ґрунтується по схемі, як модель механізму з гнучких тіл, які обертаються.

4. Розроблені загальні технічні вимоги ефективних технологічних режимів механічного руйнування та видалення із внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн залишків застиглих транспортіваних речовин, на основі чого було розроблена стадія підготовки технологічних процесів ремонтного виробництва вантажних залізничних вагонів.

5. Удосконалено методику прогнозування впливу технологічних параметрів процесів очищувальної обробки внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн на формування внутрішніх залишкових напружень даної поверхні. Теоретично досліджено і експериментально підтверджено, що величину і характер утворених внутрішніх залишкових напружень слід розглядати як комплекс напружень викликаних температурним впливом, що виникає внаслідок як комплексного процесу обробки (робочі елементи шарошок – набір секцій гнучких робочих елементів), процесом охолодження даного матеріалу та динамічним деформуванням його поверхневих шарів. Різні способи взаємного контактування секцій інструменту з поверхнею виробу показали, що від динамічного впливу ударів та нагрівання тертям у поверхневих шарах металу виникають значні внутрішні напруження розтягу. Так, наприклад, в Сталі 09Г2Д з границею текучості  $\sigma_T=245$  МПа, виникли тимчасові напруження

розтягу величиною в  $\sigma_x=960$  МПа з глибиною поширення до  $0,8 \cdot 10^{-3}$  м, а в Сталі 09Г2С ( $\sigma_T=353$  МПа) –  $\sigma_x=670$  МПа на глибині до  $0,6 \cdot 10^{-3}$  м. В свою чергу, процес обробки поверхні лише механічною взаємодією супроводжується утворенням залишкових напружень стиску (для Сталі 09Г2Д - до  $\sigma_x=185$  МПа на глибині в  $0,15 \cdot 10^{-3}$  м; для Сталі 09Г2С –  $\sigma_x=320$  МПа на товщині шару в  $0,28 \cdot 10^{-3}$  м; для Сталі 10Г2С18 – до  $\sigma_x=275$  МПа на глибині в  $0,2 \cdot 10^{-3}$  м).

6. Аналіз отриманих результатів показав, що показники шорсткості металу марки 09Г2Д внутрішньої поверхні цистерни зростають із збільшенням величини зусилля удару комплексу шарошок. Це можна пояснити тим, що із зростанням даного зусилля збільшується глибина проникнення робочих шипів шарошок у поверхневий шар металу і наступний, згідно технологічного процесу, етап якісного формування мікропрофілю поверхні торцевим інструментом із евольвентно набраними гнучкими робочими елементами вже нездатний завалювати утворені впадини.

7. При аналізі роботи існуючого та запропонованого методу очистки цистерн можна констатувати про економічну доцільність та ефективність запропонованого механізму. Ефективність від запровадження нового методу очистки доводить про значну економію матеріальних засобів, чистий дохід за рік склав 401841,6 грн.

8. Розроблені практичні рекомендації із забезпеченням ефективності технології очищення внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн перед постановкою їх в ремонт.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані у наступних наукових працях:

### **Список основных публикаций**

1. Мілянйч А. Р. Параметри гідроабразивної обробки великогабаритних циліндричних резервуарів / Джус В.С., Куліченко А.Я., Лаушник І.П., Мілянйч А. Р. // Науковий вісник НЛТУ, Вип.13.1, – Львів, 2003. С. 121-126.

2. Мілянйч А. Р. Механізми та інструменти для очищення залізничних цистерн / Мілянйч А. Р. // Залізн. транспорт України. – 2004. - № 6. - С. 61-62

3. Мілянйч А. Р. Зміцнення поверхні деталей транспортних засобів інструментом з гнучкими робочими елементами / Куліченко А.Я., Мілянйч А. Р. // Залізничний транспорт України : науково-практичний журнал. – 2008. - № 3. - С. 29-31

4. Мілянйч А. Р. Теорія руйнування ортотропних матеріалів у вигляді залишків застиглого пеку в котлах залізничних цистерн / Куліченко А.Я., Мілянйч А. Р. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Д., 2012. - Вип. 41. - С. 64-70

5. Мілянйч А. Р. Визначення максимальної жорсткості при пружному контактуванні між елементами голкофрези і поверхнею застиглого пеку / Мілянйч А. Р. // Науковий вісник НЛТУ, Вип.24.4, – Львів, 2014. С. 358-365

6. Милянйч А. Р. Определение оптимального заполнения железно-

дорожних цистерн по критерию напряжения в логистических цепях перевозок / Милянйч А. Р. // «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт» Научно-практ.журнал, №1(28) 2014, Республика Беларусь, г.Гомель. С.96-97

7. Мілянйч А. Р. Пошкодження робочих елементів інструменту, пов'язані з пластичним деформуванням затверділих органічних речовин / Мілянйч А. Р. // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Д., 2014. - Вип. 53. - С. 48-55

8. Мілянйч А. Р. Метод та інструмент руйнування залишків застиглого пеку в залізничних цистернах / Мілянйч А. Р. // Залізничний транспорт України: науково-практичний журнал. – 2015. - № 1. - С. 50-52

9. Патент UA№96846U. Пристрій для видалення з поверхні затверділих нашарувань / Мілянйч А. Р. // опублік. 25.02.2015, Бюл. ДП УПВ № 4/2015.

### **Список додаткових праць**

10. Мілянйч А. Р. Поширення теплових потоків у матеріалі котлів залізничних цистерн/ Джус В.С., Куліченко А.Я., Мілянйч А. Р. // Наукові нотатки. – Луцьк, 2004, № 15. – С. 75-84

11. Мілянйч А. Р. Розрахунок гранично допустимих відхилень параметрів деталей в засобах залізничного транспорту / Куліченко А.Я., Мілянйч А. Р. // Залізничний транспорт України : науково-практичний журнал. – 2009. - № 2. - С. 51-53

12. Мілянйч А. Р. Оптимальне призначення допусків на механічну обробку деталей вагонів у процесі ремонтно-відновлювальних робіт / Куліченко А.Я., Лаушник І.П., Мілянйч А. Р. // Залізничний транспорт України : науково-практичний журнал. – 2010. - № 1. - С. 21-23

13. Патент №44175А. Щітка для очищення металу / Куліченко А.Я., Лаушник І.П., Мілянйч А. Р. // опублік. 15.01.2002, Бюл. ДП УПВ № 1/2002.

14. Патент №45834А. Пристрій для очистки внутрішньої поверхні ємності (залізничної цистерни) / Куліченко А.Я., Мілянйч А. Р. // опублік. 15.04.2002, Бюл. ДП УПВ № 4/2002.

15. Патент №54896А. Механізм для очистки внутрішньої поверхні цистерни / Куліченко А.Я., Лаушник І.П., Мілянйч А. Р. // опублік. 17.03.2003, Бюл. ДП УПВ № 3/2003.

16. Патент №59706А. Пристрій для очистки внутрішньої поверхні цистерни / Куліченко А.Я., Мілянйч А. Р. // опублік. 15.09.2003, Бюл. ДП УПВ № 9/2003.

17. Патент №59746А. Установка для очистки зовнішньої поверхні залізничних цистерн / Куліченко А.Я., Лаушник І.П., Мілянйч А. Р. // опублік. 15.09.2003, Бюл. ДП УПВ № 9/2003.

18. Патент №67531А. Механізм для очистки внутрішньої поверхні котла цистерни / Джус В.С., Куліченко А.Я., Мілянйч А. Р. // опублік. 15.06.2004, Бюл. ДП УПВ № 6/2004.

### **Список праць апробаційного характеру:**

19. Мілянйч А. Р. Метод визначення слідів інструменту у процесі викінчувальної обробки поверхні металу [Праці 65-й Международной научно-

практической конференции «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта»]. – Д.: Вид. ДНУЖТ, 2005. – С. 64.

20. Мілянйч А. Р. Перспектива прогресивного методу поверхневої очистки цистерн згідно економічно-порівняльних характеристик з існуючими технологіями / А. Я. Куліченко, А. Р. Мілянйч // [Праці V Міжнародної наукової конференції «Проблеми економіки транспорту»]. – Д.: Вид. ДНУЗТ, 2006. – С. 52.

21. Мілянйч А. Р. Прогнозування якості поверхні деталей вагонів виготовлених методом пластичного деформування [Праці 73 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»]. – Д.: Вид. ДНУЖТ, Науч.- произв. предприятие "Укртранскад", 2013. – С. 49-50.

22. Мілянйч А. Р. Динамічна модель гнучкого механізму для видалення застиглого пеку із котлів залізничних цистерн [Праці 74 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»]. – Д.: Вид. ДНУЗТ, 2014. – С. 55-56.

23. Мілянйч А. Р. Механічна очистка котлів цистерн від залишків органічних речовин [Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті»]. – м. Харків, 2014. – С.69-70.

24. Мілянйч А. Р. Руйнування та видалення із вагонів-цистерн залишків вантажів, які тверднуть [Праці 75 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»]. – Д.: Вид. ДНУЗТ, 2015. – С. 55.

### АНОТАЦІЯ

Мілянйч А.Р. Удосконалення технології очищення котлів вагонів-цистерн при підготовці їх до ремонту. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпропетровськ, 2015.

Дисертація присвячена питанню підвищення ефективності підготовчих робіт до ремонту вагонів-цистерн шляхом вдосконалення технології очищення внутрішніх поверхонь порожнин котлів.

Проведений детальний огляд вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури з теми дисертації, у результаті чого встановлено, що при очищенні внутрішніх поверхонь котлів вагонів-цистерн від вантажів, які тверднуть, практично відсутні будь-які засоби механізації для реалізації даного технологічного процесу.

Розроблені математичні моделі основних принципів руйнування кристалізованих залишків швидкотверднучих речовин, які ґрунтуються на основі комплексного механічного впливу, який об'єднує динамічні удари комплексу руйнівних шарошок і секційно набраних та евольвентно закріплених наборів гнучких робочих елементів.

Встановлено, що найбільше зусилля контактної взаємодії виникає при обробці застиглої маси торцевою щіткою. При цьому в контакт із поверхнею

обробки одночасно вступають всі робочі торці дротинок секцій інструменту, отже прикладання максимальної потужності даного процесу обробки розглядаємо, як процес поверхневого шліфування.

Розроблені практичні рекомендації із забезпеченням ефективності технології очищення внутрішніх поверхонь вагонів-цистерн перед постановкою їх в ремонт.

При аналізі роботи існуючого та запропонованого методу очистки цистерн показано економічну доцільність та ефективність запропонованого механізму.

**Ключові слова:** вагон-цистерна, шарошка, швидкотверднучі речовини, гнучкі робочі елементи, технологічний процес, руйнування та очищення.

## АННОТАЦИЯ

Милянч А.Р. Усовершенствование технологии очистки котлов вагонов-цистерн при подготовке их к ремонту. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена вопросу повышения эффективности подготовительных работ к ремонту вагонов-цистерн путем совершенствования технологии очистки внутренних поверхностей полостей котлов.

Проведен детальный обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы по теме диссертации, в результате чего установлено, что при очистке внутренних поверхностей котлов вагонов-цистерн от грузов, которые затвердевают, практически отсутствуют какие-либо средства механизации для реализации данного технологического процесса.

Разработанные математические модели основных принципов разрушения кристаллизованных остатков быстротвердеющих веществ, которые основываются на комплексном механическом воздействии, объединяющий динамические удары комплекса разрушительных шарошек и секционно набранных и эвольвентно закрепленных наборов гибких рабочих элементов.

При проведении теоретических исследований было установлено, что скорость поступательного перемещения шарошек и мощность, которая передается поверхности обработки, очень существенно зависят от отношения амплитуды вынужденного усилия удара к весу шарошки. Величина мощности, которая передается поверхностному слою застывшей массы, достигает своего максимума, когда амплитуда вынужденного усилия приблизительно в два раза больше веса.

Установлено, что наибольшее усилие контактного взаимодействия возникает при обработке застывшей массы торцевой щеткой. При этом в контакт с поверхностью обработки одновременно вступают все рабочие торцы проволок секций инструмента, следовательно приложения максимальной мощности данного процесса обработки рассматриваем как процесс поверхностного шлифования.

Конструкция разрушительно-очищающего инструмента, режимы процесса обработки и эффективность их применения непосредственно влияют на

достижение в решении главной задачи – разрушение монолитности застывших остатков веществ и их удаления из полостей котлов железнодорожных цистерн с одновременным качественным формированием поверхностного слоя металла донной их части.

Разработанные практические рекомендации с обеспечением эффективности технологии очистки внутренних поверхностей вагонов-цистерн перед постановкой их в ремонт.

При анализе работы существующего и предлагаемого метода очистки цистерн показано экономическую целесообразность и эффективность предложенного механизма.

**Ключевые слова:** вагон-цистерна, шарошка, быстротвердеющие вещества, гибкие рабочие элементы, технологический процесс, разрушение и очистка.

### SUMMARY

Milyanych A.R. Improvement of the technology of cleaning oil tank-car boilers in preparing them for repairs. - Manuscript.

Dissertation paper for a graduate degree of candidate of technical sciences in speciality 05.22.20 – operation and maintenance of transport means. – Dnipropetrovs'k National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipropetrovs'k, 2015.

The thesis is dedicated to the issue of raising the efficiency of preparing oil tank-cars for repairs by way of improvement of the technology of cleaning internal surfaces of boiler cavities.

The detailed review of home and foreign sci-tech literature on the topic of the thesis has been made, and as the result it has been traced that there are almost no means of mechanization to be used in the process of cleaning internal surfaces of oil tank-car boilers from cargoes which get set hard for implementing the given technological process.

Mathematical models of the main principles of destruction of crystallized remnants of fast-curing substances based on the complex mechanical influence that unites dynamic blows of the complex of destructive cutters and sectionally assembled and evolvently fixed sets of flexible working parts have been developed.

It has been traced that the largest effort of contact interaction appears during processing of the chilled mass with an end butt brush. And here simultaneously all the working end butts of the wires of the tool sections come into contact with the processing surface, therefore, the application of maximum capacity of the given processing process is considered by us as the process of surface polishing.

There have been developed practical recommendations on ensuring the efficiency of the technology of cleaning internal surfaces of oil tank-cars before they are handed over for repairs.

While analyzing the effect of the available and suggested tank cleaning method economic expediency and efficiency of the suggested mechanism are shown.

**Key words:** oil tank-car, end butt, fast-curing substances, flexible working parts, technological process, destruction and cleaning.

МІЛЯНИЧ АНДРІЙ РОМАНОВИЧ

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ КОТЛІВ ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН  
ПРИ ПІДГОТОВЦІ ЇХ ДО РЕМОНТУ

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 04.09.2015 р. Формат 60×84/16  
Папір для множних апаратів. Умовн. друк. арк. 1,05. Обл. вид. арк. 1,10  
Ум. др. арк. 1,0. Обл.-вид. л.1,0. Тираж 150 екз.  
Замовлення № \_\_\_\_\_.  
Тираж 100 прим.

Видавництво Дніпропетровського національного університету  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності ДК № 1315 від 31.03.2003.  
Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії  
49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.