

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)

Автоматизації технологічних процесів та виробництв

(повна назва кафедри)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
до дипломної роботи (проекту)

**магістра**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Автоматизовані методи нанесення захисних покриттів з підвищеними технологічними властивостями на металеві поверхні**

Виконали: студенти 6 курсу групи КАм-61

спеціальності

151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

**Лебідь Андрій Леонідович,**

**Покурбанич Дмитро Іванович**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

**проф. Марущак П.О.**

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_

(підпис)

**ст. викл. Козбур І.Р.**

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(підпис)

**доц. каф. КТ**

**доц. Голотенко О.С.**

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

## РЕФЕРАТ

**Лебідь Андрій Леонідович, Покурбанич Дмитро Іванович** *Автоматизовані методи нанесення захисних покриттів з підвищеними технологічними властивостями на металеві поверхні*, кваліфікаційні робота магістра, Тернопіль, ТНТУ, 2019.

Створено технологічні основи нанесення захисних покриттів з підвищеними технологічними властивостями на металеві поверхні, який забезпечує їх захист від корозійного впливу середовища.

Застосування фрактального підходу дозволило враховувати геометричні особливості топографії зламу, виражені в надмірному зниженні рельєфу зламу певних зонах зразка, які в свою чергу пов'язані з параметрами процесу їх формування. Саме це було теоретично обґрунтовано і підтверджено практично.

Досліджено залежності механічних і технологічних властивостей епоксикомпозитних покриттів від параметрів енергоємності їх руйнування та побудовано математичну (фрактальну) модель, що дозволяє оцінювати властивості покриттів по їх оптико-цифровим зображенням.

Питання дослідження фрактальної розмірності поверхонь руйнування зразків, розглянуте у даній роботі потребує подальшого дослідження, проте одержані результати свідчать, що цей параметр є чутливим до структурно-механічних особливостей матеріалів.

Провівши автоматизований аналіз зображень зламів епоксикомпозитів і проаналізувавши отримані дані встановлено, що фрактальна розмірність є інтегральним параметром механізмів руйнування матеріалів.

Попередні етапи обробки зображення спричиняють значний вплив на кінцевий результат та похибку обчислень. Величина похибки також залежить від методу аналізу та фізичної природи аналізованої поверхні.

Розглянуто підхід, який дозволяє створювати проблемно-орієнтовані та спеціалізовані експертні системи, налаштовані на певну аналізовану ділянку контрольованого об'єкту. Оцінено економічну ефективність проекту та запропоновано заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони довкілля.

## ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1. Аналіз стану покриттів нафто- та газопроводів	10
1.1.1 Бітумні покриття	10
1.1.2. Епоксидно-кам'яновугільні покриття	14
1.1.3. Поліетиленові стрічки	14
1.1.4. Порошкове покриття	15
1.1.5. Поліпропіленове покриття	16
1.1.6. Багатошарові покриття	18
1.1.7. Епоксикомпозитні покриття	19
1.2. Проблеми з міцнісними параметрами та руйнуванням в процесі експлуатації	24
1.3. Проблеми автоматизації	27
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
2.1. Характеристика виробу і його призначення	29
2.1.1. Аналіз умов експлуатації	29
2.1.2. Властивості епоксидних смол	30
2.1.3. Технологічні особливості виготовлення одношарових покриттів	32
2.1.4. Технологічні особливості виготовлення тришарового покриття на основі рідкої епоксидної фарби	34
2.1.5. Технологічні особливості виготовлення тришарового покриття на основі порошкової фарби	37
2.1.6. Технологічні особливості виготовлення двошарового покриття	37
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виробу	38
2.2.1 Підготовка поверхні для нанесення епоксидних лакофарбових матеріалів	38
2.2.2. Зжирювання поверхні труб перед фарбуванням	42
2.2.1. Підготовка епоксидних лакофарбових матеріалів	42
2.2.2. Нанесення епоксидних лакофарбових матеріалів	43

2.2.3. Сушка епоксидних лакофарбових матеріалів	44
2.3. Метод визначення складових ударної в'язкості	45
<b>3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>	
3.1. Технологія нанесення покриттів	50
3.2. Установки безповітряного розпилення з підігрівом	52
3.3. Насоси високого тиску	55
3.4. Установа для антикорозійного покриття УНП2-7-65 безповітряним методом	56
3.5. Автоматичний розпилювач Iwata AL-96 S5	59
3.6. Мікроконтроллер ОВЕН ПЛК110-32	60
3.7. Розрахунок параметрів автоматизації процесу фарбування	61
3.8. Приклад розрахунку	65
3.9. Розрахунок частоти обертання двигуна АІР 132 М8	66
<b>4. НАУКОВА ЧАСТИНА</b>	
4.1. Автоматизоване визначення фрактальної розмірності	69
4.2. Застосування фрактальної розмірності $D$ для опису структури зламів епоксикомпозитів	
<b>5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b>	
5.1 Мова релейних діаграм LD	77
5.2. Розробка керуючих програм для системи програмного керування	77
<b>6. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ</b>	80
<b>7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>	88
<b>8. ЕКОЛОГІЯ</b>	93
<b>ВИСНОВКИ</b>	98
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	99

## ВСТУП

З кожним роком виготовлення і використання полімерів збільшується. Серед них достатньо широко використовуються термореактивні полімери, наприклад – епоксидні смоли. Епоксидні смоли вперше були синтезовані більш як 50 років назад. Але залишаються одними із найважливіших видів синтетичних смол, завдяки цінним технологічним і експлуатаційним властивостям. Також матеріали на їх основі можна використовувати в різних галузях господарства. Вони використовуються як в якості електроізоляційних компаундів, різних лакофарбових матеріалів, виготовлення виробів різного функціонального призначення.

Епоксидні полімери, завдяки можливості їх модифікації, за рахунок наявності реакційно здатних гідроксильних і епоксидних груп, з отриманням матеріалів з високими показниками фізико-механічних властивостей, залишаються найбільш перспективними серед інших органічних високомолекулярних речовин.

Разом з цим, епоксидні смоли мають недоліки, найбільш важливими з яких є жорсткість і висока горючість. Також важливим параметром для дослідження є адгезійні властивості. Дивлячись на велику кількість робіт, присвячених підвищенню адгезійних властивостей епоксидних покриттів, ця проблема залишається актуальною. Разом з підвищенням адгезійних властивостей, необхідно вирішити ще одну задачу, зв'язану з підвищенням рівня експлуатаційних характеристик епоксидних композитів.

У зв'язку з цим досліді направлені на створення епоксидних композитів для покриття деталей металопрокату з підвищеним комплексом експлуатаційних характеристик.

## **1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА**

### **1.1. Аналіз стану покриттів нафто- та газопроводів**

Одним з головних складових в структурі різних нафто чи газотранспортного обладнання є труби, які об'єднують різні компоненти технологічного ланцюга в єдиний виробничий комплекс. Різноманіття умов експлуатації труб передбачає різні види і причини їх пошкоджень, одним із найбільш важливих причин є корозія.

Головними напрямками вдосконалення боротьби з корозією є:

- Використання нових конструкцій і способів нанесення ізоляційних покриттів.
- Використання інгібіторів
- Використання високоефективних і економічних труб
- Створення надійних методів дослідження діючих трубопроводів без порушення режимів їх роботи.
- Використання нових типів покриттів і вдосконалення існуючих.

Умови експлуатації трубопроводів дуже різноманітні, тому великий вибір наявних захисних покриттів, які відрізняються як своїми характеристиками так і технологією нанесення, дозволяє в багатьох випадках успішно вирішувати проблему боротьби з корозією. Тому оглянемо типи різних покриттів і способи їх нанесення.

#### **1.1.1 Бітумне покриття**

Підготовка поверхні труб повинна відповідати вимогам п. 6 ДСТУ 4219-2003 для зазначеного захисного покриття, ступінь очистки повинна бути не гірше ступеню Sa 2 згідно ДСТУ ISO 8501. Нанесення бітумного покриття починається з підготовки поверхні і нанесення ґрунтовки. Ґрунтовка являє собою розчин бітуму в бензині. Після її нанесення бензин випаровується, і на трубі залишається тонка плівка бітуму, який заповнює всі мікронерівності

поверхні металу. Грунтовка служить для більшого контакту, і , відповідно більшого прилипання головного ізоляційного шару- бітумної мастики до труби.

Всі існуючі сьогодні мастики мають подібний склад, відрізняючись лише за наповнювачем і наявністю додаткових речовин. Основу мастики становлять природні або штучні бітуми - суміші вуглеводнів і їх похідних, що мають високу в'язкість, добру адгезію до металів і стійкість до різних негативних впливів (механічних, хімічних). Для досягнення необхідних якостей в бітуми додають добавки, і саме за типом і складом цих добавок мастики поділяють на кілька видів:

- бітумні мастики;
- гумо-бітумні
- каучукобітумні;
- полімерно-бітумні;
- сланцеві (мінеральні);
- епоксидні.

До складу гумо-бітумних мастик вводять різні гуми на основі синтетичних каучуків. Їх експлуатують за температур від  $-40^{\circ}\text{C}$ , проте їх недоліком є недостатня пружність особливо за перепаду температур.

Каучуко-бітумні мастики містять натуральні і синтетичні каучуки, вони мають високу пружність і міцність, а головне – стійкість до низьких температур.

Полімерно-бітумні мастики в якості наповнювачів містять поліуретан та інші полімери та їх суміші, за своїми характеристиками вони аналогічні засобам з додаванням каучуку.

Мінеральні (сланцеві) мастики містять мінеральні наповнювачі - сланець і інші породи у вигляді дрібної крихт і лусочок. Мінеральний наповнювач має високу механічну міцність і не розкладається з часом, проте мастики з його використанням найменш еластичні і не можуть ефективно працювати за

постійних вібрацій. У всі типи мастик вводяться допоміжні речовини - стабілізатори в'язкості, інгібітори корозії, антисептики і інші.

Мастики різних типів можуть мати дві форми:

- рідкі високої в'язкості - для нанесення пензлем;
- рідкі малої в'язкості - для нанесення за допомогою спеціального пульверизатора;
- спрей в балоні - для нанесення без використання додаткових інструментів і обладнання.

Бітумна мастика є сумішшю тугоплавкого бітуму, наповнювачів і пластифікаторів. Кожен з компонентів виконує свою роль: бітум забезпечує необхідний електричний опір (у випадку коли трубопровід лежить під землею), наповнювачі забезпечують міцність до механічних пошкоджень, пластифікатори надають покриттю еластичності. Бітумне покриття наносять на поверхню при температурі 150... 180 °С. Розплавляючи тонкий шар бітуму на поверхні, мастика заповнює мікронерівності.

Бітумна мастика може наноситись в один, або два шари. В останньому випадку між шарами мастики для збільшення механічної міцності покриття наносять шар армуючої обгортки з склохолста. Для захисту шару бітумної мастики від механічних пошкоджень, зверху вона покривається захисною обгорткою з брізолу (Брізол – виготовлений методом вальцювання рулонний матеріал, який складається з нафтового бітуму, подрібленої резини, азбеста і пластифікатора).

В залежності від кількості і товщини шарів мастики розрізняють бітумні покриття нормального типу (загальною товщиною 4мм), підсиленого типу (товщиною 6мм), і дуже підсиленого – з чотирьох шарів загальною товщиною 9мм.

Покриття підсиленого типу використовують у випадку діаметру труби більше 1020мм, також незалежно від діаметру в випадках сурових природніх умов. Якість покриття проходить перевірку на відсутність відслоювання при відриві, відсутності пробою пробою при нпрузі на щупі дефектоскопа не



менше 5 кВ на 1мм товщини ізоляції. Ізоляційні покриття на основі бітумних мастик використовуються у випадку температури транспортованого продукту не більше 40 °С. Головними недоліками бітумних покриттів є низька експлуатаційна температура і втрата еластичності з часом, стають хрупкими і можуть відслоюватися. Також останнім часом для ізоляції трубопроводів використовують стрічку з полімерно-бітумним шаром. Вона є клейким рулонним матеріалом виготовленим шляхом нанесення бітумно-полімерної мастики на поліетиленову радіаційно-модифіковану термоусаджувальну стрічку (плівку-основу), захищену антиадгезивною плівкою. Останнім часом її активно застосовують для переізоляції старих трубопроводів, забезпечуючи надійну антикорозійний захист, а також при будівництві нових нафтопроводів, газопроводів і водопроводів.



а



б

Рис. 1.1. Нанесення стрічки з полімерно-бітумним шаром ТІАЛ-ЛВ-Б,  
<http://www.tial.ru/termolenta-s-bitumnym-kleevym-sloem-tial-lo-b>

Це, фактично стрічка «холодного» нанесення. Саме тому полімерно-бітумний клейкий шар, не вимагає для нанесення спеціального нагріву, достатньо лише пройти «точку роси на сталевій трубі перед нанесенням. Після видалення спеціальної антиадгезивної плівки, яка запобігає злипанню стрічки всередині рулону можна проводити роботи при температурі навколишнього середовища не нижче за 0 ° С з натягом стрічки при нанесенні не менше 2 кг /

см. Саме тому для її застосування використовують, переважно, механізований спосіб.

### **1.1.2. Епоксидно-кам'яновугільні покриття**

Кам'яновугільна смола використовується до покриття труб тільки в композиції з епоксидною смолою. Покриття на основі епоксидних зв'язуючих, із вмістом кам'яновугільної смоли використовують для довготривалого захисту сталевих і бетонних поверхонь, від дії морської і прісної води, для гідроізоляції підземних каналів і трубопроводів. Ці покриття також показали високу ефективність при прямому контакті з різними агресивними хімічними субстанціями.

Покриття, які отримують на основі кам'яновугільної смоли, відрізняються високою температурою плавлення, тому вони широко використовуються для ізоляції труб, які ідуть від компресорних станцій. В Великобританії створена антикорозійна ізоляція на основі кам'яновугільної смоли, яка зберігає високі захисні властивості при температурі до 120°C.

Також хорошим фактором є те, що після нанесення дане покриття будь-якої товщини застигає без додаткового підігріву.

Технологія нанесення (на основі фарби марки Sigma Cover 300 (Нідерланди)) включає розмішування компонентів в пропорції 86:14 (основа:затверджувач) по об'єму і витримуть протягом 30 хвилин. Нанесення відбувається через сопло діаметром 0.5-0.6 мм апаратом безповітряного напилення тиском не менше 150 атм.

### **1.1.3. Поліетиленові стрічки**

Оскільки покриття на основі порошкової епоксидної фарби і напиленого поліетилену виготовляються в заводських умовах, досить широко використовуються покриття на основі липких полімерних стрічок. В даній технології спочатку на трубу наноситься полімерна, або бітумно- полімерна ґрунтівка, а пізніше поліетилен, або полівінілхлоридна ізоляційна липка

стрічка (1-2 шари) і захисна обгортка. Товщина ізоляційного покриття нормального типу складає 1,35...1,5 мм, а підсиленого – 1,7 мм.

На рис. 1.2 показано нанесення поліпропіленової стрічки з поліпропіленової плівки - це холодна наплавлена стрічка, що використовується для антикорозії нафтопроводу нафти, газу та води підземної або повітряної труби і водонепроникна для даху, ємності, водопропускних труб. Його також називають поліпропіленовою стрічкою з текстилю (<http://ua.xundapipewrap.com/pvc-coating/>).



Рис. 1.2. Нанесення поліпропіленової стрічки на поверхню газопроводу

Полімерні покриття мають високий електричний опір, технологічні (простота нанесення, зручність механізації робіт), але вони є вразливими- гострі виступи на поверхні металу, або камінці легко проколюють ізоляцію, порушуючи її однорідність. В цьому випадку вони уступають бітумним покриттям на основі бітумних мастик, проколоти які достатньо складно.

#### **1.1.4 Порошкове покриття**

Покриття порошковим праймером також носить назву FBE (fusion bounded epoxy) використовується для покриття внутрішньої і зовнішньої сторін труб . Технологія передбачає наплення порошкового матеріалу електростатичним

способом на розігріту поверхню, на якій формується захисна плівка товщиною 0,25мм.

Епоксидні порошкові ґрунтовки FBE-1 засновані на смолах епоксидного та фенольного типу. Призначені для фарбування сталевих труб (очищення SA 2,5) в якості ґрунтувального шару, на який наносяться сполучний (adhesive) і остаточний поліетиленовий шари для отримання тришарового покриття і забезпечення максимального захисту. Наносяться на попередньо нагріту сталеву поверхню. Процес термоотвердження відбувається на нагрітій поверхні для отримання ґрунтовочного покриття, що містить у собі вільні фенольні групи, необхідні для отримання хорошої адгезії (фізико-хімічною) до сполучного шару. Епоксидні покриття знайшли широке використання протягом останніх років для труб різних діаметрів і призначення.

Згідно з європейським стандартом DIN 30671 епоксидне покриття, повинне мати мінімальну товщину шару 300 мкм, діелектричну однорідність при напрузі 3,0 кВ; адгезію при тестування методом надрізу на нижче оцінки Gt 1A\$; міцність на удар не менше 10 Дж; глибину втискання циліндричного пуансона з навантаженням 10 Н/мм<sup>2</sup> при підвищених температурах не більше 0,1мм за 24 год.4 відносне видовження при розтягненні не менше 5% та ін..

Найбільш розповсюджений спосіб нанесення епоксидного покриття на поверхню металу – напилення в електростатичному полі. До недоліків тонко плівкових епоксидних покриттів відносяться низькі показники стійкості до катодного відшарування і ударної міцності. В зв'язку з цим в останній час проводяться дослідження як по підвищенню якості тонко плівкових епоксидних покриттів так і по підвищенню їх ударної міцності.

### **1.1.5 Поліпропіленове покриття**

В Європі заводські покриття труб на основі екструдованого поліпропілена займають 7-10 % від обсягу виробництва труб з заводським поліетиленовим покриттям.



Рис. 1.3. Приклад захисту зварного шва поліпропіленовим покриттям

<https://sovet-ingenera.com/gaz/equip/izolyatsiya-stalnyh-gazoprovodov-materialy-dlya-izolyatsii-i-sposoby-ih-naneseniya.html>

Поліпропіленове покриття володіє підвищеною теплостійкістю, високою механічною, ударною міцністю, стійкістю до продавлювання і абразивного зносу.

Основна область застосування поліпропіленових покриттів - протикорозійний захист "гарячих" (до 110-140 °С) ділянок трубопроводів, захист від корозії морських, шельфових трубопроводів, підводних переходів, ділянок трубопроводів, що будуються методами "закритої" прокладки (проколи під дорогами, прокладання труб методом похило спрямованого буріння тощо).

Конструкція заводського поліпропіленового покриття аналогічна конструкції заводського тришарового поліетиленового покриття труб. Для нанесення покриття використовуються епоксидні порошкові фарби, термоплавкі полімерні композиції і термосвітлостабілізовані композиції поліпропілену. З-за високої ударної міцності поліпропіленового покриття його товщина може бути на 20-25 % менше товщини поліетиленового покриття труб (від 1,8 мм до 2,5 мм).

Поліпропіленові покриття мають, як правило, білий колір, що обумовлено використанням в якості основного світлостабілізатора добавки двоокису титану.

До недоліків поліпропіленових покриттів слід віднести їх знижену морозостійкість. Стандартне поліпропіленове покриття рекомендується застосовувати при температурах будівництва трубопроводів до мінус 10 °С, а температура навколишнього середовища при зберіганні ізолюваних труб не повинна бути нижче мінус 20 °С. Спеціально розроблене морозостійке поліпропіленове покриття може застосовуватися при температурах будівництва трубопроводів до мінус 30 °С і температурах зберігання ізолюваних труб до мінус 40 °С.

Для нанесення заводських поліпропіленових покриттів використовуються епоксидні порошкові фарби поставки фірм "ЗМ" (США), "BASF Coatings" (Німеччина), композиції адгезиву і поліпропілену поставки фірм "Borealis", "Basell Polyolefins".

### **1.1.6 Багатошарові покриття**

На основі порошкового епоксидного праймеру наносять також поліетиленовий, або поліпропіленовий шар методом намотування на трубу. Головною функцією даного шару є протидія стиранню і механічна міцність. Особливо це важливо при встановленні трубопроводу, оскільки пошкодження ще на початковому етапі служби зроблять неможливою експлуатацію протягом планового часу. Також широко поширене тришарове покриття трубопроводу, відмінність його від двошарового є лише те, що між шаром з епоксидного праймеру і зовнішнього стрічкового знаходиться адгезивний шар. Це значно підвищує механічну міцність трубопроводу.

Тришарове покриття складається з шару епоксидного праймера товщиною від 60 до 200 мкм, адгезійного шару товщиною від 200 до 500 мкм і зовнішнього поліетиленового шару товщиною від 1,5 до 3,0 мм. В залежності від діаметрів

труб і призначення трубопроводів загальна товщина тришарового покриття може змінюватися від 2,0 до 3,5 мм.

При правильному виборі системи ізоляційних матеріалів, при строгому дотриманні технологічних режимів очистки і зовнішньої ізоляції труб розрахунковий термін служби тришарового покриття при температурах експлуатації до плюс 60 °С становить не менше 50 років.

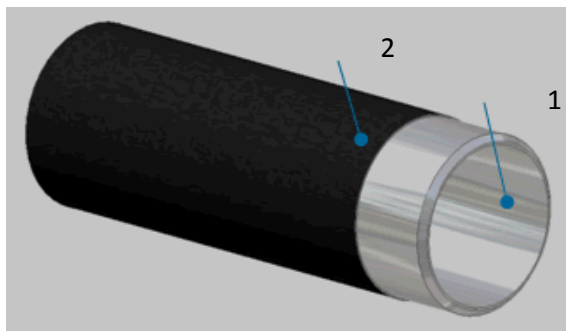
### **1.1.7. Епоксикомпозитні покриття**

Останнім часом широко досліджуються композитні матеріали на основі епоксидної смоли для покриття трубопроводів. Характерною ознакою даного покриття є те, що епоксидна смола виступає матрицею, а різні домішки (дисперсні нікель, нанонікель, наносрібло, залізо, оксид заліза (магнетит), ферити, мідь, оксид міді, оксид хрому, електрокорунд, сланець, графіт, сажа, карбонові нанонаповнювачі – графен, нанотрубки, терморозширений графіт, скляні та полімерні мікросфери) виконують роль армуючих елементів. Дане покриття може наноситися як методом безповітряного розпилення так і звичайним краско пультом.

На сьогодні все більшої уваги приділяють надійності і довговічності технологічного устаткування, яке працює в умовах корозійного та біокорозійного впливу. У цьому аспекті цікавим є використання матеріалів на основі епоксидних олігомерів, які знайшли широке застосування у промисловості завдяки комплексу цінних властивостей. Висока хімічна стійкість до впливу агресивних середовищ, підвищена зносостійкість зумовлює широке застосування епоксидних композитів у вигляді покриттів для захисту металевих деталей.

Перевагою даного покриття як і усіх інших композитних покриттів на д однорідним є те, що досягається вища міцність через наявність границь розділу між армуючи ми елементами і матрицею, підвищення статичної міцності призводить не до зниження, а до підвищення характеристик в'язкого

руйнування. Одним з недоліків є трудомісткість дослідження даного типу покриттів.



Зовнішнє рідке епоксидне покриття:

1 – труба

2 – рідке епоксикомпозитне покриття

<https://www.khipipe.com/products-services/coating-facilities/external-liquid-epoxy-coating/>



Основні технічні характеристики:

-Товщина, мм - 0,5.3;

-Адгезія до металу при н. у., кг/см<sup>2</sup>-6, 0;

-Витрати при товщині 2 мм, кг/м<sup>2</sup> - 3,0;

-Водопоглинання, %, через 3 діб - 0,01;

<https://tubescoating.com/ua/product/antikorroziionnaya-polimerno-epoksidnaya-izolyatsiya-trub>

Рис. 1.4. Покриття та їх особливості- а та антикорозійна полімерно-епоксидна ізоляція труб, епоксидне покриття для трубопроводів згідно: ДСТУ 4219-2003 – б

Полімеризуючі системи на основі двокомпонентних олігомерів-один з найбільш поширених видів антикорозійних покриттів, вживаних для ізоляції трубопроводів в заводських і трасових умовах, а також ізоляції поверхонь складних конфігурацій : трійників, фланців, засувок та ін.





а



б



в



г

Рис. 1.5. Відновлення палубних механізмів внаслідок корозійного руйнування на суховантажних суднах, за даними проф Мамуні Є.П. та ін.

[http://www.kdpu-nt.gov.ua/sites/default/files/work\\_files/prezentaciya\\_roboty\\_r19.pdf](http://www.kdpu-nt.gov.ua/sites/default/files/work_files/prezentaciya_roboty_r19.pdf)

Епоксидне покриття є системою, що складається з високов'язкої композиції на основі епоксидів і отверджувачів амінів. Застосовуються для нанесення захисного покриття кистю, шпателем або установкою безповітряного, що розпилювання на металеві поверхні, згідно:

- ДСТУ 4219-2003 «Трубопроводи сталеві магістральні. Загальні вимоги до захисту від корозії»;

• ДСТУ Б В.2.5-30:2006 «Трубопроводи сталеві підземні систем холодного і гарячого водопостачання»;

• ДСТУ Б В.2.5-29:2006 «Система газопостачання. Газопроводи підземні сталеві».

Таблиця 1.1. Характеристика типів покриттів.

Тип покриття	Товщина мм	Переваги	Недоліки
Бітумне	8,13-9,00	1.Дешевизна технології 2.Можливість нанесення в «польових» умовах	1.Низька експлуатаційна температура 2.Втрата еластичності 3.Низька екологічність
Кам'яно-вугільна смола	4,66-5,73	1.Володіє доброю адгезією до сталі	1.Шкода здоров'ю
Поліетиленова стрічка	0,56-0,76	1.Висока технологічність її нанесення на труби 2.Добрі діелектричні властивості 3.Низька вологопроникність	1.Низька стійкість до зсувів спричинених осадкою ґрунту 2.Недостатньо висока ударна міцність покриття. 3.Низька біостійкість адгезійного підшару покриття
Порошкове епоксидне покриття FBE	0,59-0,76	1.Володіє відмінною адгезією до сталі 2.Добре протистоїть відшаруванню	1.Технологія вимагає розігріву до високих температур.

			2.Погано протистоїтьстиранню
Поліпропіленове покриття	1,8-2,5	1.Стійке до високих температур 2.Володіє вищою міцністю ніж поліетиленове покриття	1.Низька морозостійкість
2-шарове покриття	1,90-3,2	1.Хороша адгезія до сталі 2.Добре протистоїть відшаруванню внаслідок катодного захисту	1.Технологія вимагає розігріву до високих температур. 2.Покриття не може бути видалене для ремонту труб. 3.Можливе відшарування на торцях труб внаслідок різкого охолодження.
Епоксидне композитне покриття	0,58-0,75	1.Володіє відмінною адгезією до сталі 2.Стійке до відшарування. 3.Володіє високою стійкістю до стирання 4.Вища міцність ніж у епоксидного	1. Висока вартість технології 2.Потрібно суворо слідувати згідно з технологічним процесом.

		покриття через наявність армуючого матеріалу.	
--	--	-----------------------------------------------	--



а



б

Рис. 1.6. Нанесення епоксикомпозитних покриттів: а – розпиленням; б - пензлем, <https://napipelines.com/pipeline-protection-coating/feat-coat-1/#prettyPhoto/0/>

## 1.2. Проблеми з міцнісними параметрами та руйнуванням в процесі експлуатації

В процесі дослідів і спостережень за зміною якісного стану антикорозійного покриття трубопроводів встановлено, що в процесі

атмосферного зберігання (до 10-15% від загальної кількості) антикорозійне покриття отримує пошкодження локального характеру, що проявляється ввиді усадочногосдвигу в прикромочних зонах і утворення відшарування кромки шириною 6 і 40 мм відповідно при окружній протяжності 1,5м. Утворення пошкоджень зв'язано з дією екстремальних температурних факторів, які призводять до збільшення внутрішніх напружень в покритті і зниження адгезійної міцності його зчеплення з металом. Це перш за все атмосферні циклічні зміни відємної температури навколишнього повітря з перепадом до 30°C в межах доби і довготривала дія недопустимих відємних температур (нижче мінус 22°C до мінус 40°C) . При цьому оптимальний термічний режим , який не має негативної дії на службові властивості антикорозійних покриттів характеризується діапазоном температур в інтервалі від мінус 22°C до +48°C.

В нормальних умовах при температурі від мінус 22°C до плюс 48°C значення внутрішніх напруг в покритті і адгезійній міцності зчеплення покриття з металом відповідають допустимим ( не більше 3,0 Н/мм<sup>2</sup> і не менше 70,0 Н/см відповідно). Атмосферна температурна дія і дія зварної теплоти на кромку покриття створюють в покритті труби напружений стан при одночасному зниженні міцності адгезійного зчеплення . До тих пір, поки ці сили співрозмірні клеєвий шар утримує оболонку покриття (і її кромку) на поверхні спряження з трубою. При порушенні цього балансу виникає колізія, при якій усадочні сили, які викликають ріст внутрішніх напружень на кромці покриття, починають перевищувати сили адгезійного зчеплення. Дійсно, по мірі зменшення температури навколишнього повітрявід мінус 22°C до мінус 40 °C внутрішні напруження на кромці покриття збільшуються в 2,1 рази, а адгезійна міцність зчеплення зменшується більш як в 33 рази. В цих умовах зароджуються пошкодження покриттів : кромка під дією усадочних сил починає зміщуватися ,а потім необоротно деформуватися, прагне відділитися від поверхні; порушена структура клеєної речовини прагне відділитися від поверхні. Порушена структура клеєного складу перестає виконувати роль зчіплюючого шару, виникає повітряний зазор, який нездатний до

самоліквідації при відновленні нормальних температурних умов в силу вказаних причин. Інакше кажучи зародження дефекту є також необоротним процесом, він може прогресувати і розвиватися при повторюваних або циклічних температурних процесах. структурних впливах, ним параметрами. Характер цих впливів визначається кліматичними особливостями територій, і найбільш небезпечні перепади зимових температур в північних і арктичних районах передбачуваного будівництва. З іншої сторони, температурний стан атмосфери впливає на вибір режиму зварювання труб, жорстка заданість якого може порушити зону температурної оптимальності для кромки покриття. Механізм зародження дефектів під дією теплоти зварювання також залежить, в принципі, від балансу сил адгезії та напруженого стану епоксидного шару. Встановлено, що при виконанні зварного шва внутрішні напруги на кромці покриття збільшуються з зростанням температури нагріву пришовної зони і з скороченням відстані від зварного шва до кромки покриття від (3,0 М/мм<sup>2</sup> при T= 48°C до 9,3 Н/мм<sup>2</sup> при T= 100°C), а адгезійна міцність зчеплення покриття з металом при тих ж зусиллях зменшується від 70 Н/см до 12 Н/см. Як видно, тут та ж тенденція: під впливом екстремально додатніх температур спостерігається зростання напруженості в оболонці покриття, супроводжуваний усадкою і її викривленням форми, а також втратою адгезійних властивостей клейового складу з-за термічної деструкції його полімерних зв'язків. І вектор руйнування конструкції покриття тут також направлений однобічно і необоротно.

Одним з найважливіших вимог, що пред'являються до захисних лакофарбових покриттів, є, крім високої адгезійної міцності і її збереження при експлуатації, висока хімічна стійкість до дії робочих середовищ. На підприємствах широко використовуються в якості захисних покриттів обладнання і трубопроводів епоксидні лакофарбові композиції. Епоксидні композиції забезпечують можливість холодного затвердіння і хімічну стійкість в лужних, нейтральних і слабокислих середовищах. В умовах видобутку, підготовки та переробки природного газу матеріал захисного

покриття повинен бути кисло- лугостійким. Звичайні епоксидні матеріали, будучи стійкими до дії лужних і нейтральних розчинів, не володіють достатньою стійкістю до дії кислих вод, особливо при підвищених температурах. Методами вирішення даних проблем є введення в склад епоксидної матриці наповнювачів різного характеру, спеціальні види обробки сталевих поверхні перед нанесенням (термоабразивна чистка).

### **1.3. Проблеми автоматизації**

Велике значення мають захисні покриття холодного отвердження на основі рідких епоксидних смол, коли з якихось причин об'єкт не може бути підданим нагріванню до температури формування покриттів з порошкових полімерів. Традиційні лакофарбові матеріали не відповідають вимогам хімічної стійкості. Більш надійними є покриття на основі рідких епоксидних смол з різними хімічно стійкими наповнювачами, наприклад, порошковими полімерами. Покриття на основі композицій холодного твердження в деяких випадках є більш кислотостійкими порівняно з епоксидними порошковими фарбами (лугостійкість у всіх епоксидних покриттів досить висока). Недоліком холодно тверднучих композицій є їх висока в'язкість (2-3 тис. сек по ВЗ-4), у зв'язку з чим вони наносяться на поверхню, що захищається пензлем, оскільки до теперішнього часу не вирішено питання механізованого нанесення високов'язких рідин. Одним з варіантів для покриття такою фарбою є використання установки безповітряного нанесення. Перевагами такої установки є менше розпилення лакофарбових матеріалів в процесі їх нанесення порівняно з традиційними фарбопультами повітряного типу. Також відсутність потужного повітряного компресора і ресиверів створюють ряд переваг. В даній дипломній роботі буде розглянуто установку УНП-2-7-65. Даний прилад дає змогу розігріти матеріал покриття перед нанесенням, що зменшить їх в'язкість створить кращі умови для нанесення їх на деталь металопрокату.

Композити на основі епоксидного лаку є перспективними на сьогоднішній день через можливість їх використовувати для покриттів різного роду металоконструкцій, в тому числі трубопроводів, резервуарів, та ін.. В даній роботі будуть досліджуватись модифікації на основі епоксидної фарби, методи обробки поверхні перед нанесенням покриття для досягнення більшої адгезійної міцності покриття. Також буде розроблено установку для автоматичного нанесення рідкого епоксидного покриття за допомогою пристрою безповітряного розпилення, на стаціонарній установці. Керування буде здійснюватися за допомогою програмованого мікроконтролера. Окрім того в даній роботі буде приведено робочу програму для даної установки.



## 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика виробу і його призначення.

#### 2.1.1 Аналіз умов експлуатації

В даний час значне число нафтопроводів експлуатується понад 25 — 30 років, що близько до встановленого нормативного терміну. В металі труби практично завжди є концентратори напруг (риски, подряпини, задирки, корозійні плями, дефекти зварних швів тощо), які є факторами, що знижують експлуатаційну довговічність ділянок трубопроводів.

Обладнання різних галузей господарства, яке включає магістральні трубопроводи підлягає дії гетерогенної середовища, що складається з двох фаз: вуглець-електроліт. Корозійна активність середовища по відношенню до конструкційних матеріалів і покриттів визначається фізико-хімічним станом і складом водної і вуглецевої фаз, однак «ініціатором» адгезійних зв'язків лакофарбового покриття завжди буває вода. Вода в газорідний потік потрапляє з двох джерел: вона конденсується з перенасичених парів при зниженні температури газового потоку по мірі його просування з пласта, або пластова вода захоплюється газовим або нафтовим потоком. Корозійну активність води характеризують природа і кількість розчинених солей, значення рН, жорсткість води, вміст кислих газів, наявність органічних речовин. Корозійний процес руйнування металів в промислових середовищах протікає у водних розчинах солей по електрохімічному механізму. Визначальним корозійним фактором у цих системах є наявність основних деполяризуючих агентів ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ), що беруть участь безпосередньо в корозійному процесі металу під лакофарбової плівкою або надають стимулюючий вплив на електродні реакції електрохімічного процесу

руйнування металу. До основних корозійно-активних агентів належать сірководень, кисень, двоокис вуглецю, низькомолекулярні органічні кислоти.

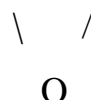
### 2.1.2 Властивості епоксидних смол

Епоксидними смолами називають олігомери і полімери, які містять в макромолекулі епоксидні групи — CH — CH — . Молекулярна вага цих смол

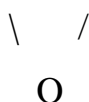


Складає від декількох сотень до декількох тисяч: при певних умовах вони здатні перетворюватися в неплавкі і нерозчинні продукти.

В залежності від вихідних матеріалів, які використовуються для синтезу, епоксидні смоли условно можна розділити на чотири основні групи: смоли на основі дифенілолпропану (діанові), смоли на основі інших двохатомних фенолів, смоли на основі аліфатичних спиртів і продукти епоксидування неграничних зв'язків. В промисловості найбільш широко (98% від загального випуску епоксидних смол) використовують діанові епоксидні смоли, які отримують при ступінчатій полімеризації дифенілолпропану з епіхлоргідрином в лужному середовищі. Вони представляють собою прості лінійні полієфіри з реакційно здатними групами на кінцях макромолекул вторичними гідроксильними групами розміщених вдоль полімерного ланцюга. В залежності від використаної сировини, співвідношення вихідних компонентів і технології виготовлення, отримувані епоксидні смоли мають різну молекулярну масу, і відповідно, різний вміст епоксидних груп. Одною з головних характеристик епоксидної смоли є епоксидне число, виражає вміст (в мас. %) в смолі етиленоксидних ( — CH — CH<sub>2</sub> ), або



пропіленоксидних ( — CH<sub>2</sub> — CH — CH<sub>2</sub> ) груп.



Епоксидні смоли лінійної будови на знаходять використання в лакофарбовій промисловості, оскільки вони утворюють нестійкі покриття з низькою твердістю, а перетворення їх в трьохвимірний полімер стається при дуже високій температурі.

Для надання покриттю оптимальних властивостей епоксидні смоли модифікують жирними кислотами рослинних масел, або переводять їх в трьохвимірний полімер шляхом добавляння зшиваючих агентів чи каталізаторів, сприяючих розкриттю епоксидного кільця.

Низькомолекулярні епоксидні смоли (мол. маса 300-900) представляють собою в'язкі реакційно здатні рідини, які затвердівають при дії активних затвердників при кімнатній температурі чи незначному нагріві. По мірі зростання молекулярної маси в'язкість незатверджених епоксидних смол збільшується, а реакційна здатність зменшується, тому епоксидні смоли з молекулярною масою більше 900 звичайно затверджуються при підвищених температурах.

Для виготовлення лакофарбових матеріалів призначені не модифіковані (Е-40, Е-41, Е-33, Е-44, Е-15, Е-49, Е-05) і модифіковані (Е-30 і Е-30Т) смоли. Деколи використовують також смоли ЕД-5, ЕД-6 і ЕД-20.

### 2.1.3 Затвердження епоксидних смол.

Для затвердіння діанових епоксидних смол з молекулярною масою 400-1000 найбільш широко використовують аліфатичні первичні діаміни: етилендіамін, гексаметилендіамін, а також поліетиленполіамін. Для зниження токсичності і запобігання помутніння лакофарбової плівки замість самих амінів використовують їх аддукти з епоксидними смолами. Найбільше використання в лакофарбовій промисловості отримав 50%-ий розчин гексаметилендіаміну в етиловому спирті, який випускається під назвою «затвердник №1» (ВТУ КУ 1/0 56). Він вводиться в розрахунку 0,25 моль гексанетилендіаміна на одну епоксидну групу. Використовуються також аддукт гексаметилендіаміна з епоксидною смолою Е-40.

Епоксикомпозитні покриття товщиною 350...500 мкм як правило, використовують як зовнішній трубопровід, вже близько 50 років. Найпоширенішими вони є у США, Канаді, Індії, в країнах азійсько-тихоокеанського регіону. Вони мають підвищену теплостійкість, високі значення адгезії, є стійкими до катодного відшарування. Крім того, ці покриття є стійкими по розриву, здирання, абразивного зношування. Труби з епоксидними покриттями, на відміну від труб із заводським поліетиленовим покриттям, можуть тривалий час зберігатися під відкритим небом. Епоксидні покриття є проникними для струмів катодного захисту. Під епоксидними покриттями не зафіксовано випадків стрес-корозії трубопроводів. Витрати на нанесення епоксидних покриттів є нижче витрат на заводські поліетиленові і поліпропіленові покриття труб (зі складу технологічних ліній виключаються енергоємні екструдери, системи завантаження і сушки гранульованих поліолефінових композицій, зменшується витрата ізоляційних матеріалів і т.д.).

У таблиці 2.2 узагальнено фізико-хімічні характеристики епоксидних смол

Марка смоли	Средня відносна молекулярна маса	Температура размягшення, °С
ЕД-22	390	8-10
ЕД-49	2500	105-115

Епоксидні покриття мають низку недоліків, зокрема: їх недостатню пружність і низьку ударну в'язкість, особливо за низьких температур. Це, значною мірою, ускладнює транспортування ізольованих труб і виконання будівельно-монтажних робіт за трасових умов. Одношарові епоксидні покриття застосовують для антикорозійного захисту трубопроводів малих і середніх діаметрів.

Таблиця 2.3.

## Властивості епоксидних лакофарбових матеріалів

Матеріал	Колір	В'язкість, с	Розчинник	Режим сушіння	
				Тривалість, год.	Температура, °С
Шпатлівка ЕП-0010	Червоно/коричневий	22-25	Р-40	24	18-22
Емаль ЕП-773	Зелений	20-22	№ 646	24	18-22
Емаль ЕП - 773	Зелений, кремовий	12-14	Р-5	24	18-22
Емаль ЕП - 773	Зелений, білий	12-16	Р-5	6	18-23

Для нанесення на труби епоксидних покриттів використовують порошкові фарби, що містять в своєму складі епоксидні смоли, затверджувач, активатор, пігмент, інертні наповнювачі та інші добавки. Процес нанесення епоксидного покриття містить наступні операції: абразивне очищення, технологічний нагрів труб до 220-230°C, напилення порошкової фарби за допомогою пістолетів-розпилювачів і затвердіння нанесеного захисного покриття. Основними виробниками трубних порошкових епоксидних фарб є: "ЗМ", "Jotun Powder Coatings Ltd.", "BASF Coatings", "Akzo Nobel Powder Coatings GmbH", "BS Coatings", "Kawakami Paint Mfg." та ін.

У таблиці 2.3 наведені рекомендовані типи епоксидних покриттів.

Типи епоксидних покриттів

Склад покриття	Кількість шарів	Товщина, мкм	
		Першого шару	загальна
Шпатлівка ЕП-0010	1	30-35	110-130
	2	30-35	120-140
	3	30-35	90-120
Емаль ЕП-773			
зелена	2	40-45	110-130
кремова	2	30-35	120-140

Розвиток та впровадження технології заводського двошарового покриття епоксидною ізоляцією, є одним з найперспективніших напрямків для протикорозійного захисту трубопроводів. Цей тип покриттів може бути використаний за будівництва морських, шельфових трубопроводів (зокрема й при виробництві теплоізольованих та бетонованих труб), при прокладанні газоопроводів на ділянках прокопів під дорогами, при будівництві методом похило-спрямованого буріння. Крім цього труби з двошаровим епоксидним покриттям можуть застосовуватись при будівництві промислових і технологічних трубопроводів, а також при прокладці магістральних газонафтопроводів діаметром до 820 мм.

#### **2.1.4 Технологічні особливості виготовлення тришарового покриття на основі рідкої епоксидної фарби**

Нанесення зовнішніх захисних покриттів на труби в заводських умовах здійснюється з використанням обладнання потокових механізованих ліній. До складу потокових ліній ізоляції труб входять: роликові транспортні конвеєри, перекладчики труб, вузли очищення (дробеметна або дробоструминна

установка), печі технологічного нагріву труб (індукційні або газові), вузол напилення порошкової епоксидної фарби, екструдери для нанесення адгезійного підшару і зовнішнього шару покриття, прикочуючі пристрої, камери водяного охолодження ізолюваних труб, обладнання для контролю якості покриття. Склад обладнання потокових ліній ізоляції труб залежить від типу заводського покриття і діаметрів ізолюваних труб.

Труби, які пройшли очистку направляються на установку, де безповітряним методом на них наноситься епоксидне покриття. Завантаження і відвантаження відбувається спеціальними захватами на торцях труби оскільки там покриття не наноситься для подальшого монтування. Труби розміщуються на стелажах де відбувається висихання першого шару покриття. По висиханню проводиться контроль однорідності і якості покриття, після чого труби відправляються на нагрів для подальшого нанесення адгезивного шару і, потім, поліетиленового.

Двошарове та тришарове поліетиленові покриття можуть наноситися на труби двома методами: методом "кільцевий" методом екструзії або бічної "плоскощільної" екструзії розплавів композицій адгезиву та поліетилену. Для труб малих і середніх діаметрів кращим способом нанесення покриттів є метод "кільцевої" екструзії. При цьому способі ізоляції на попередньо

очищені і нагріті до заданої температури (180-220 °C) труби, що надходять по лінії ізоляції без обертання, через подвійну кільцеву головку екструдера послідовно наносяться: розплав термоплавкої полімерної композиції (адгезійний підшар) і розплав поліетилену (зовнішній захисний шар). Між кільцевою головкою екструдера і ізолюваними трубами створюється знижений тиск ("вакуумування"), в результаті чого двошарове покриття щільно облягає поверхню ізолюваних труб по всій їх довжині і периметру. При нанесенні поліетиленового покриття за даної технології забезпечується найбільш висока продуктивність процесу ізоляції труб, яка може досягати 15-20 пог. м/хв.

При використанні методу бічної "плоскощілинної" екструзії двошарове поліетиленове покриття наноситься на обертові і поступально переміщувані по лінії труби з двох екструдерів (екструдер з нанесення адгезиву та екструдер з нанесення поліетилену), оснащених "плоскощілинними" екструзійними голівками. При цьому розплави і клейовий поліетиленової композицій у вигляді екструдованих стрічок намотуються по спіралі на очищені і нагріті до заданої температури труби з перекладанням в один (розплав адгезиву) або кілька (розплав поліетилену) шарів. Після нанесення на труби покриття накочуються до поверхні труб спеціальними роликками. Ізольовані труби надходять в тунель водяного охолодження, де покриття охолоджується до необхідної температури, а потім труби розганяються по лінії і за допомогою перекладчиків подаються на стелаж готової продукції. При даному способі ізоляції покриття може наноситися на труби діаметром від 57 до 1420 мм, а продуктивність процесу ізоляції, як правило, не перевищує 5-7 пог. м/хв.

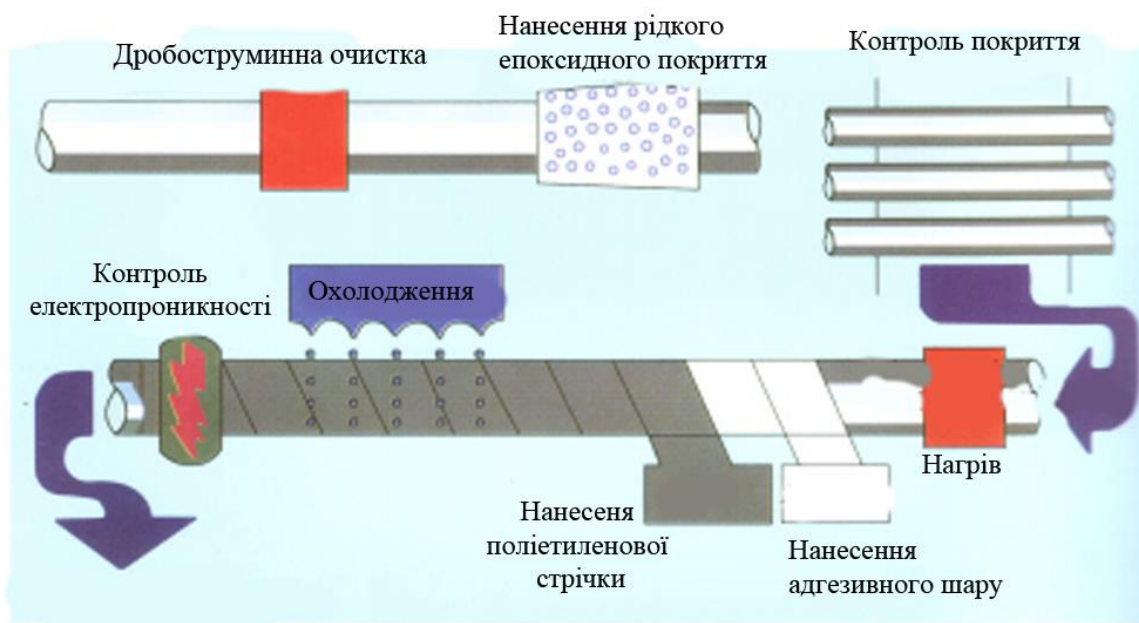


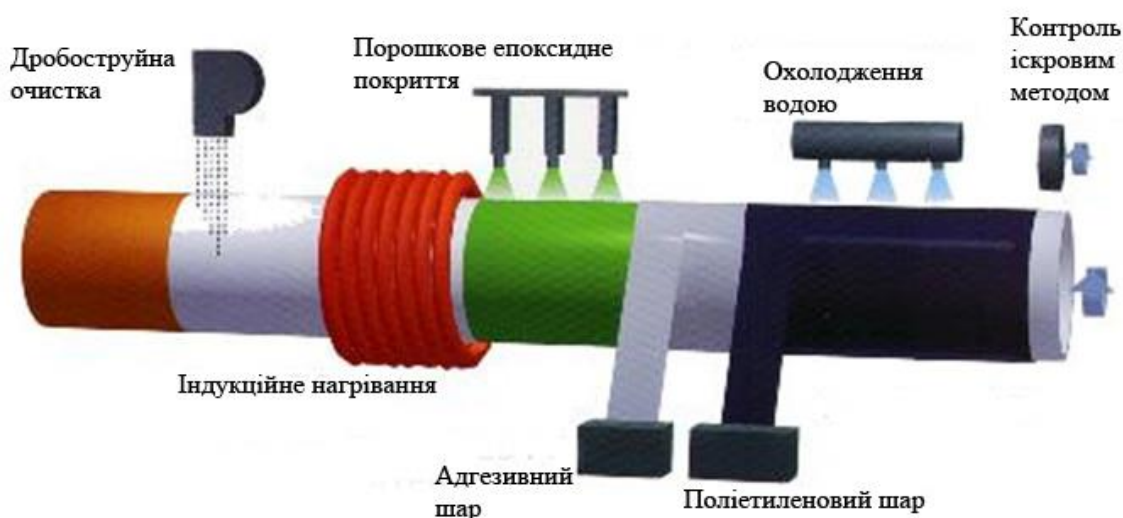
Рис. 2.1 Технологія нанесення тришарового покриття на основі рідкої епоксидної фарби



### 2.1.5 Технологічні особливості виготовлення тришарового покриття на основі порошкової фарби

При нанесенні зовнішніх епоксидних покриттів, труби, які пройшли абразивну очистку, нагріваються в прохідній печі до температури 200-240 °С, після чого на них в спеціальній камері, в електростатичному полі, проводиться напилювання порошкової епоксидної фарби. При контакті з гарячою поверхнею труб відбувається розплавлення і затвердіння епоксидної фарби, формування захисного покриття.

Технологія нанесення подальших шарів (адгезивного і стрічкового) аналогічна як і в попередньому розділі.



**Рис. 2.2. Технологія нанесення тришарового покриття на основі порошкової фарби**

### 2.1.6 Технологічні особливості виготовлення двошарового покриття

Нанесення на труби двошарового поліетиленового і двошарового поліпропіленового покриттів здійснюється за тією самою технологічною схемою, що і нанесення тришарового покриття, за винятком введення в технологічний ланцюжок додаткової операції - нанесення шару епоксидного праймера. Епоксидний праймер товщиною 80-200 мкм наноситься на очищені

і нагріті до необхідної температури труби методом наплення порошкової епоксидної фарби, після чого на праймовані труби послідовно наносяться розплави термоплавкої композиції адгезиву та поліетилену.

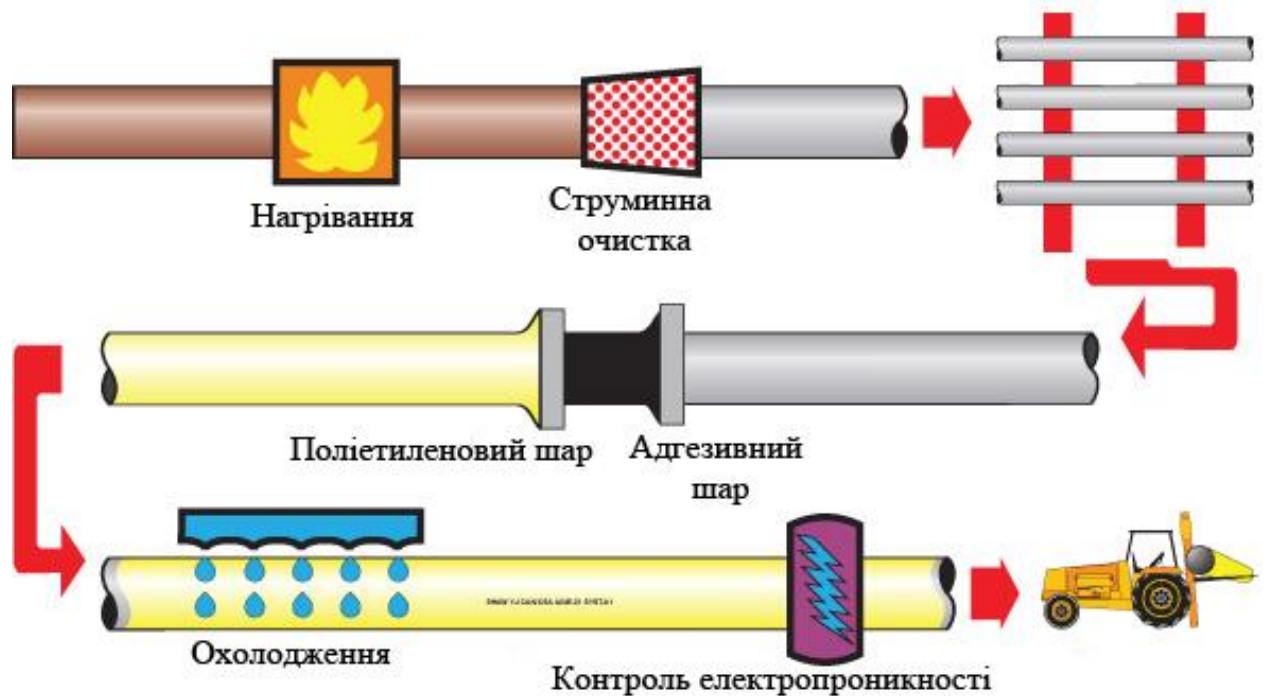


Рис. 2.3 Технологія нанесення двохшарового покриття

## 2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виробу.

### 2.2.1 Підготовка поверхні для нанесення епоксидних лакофарбових матеріалів

Для отримання лакофарбового покриття високої якості і підвищення строку служби велике значення має підготовка поверхні, яка включає видалення забруднень і надання їй пористості, або шорсткості.

В промисловості використовуються механічні і хімічні способи підготовки поверхні. Відомі наступні механічні способи: металопіскоструминна, дробоструминна, гідро піскоструминна обробка поверхні, обробка механізованим інструментом і вручну за допомогою

сталевих щіток, скребків, наждачного каменю і шкурки. До хімічних способів належать: обезжирювання, травлення, фосфатування, оксидування.

Одним з найбільш ефективних механічних способів підготовки до покраски поверхні чорних металів є піскоструминна обробка. В результаті обробки піском отримують добре очищену і рівномірно шорстку поверхню, яка сприяє добрій адгезії лакофарбового матеріалу до поверхні. На сьогоднішній день замість кварцового (який при роботі утворює шкідливий пил) металічний пісок, який отримують з сталевих дротів, або каленого чугуну. Рекомендований розмір зерен металевих пісків залежить від товщини стінки оброблюваного виробу і складає 0,6-0,8 мм при товщині стінок більше 5 мм і 0,2-0,4 мм при товщині стінок 2,5-5 мм. При використанні металічного піску з більшими частинками на обробленій поверхні утворюється наклеп, негативно впливаючий на лакофарбове покриття, а також перешкоджаючий утворенню фосфатної плівки. Для обробки металічним піском використовують такі ж апарати, як і при роботі з кварцевим піском, але тиск в апараті підвищують до 5,5-6 ат.

Також в деяких випадках, коли товщина стінки більше 5 мм крім піскоструминної і дробоструминної використовують дробометний спосіб очистки. При цьому дріб з різного матеріалу, в тому числі металічний поступає на лотки швидко обертового ротора і під дією центр обіжної сили викидається на очищувану поверхню з швидкістю до 5 м/с. Тривалість очистки в дробометній установці порівняно з піскоструминною очисткою скорочується в 3-4 рази, а вартість обробки знижується в 4-5 раз. Недоліком цього способу є швидкий знос лопаток, неприродність для обробки тонкостінних деталей і утворення на поверхні наклепу.

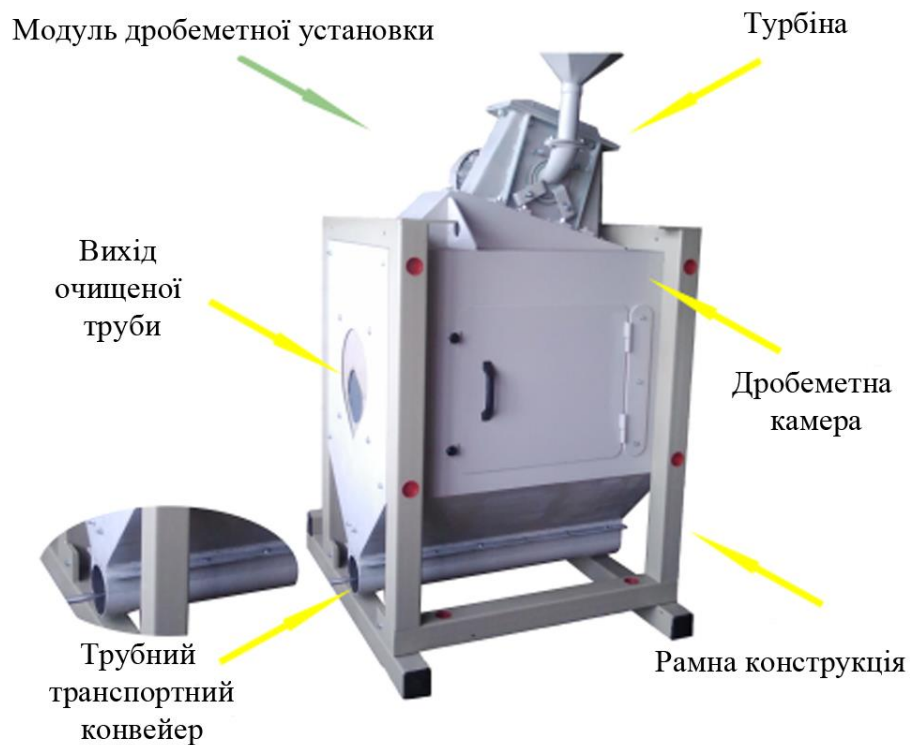


Рис. 2.4. Дробеметна установка для очистки труб

Поверхню кольорових металів металічним піском не обробляють, так як частинки чорного металу утворюють на поверхні ржавчину. Поверхню кольорових металів і сплавів піддають сухій обробці силуминовою дріббю, або крошкою фруктової кістки (розміром 0,5-1,0 мм).

Гідропіскоструминна обробка забезпечує хорошу якість підготовки металу під фарбування. Для обробки цим методом виробів з чорних металів використовується суміш з 30% кварцового піску і 70% води, а для виробів кольорового металу – 20% піску і 80% води. Цей спосіб обробки найбільш доцільно використовувати для обробки кольорових металів. Після обробки чорних металів цим способом на них швидко проходить процес окислення і на них появляється наліт. Для запобігання цьому, в суміш додають нітрит натрію (0,5-1,0%), хром ник (0,5%) і тринатрійфосфат (0,5-2,0%). Потім оброблену поверхню ретельно обробляють пасивуючим розчином.

При неможливості використовувати один з представлених методів використовують механізований інструмент – апарати з електричним, або пневматичний приводом. Робочою частиною в цих апаратах є сталеві щітки, наждачні круги, за допомогою яких видаляють дефекти після обробки деталей, продукти корозії, стару фарбу.

Метод очистки поверхні механізованим інструментом значно поступає про продуктивності обробки піскоструминним способом, але і він в 3-4 рази ефективніший за ручні обробку.

В останній час почали використовувати новий спосіб механізованої обробки поверхні за допомогою голкофрези. Швидкість обробки при цьому складає приблизно 120-150 м/хв., а глибина різання від 0,01 до 1 мм. Таким інструментом можна легко видалити тверду окалину. Хорошою стороною цього методу є висока продуктивність, хороша якість обробки, і відсутність пилоутворення.

### **2.2.2 Зжирювання поверхні труб перед фарбуванням**

В якості промислових розчинників для обезжирювання виробів використовують бензин Б-70, уайт-спірит і хлоровані вуглеводні (трихлоретилен). Обезжирювання в бензині і уайт-спіриті виконується послідовно в 2-3 ваннах, або вручну промивкою поверхні кистю, змоченою розчинником. При обезжирюванні уайт-спіритом використовують також струминні апарати.

Більш ефективний є обезжирювання в трихлоретилені, який не утворює в повітрі вибухонебезпечних сумішей і володіє високою розчинюючою здатністю. Процес обезжирювання в трихлоретилені може протікати в рідкій фазі і в парах, але через його токсичність необхідно користуватися спеціальним обладнанням.

Найбільш поширеним способом підготовки поверхні є обезжирювання з одночасним травленням в розчинах. Які містять травильні і обезжирюючі компоненти.

Одним з ефективних способів підготовки поверхні чорних металів є фосфатування – утворення на поверхні плівки водо нерозчинних фосфатів . Фосфатна плівка в сукупності з лакофарбовим покриттям забезпечують підвищену стійкість більш тривалий срок служби захисних покриттів. Фосфатування закладається в обробці поверхні виробу розчином фосфорнокислих солей в ваннах і струминних апаратах.

В промисловості фосфатування проводять при кімнатній (холодне фосфатування) чи підвищеній (гаряче фосфатування) температурі. Використовують також фосфатні пасти, які отримують шляхом змішування фосфатногорозчину з тальком (1:1). Процес холодного фосфатування протікає повільно, хороший результат досягається тільки при добрій попередній механічній очистці.

### **2.2.1. Підготовка епоксидних лакофарбових матеріалів**

Перед нанесенням епоксидних лакофарбових матеріалів додають затвердник, розбавляють до робочої в'язкості і фільтрують. В добре розмішану основу епоксидного лакофарбового матеріалу додають необхідну кількість затвердника, знову перемішують і вводять відповідний розчинник, в кількості, необхідній для розведення матеріалу з необхідною в'язкістю. Отриману суміш фільтрують через сітку 0,15.

Епоксидні лакофарбові матеріали після введення затвердника і розбавлення розчину до робочої в'язкості придатні до використання через 15-30 хвилин. Проготовлені матеріали мають обмежену життєздатність, тому їх необхідно готувати в кількості, яка буде використаною протягом однієї зміни.

### **2.2.2. Нанесення епоксидних лакофарбових матеріалів**

Основним методом нанесення епоксидних лакофарбових матеріалів є метод пневматичного розпилення. Також епоксидні лакофарбові матеріали наносять методом безповітряного розпилення та в електростатичному полі високої напруги.

Пневматичним напиленням та безповітряним можна наносити практично любі ґрунтівки, емалі і лаки. Нанесення покриттів цим способом, порівняно з покраскою кистю збільшує продуктивність праці і здійснити обробку виробів по I і II класам. Основним недоліком метода пневматичного розпилення є великий розхід лакофарбових матеріалів і тяжкі умови праці внаслідок великої кількості фарбового пилу і парів розчинника, які виділяються в процесі окраски.

Найбільш поширеним є метод безповітряного розпилення нагрітого до 70-100°C лакофарбового матеріалу під тиском 40-60 ат. Підігрів розпиляє мого матеріалу сприяє зниженню його в'язкості, щодозволяє використовувати більш в'язкі матеріали. При виході підігрітого лакофарбового матеріалу з сопла, тиск падає до атмосферного і відбувається миттєве випаровування деякої кількості розчинника, що сприяє дробленню фарби. При безповітряному розпиленні фарби отримується дрібнодисперсний факел з чіткими границями при незначному туманоутворенні. Порівняно з пневматичним розпиленням цей метод дає можливість скоротити розхід лакофарбових матеріалів, зменшити розхід розчинника, покращити якість покриття, підвищити продуктивність і покращити умови праці, а також зменшити тривалість циклу окраски (за рахунок отримання необхідної товщини покриття при меншій кількості шарів).

Так, наприклад, в установці УБР-2 попереднього нагріву (в межах 45 до 100°C) фарба подається до сопла при надлишковому до 60 ат. При розході

лакофарбового матеріалу 0,3-0,5 кг/хв. Отримують шар покриття товщиною 20-35 мк.

Методом безповітряного розпилення можна наносити лакофарбовий матеріал без підігріву, при цьому в установці підтримується більш високий тиск (140-250 кг/см<sup>2</sup>); в поєднанні з соплами спеціальної конфігурації такі установки забезпечують дрібнодисперсне розпилення лакофарбового матеріалу. Для цієї мети використовують установки УБРХ, УБРХЦ, «Факел», а також чеські Viza і шведську Ессо Hydric. Нанесення без підігріву епоксидних лакофарбових матеріалів з робочою в'язкістю 20-30 сек. Слідє виконувати при тиску 120-150 кгс/см<sup>2</sup> (установка Viza-1), а матеріалів з робочою в'язкістю 45-55 сек. і більше - при тиску 200-250 кгс/см<sup>2</sup> (установка Ессо Hydric) .

### **2.2.3. Сушка епоксидних лакофарбових матеріалів**

В залежності від рецептури епоксидні покриття висихають при кімнатній, або підвищеній температурах. Як правило, покриття нормальної сушки бажано піддавати додатковому обігріву., це сприяє покращенню фізико-механічних і електричних властивостей, а також підвищенню стійкості покриттів в різних умовах експлуатації.

Для природної сушки покриттів не передбачено які-небудь спеціальне обладнання. Якщо до виробів пред'являються жорсткі вимоги по зовнішньому вигляду, їх сушать в пилонепроникних шакалах з вільною чи примусовою циркуляцією повітря.

Сушку покриттів при підвищених температурах виконують в камерах конвекційного чи терморадіаційного типів. В конвекційних камерах вироби нагріваються гарячим повітрям і температура сушки в них звичайно не перевищує 200°С.



Найбільш ефективною є терморадіаційна сушка під дією інфрачервоних променів, які безпосередньо передають тепло від джерела до виробу. Джерелом терморадіаційного нагріву служать випромінювачі, виконані в виді панельних чи трубчатих нагрівних елементів, випромінювальна поверхня яких має 350-550°C.

Джерелами тепла можуть також служити електричні лампи розжарювання. Особливостями терморадіаційної сушки є велика швидкість теплопередачі, Тому форма виробів повина бути такою, щоби випромінювання перекривало всі частки виробу, в противному випадку залишаться недосушені частки поверхні.

### **2.3. Метод визначення складових ударної в'язкості**

Відомий простий і зручний метод визначення складових ударної в'язкості  $a_z$  і  $a_p$ , що характеризують затрати енергії відповідно на зародження і поширення тріщини. Стандартний зразок випробовують на ударну в'язкість з тензометруванням процесу ударного навантаження. Для цього в копрі стандартний ніж замінюють спеціальним, на який і наклеюють тензометричні датчики. Сигнал від тензодатчиків, пропорційний діючому зусиллю, проходить через підсилювач і поступає на осцилограф. В результаті записується осцилограма в координатах зусилля-час. Отримана осцилограма рис. 4 прямою, що проходить через максимальне значення ординати і є перпендикулярною до осі абсцис, розділяється на дві частини (I і II). Перша частина пов'язана з процесом пружної і пластичної деформації зразка до моменту появи тріщини, друга характеризує зміну зусилля в процесі поширення цієї тріщини. Затрати енергії, пов'язані з I і II частинами осцилограми і віднесені до площі нетто поперечного перерізу зразка є складовими ударної в'язкості  $a_z$  і  $a_p$ .

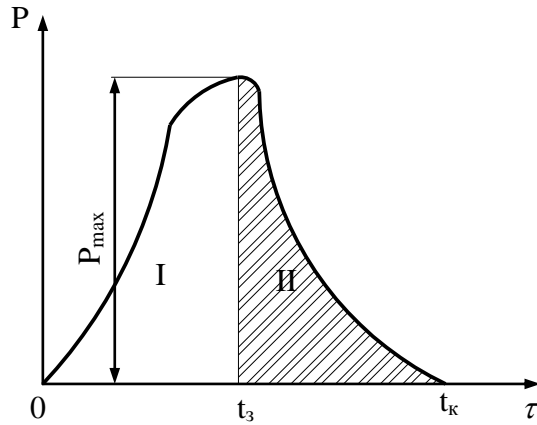


Рис. 2.5. Діаграма ударного навантажування

Згідно роботи [1], затрати енергії на деформацію зразка до зародження тріщини  $A_3$  можна визначити за формулою:

$$A_3 = \left[ v_0 - \frac{1}{2m} \int_0^{t_3} P(t) dt \right] \int_0^{t_3} P(t) dt$$

Де  $v_0$  - початкова (лінійна) швидкість удару;  $m$  – маса маятника;  $t_3$  - тривалість удару до моменту зародження тріщини.

Затрати енергії на поширення тріщини  $A_p$  відповідно рівні

$$A_p = \left[ v_0 - \frac{1}{2m} \int_{t_3}^{t_k} P(t) dt \right] \int_{t_3}^{t_k} P(t) dt$$

де  $v_3$  - швидкість маятника з моменту зародження тріщини;  $t_k$  - тривалість удару до моменту руйнування зразка.

Величини  $t_3$  і  $t_k$  визначають безпосередньо по осцилограмі. Початкову швидкість удару  $v_0$  обчислюють з виразу

$$v_0 = \sqrt{\frac{2A_{зан}}{m}}$$

Де  $A_{зан}$  - запас роботи маятника до моменту удару.

Величину  $v_3$  згідно з [2] можна обчислити за формулою:

$$v_3 = v_0 - \frac{1}{2m} \int_0^{t_3} P(t) dt$$

Вирази  $\int_0^{t_3} P(t)dt$  і  $\int_0^{t_k} P(t)dt$  є площами I і II частин осцилограм і легко

визначаються планіметруванням.

$$\text{Позначивши } \int_0^{t_3} P(t)dt = \Omega_3 \text{ і } \int_0^{t_k} P(t)dt = \Omega_p$$

З врахуванням (4) отримаємо:

$$A_3 = \left( v_0 - \frac{\Omega_3}{2m} \right) \Omega_3$$

$$A_p = \left( v_0 - \frac{\Omega_3}{m} - \frac{\Omega_p}{2m} \right) \Omega_p$$

Потрібно відмітити, що для визначення складових  $a_3$  і  $a_p$  можна обмежитись планітруванням лише однієї частини осцилограм і визначити лише одну з величин  $A_3$  або  $A_p$ . Інша величина знаходиться як різниця між показником шкали копра і знайденим значенням. Однак враховуючи, що при ударному навантаженні має місце втрата енергії (досягаючи, за даними [3 і 4], 6-7%), а також, що осцилограма включає лише частину цих втрат, вважаємо необхідним визначати  $A_3$  і  $A_p$  за формулами (5) і (6). Поділивши величини  $A_3$  і  $A_p$  на площу поперечного перерізу зразка, отримаємо значення  $a_3$  і  $a_p$ .

В цілому похибку визначення  $a_3$  і  $a_p$  по запропонованому методу визначається похибкою визначення  $v_0$ ,  $m$ ,  $\Omega_3$ ,  $\Omega_p$  і площі нетто поперечного перерізу зразка. Вказані величини можна знайти з достатньою точністю. Тому, точність визначення  $a_3$  і  $a_p$  є допустимою для практики.

Програма керування копром РКР та записування інформації випробувань «VUNI-CHARPY» дозволяє визначати складові енергії руйнування зразка з допомогою перетворення залежності навантаження-час ( $P-t$ ) у залежність навантаження – переміщення ( $P-s$ ).



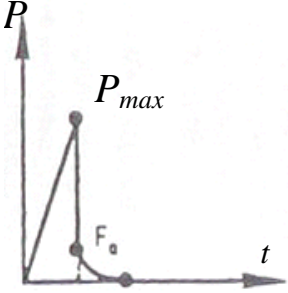
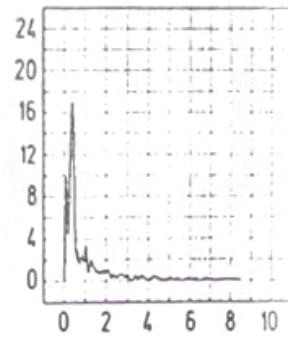
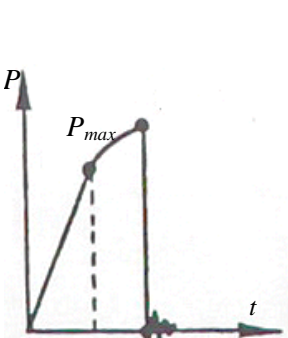
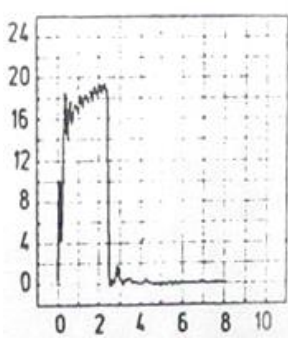
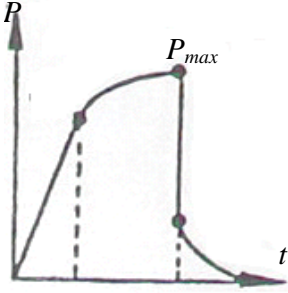
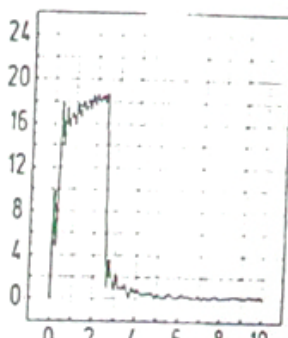
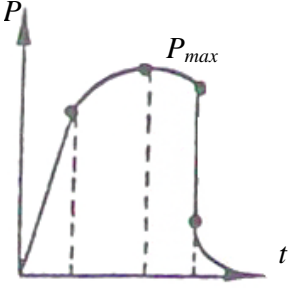
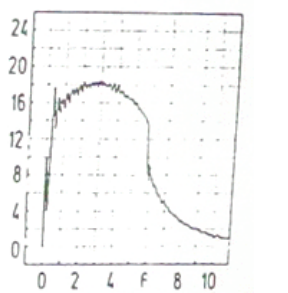
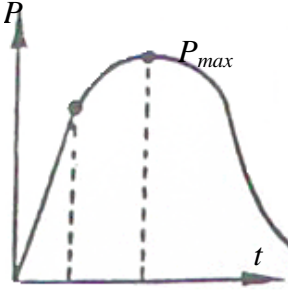
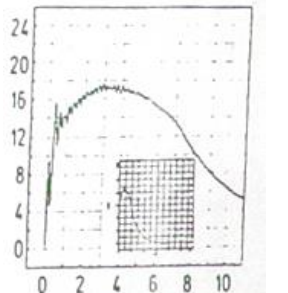
Рис. 2.6. Загальний вигляд копра РКР – 300

Запропонований метод, не вносячи суттєвих змін в схему випробувань, дозволяє визначати величини  $a_z$  і  $a_p$  на кожному зразку при стандартних випробуваннях на ударну в'язкість. Перевагою методу є також те, що він дозволяє одночасно визначати величину руйнівних навантажень  $P_{max}$ , який як показано в роботах [5, 6] має важливе значення при оцінці матеріалів ударному навантаженню.

Таблиця 2.2.

Схематизація та класифікація механізмів ударного руйнування за видом діаграми деформування зразка Шарпі

Схема діаграми	Приклад запису	Тип руйнування
		Крихке

		<p>Крихке із затупленням тріщини та утворенням зони зсуву</p>
		<p>Квазікрихке</p>
		<p>Квазікрихке із затупленням тріщини та утворенням зони зсуву</p>
		<p>В'язке із крихким підростанням тріщини</p>
		<p>В'язке</p>

### 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

Для фарбування виробів методом безповітряного напилення застосовують установки, в яких на відміну від обладнання пневматичного розпилення в один агрегат об'єднані фарборозпилювач і гідравлічний насос, що забезпечує подачу лакофарбового матеріалу під високим тиском.

В залежності від температури, при якій лакофарбовий матеріал подається на фарборозпилювач, установки розділяють на УБР без підігріву і УБР з підігрівом. Найбільше поширення в промисловості одержали УБР без підігріву. Порівняно з УБР з підігрівом вони дешевше і простіше в обслуговуванні, мають меншу масу і габаритні розміри, при їх застосуванні відсутні енергетичні витрати на підігрів лакофарбового матеріалу, крім того, вони можуть бути використані для розпилення лакофарбових матеріалів більш широкого асортименту. У свою чергу, при використанні УБР з підігрівом зменшуються втрати лакофарбових матеріалів (порівняно з розпиленням без підігріву — на 5-15%), поліпшується декоративний вигляд одержуваного покриття; крім того, з'являється можливість розпилювати лакофарбові матеріали при значно меншому тиску.

Лакофарбові матеріали наносять на поверхню виробів методом безповітряного розпилення, як і у випадку пневматичного розпилення, фарборозпилювачем, в голівку якого вбудовано розпилюючий пристрій. Пристрій має забезпечувати отримання дрібнодисперсного факела; витрата лакофарбового матеріалу (залежно від перерізу вихідного отвору) від 200 до 2000 г/хв; ширину відбитка факела на відстані 300-500 мм від фарбувальної поверхні розміром 100—500 мм.

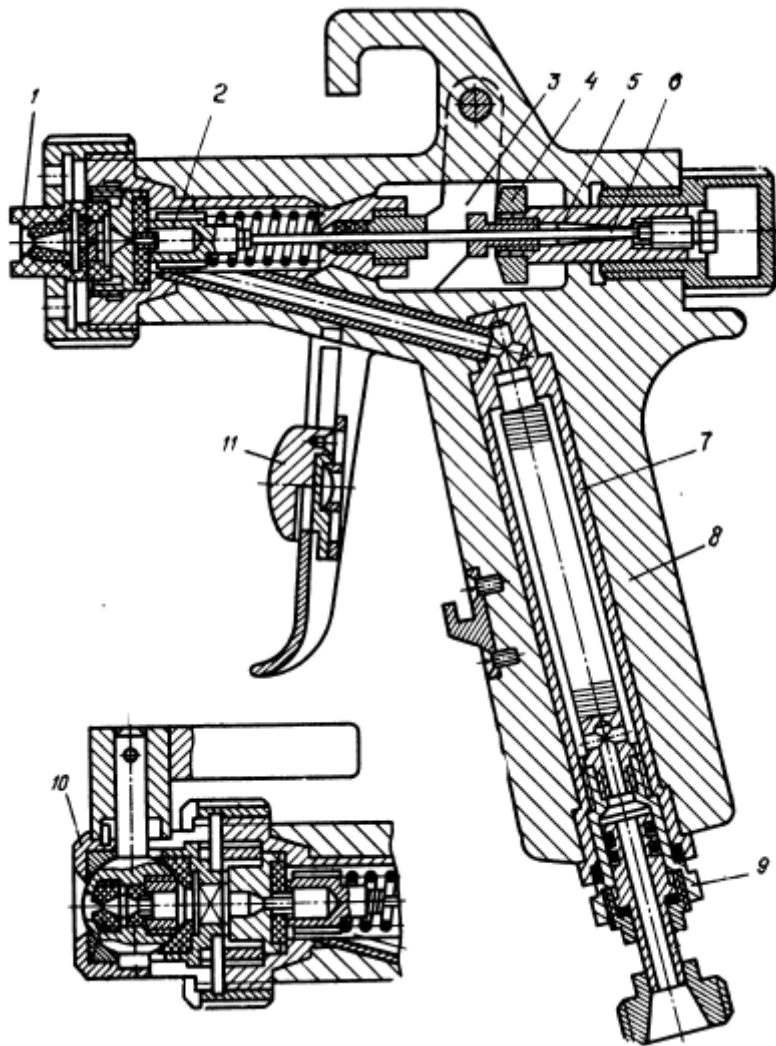


Рис. 3.1. Фарборозпилювач безповітряний КРБ-1: 1 – прилад розпилюючий, 2 – клапан, 3 – запірний прилад, 4 – упор, 5 – втулка, 6 – струна, 7 – фільтр, 8 – корпус, 9 – прилад поворотний, 10 – поворотна головка, 11 – пусковий гачок

Фарборозпилювач високого тиску КРБ-1 призначений для комплектації УБР, застосовуваних при нанесенні ненагрітих лакофарбових матеріалів з продуктивністю 0,3—2,0 кг/хв на один фарборозпилювач і тиском до

25 МПа. Фарборозпилювач випускають у двох виконаннях: I — без поворотної головки; II — з поворотною головкою для швидкої прочищення розпилюючої пристрою.

При натисканні на пусковий гачок 3 (рис. 3.1) останній повертається відносно осі і переміщує упор 4 і втулку 5 вздовж осі корпусу. Струна 6, закріплена в

цанзі, зв'язаною з втулкою, передає рух клапану 2, який стискає пружину і відкриває отвір в сідлі. Через цей отвір лакофарбовий матеріал надходить до распилюючому пристрою. При знятті прикладеної сили з курка клапан повертається у вихідне положення за рахунок стиснення пружини. При цьому отвір сідла перекривається доступ лакофарбового матеріалу до распилюючого пристрою припиняється.

На пусковому гачку розміщено запірний пристрій, призначений для оберігання від відкривання клапана при випадковому натиску на курок при заміні сопла, а також для запору пускового гачка в робочому положенні при фарбуванні рівних великих поверхонь та при промиванні установки. Прочищення сопла здійснюється за рахунок тиску лакофарбового матеріалу при повороті держателя на  $180^\circ$  відносно вертикальної осі в положення, протилежне тому, яке займає распилюючий пристрій при розпиленні). Поворот проводиться за допомогою важеля, закріпленого зверху на тримачі.

### **3.2. Установки безповітряного розпилення з підігрівом**

Для більш дрібного розпилювання лакофарбових матеріалів підвищеної в'язкості та отримання покриття високої якості в установках безповітряного розпилення може бути виконаний підігрів матеріалів до температури, близької до кипіння розчинників. Завдяки цьому легколетуча частина розчинників на виході лакофарбового матеріалу з сопла майже миттєво випаровується, що супроводжується величезним збільшенням об'єму (1500-1800 разів) і додатково сприяє кращому подрібненню матеріалу. Утворений факел розпорошеного лакофарбового матеріалу при цьому чітко окреслений і майже не утворює барвистого туману. У промисловості використовують установки УБР-3 безповітряного розпилення з підігрівом. Установка УБР-3 має насос високого тиску з пневмоприводом, клапанним механізмом і механізмом перемикання клапанів, фільтр тонкою очищення, блок клапанних коробок з охолоджувачами, електронагрівач лакофарбового матеріалу з регулятором температури, клапан для продувки сопел і фарборозпилювач високого тиску



КРВД-10Ф. Установка комплектується всмоктуючим шлангом з фільтром грубого очищення і здвоєними шлангами високого тиску, за яким лакофарбовий матеріал подається в фарборозпилювач і повертається (невитрачений) назад. Всі частини установки змонтовані на каркасі пересувної триколісній візку і закриті кожухом. Спереду на нахиленій частині кожуха закріплена панель управління з контрольно-вимірювальною апаратурою та приладами автоматичного регулювання.

Лакофарбовий матеріал (рис. 3.2) з ємності 12, який подається насосом 9, проходить через фільтр тонкої очистки 8, акумулятор 5, клапанну коробку 20 циркуляційного насоса 18, електронагрівач 3 з терморегулятором 2 і по підходящому шлангу надходить до фарборозпилювача. Звідти по відводячому шлангу лакофарбовий матеріал знову проходить через клапанну коробку 20 в буферні ємності 19, робочі циліндри циркуляційного насоса 18 і повертається назад у ємність 12.

Таким чином, вся система заповнюється холодним лакофарбовим матеріалом без тиску. Незначна частина лакофарбового матеріалу проходить через калібрований отвір перепускного клапана 7 і зливається назад у ємність 12, що забезпечує постійну циркуляцію лакофарбового матеріалу в системі.

Після перекривання вентилів високого тиску і відкривання вентиля перепускного клапана 7 в системі починає підвищуватися тиск лакофарбового матеріалу. Так як тиск лакофарбового матеріалу в робочих циліндрах циркуляційного насоса 18 однаковий і рівний тиску лакофарбового матеріалу в установці, шток стає врівноваженим. При русі штока частина лакофарбового матеріалу витісняється з однієї буферної ємності 19 і через клапанну коробку 20 і електронагрівач потрапляє в краскопульт 1.

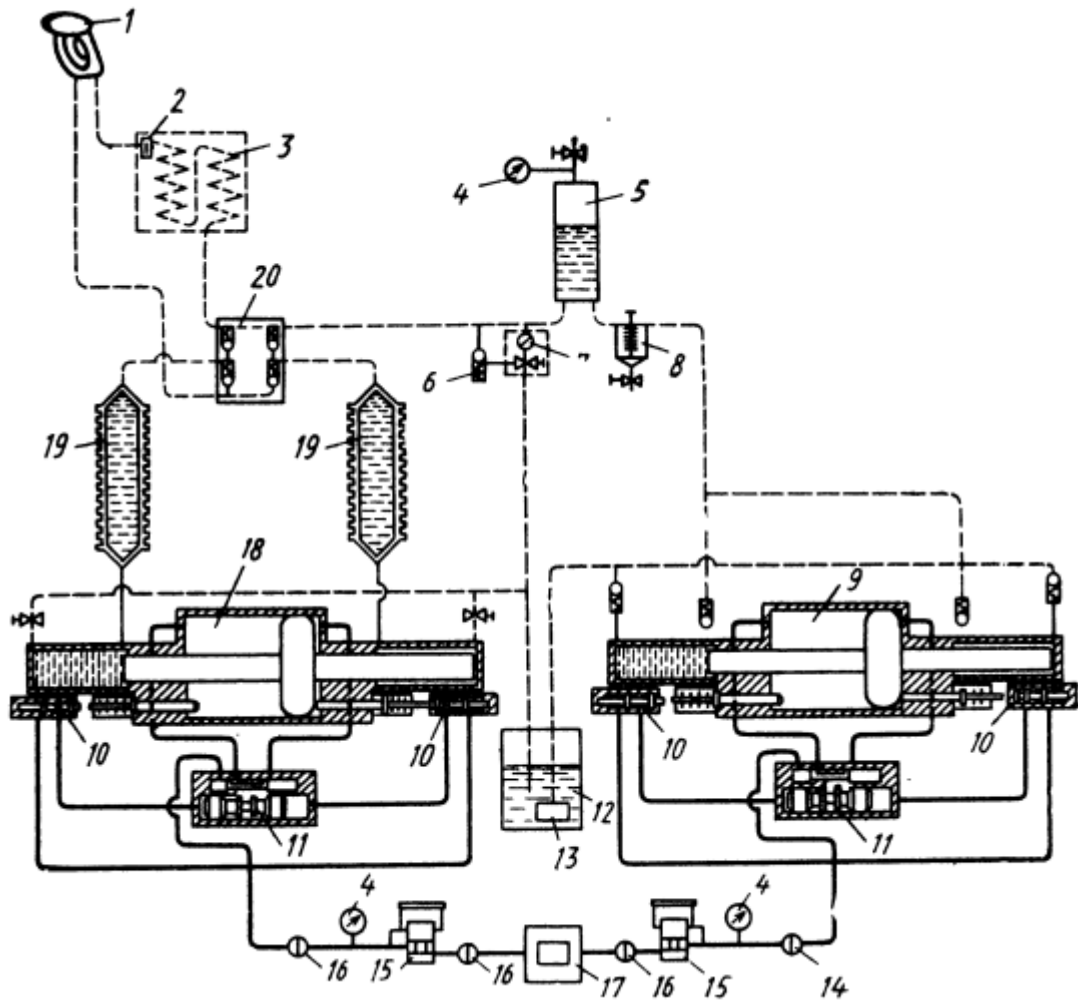


Рис. 3.2. Схема установки безповітряного розпилення лакофарбових матеріалів з підігрівом: 1 – фарборозпилювач, 2 – терморегулятор, 3 – електронагрівач, 4 – манометри, 5 – акумулятор, 6 – запобіжний клапан, 7 - перепускний клапан, 8 – фільтр тонкої очистки, 9 – насос, 10 – трьохходові клапани, 11 – повітрерозподілювач, 12 – ємність для лакофарбового матеріалу, 13 – втягуючий фільтр, 14 – масло розподілювач, 15 – регулятори тиску, 16 – крани, 17 – вологовідділювач. 18 – циркуляційний насос, 19 – буферні ємності, 20 – клапанна коробка циркуляційного насоса.

Одночасно такий же обсяг лакофарбового матеріалу подається по відводящому шлангу від фарборозпилювача через клапанну коробку в другу буферну ємність і робочий циліндр циркуляційного насоса. При зворотному ході штока цикл повторюється. Таким чином здійснюється циркуляція підігрітого лакофарбового матеріалу під робочим тиском в замкнутому

контури: клапанна коробка — електронагрівач- фарборозпилювач- клапанна коробка. При відкритому клапані фарборозпилювача підігрітий лакофарбовий матеріал під робочим тиском викидається через сопло в атмосферу.

### **3.3. Насоси високого тиску**

В установках безповітряного розпилення в основному використовують насоси високого тиску диференціальної дії з пневмоприводом і насоси високого тиску подвійної дії з пневмоприводом.

Насос високого тиску диференціальної дії з пневмоприводом (рис. 3.3) працює наступним чином. Стиснене повітря з магістралі через редуктор тиску і пусковий кран подається в поршневий простір циліндру 6. Якщо перепускні клапани 7, закріплені на перекладині, закриті, а вихлопні 9 відкриті, поршень переміщається вгору до тих пір, поки механізм перемикавання 10 не закриє вихлопні клапани та відповідно не відкриє перепускні. При цьому стиснене повітря заповнює об'єм над поршнем, який рухається вниз. При русі плунжера 3 насоса вгору в порожнині циліндра 2 над всмоктуючим кульковим клапаном 1 створюється розрідження, кулька піднімається, подаючи лакофарбовий матеріал з верхньої частини порожнини циліндра при закритому перепускному кульковому клапані 4 в шланг високого тиску до фарборозпилювача. При русі плунжера униз всмоктувальний клапан закривається, а перепускний відкривається. При цьому відбувається витіснення лакофарбового матеріалу з обох порожнин і нагнітання його до фарборозпилювача.

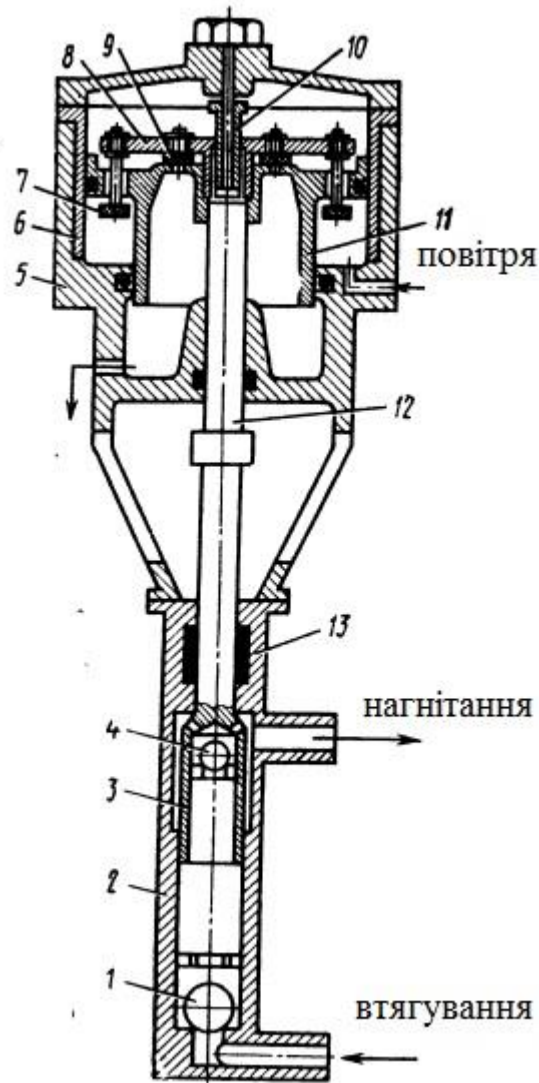


Рис. 3.4 Насос високого тиску диференційної дії з пневмоприводом:

1 – шариковий клапан, 2 – циліндр насоса, 3 – ступінчатий плунжер, 4 – шариковий клапан перепускний, 5 – корпус пневматичного приводу, 6 – циліндр, 7 – клапан перепускний, 8 – клапанний механізм, 9 – клапан вихлопний, 10 – механізм перемикавання клапанів, 11 – поршень, 12 – шток направляючий, 13 – ущільнення

Таким чином лакофарбовий матеріал всмоктується тільки при русі плунжера вгору, а нагнітається — при русі плунжера як вгору, так і вниз. Тиск на лакофарбовий матеріал змінюють регулятором тиску при зміні тиску стисненого повітря, що надходить у пневмопривід.

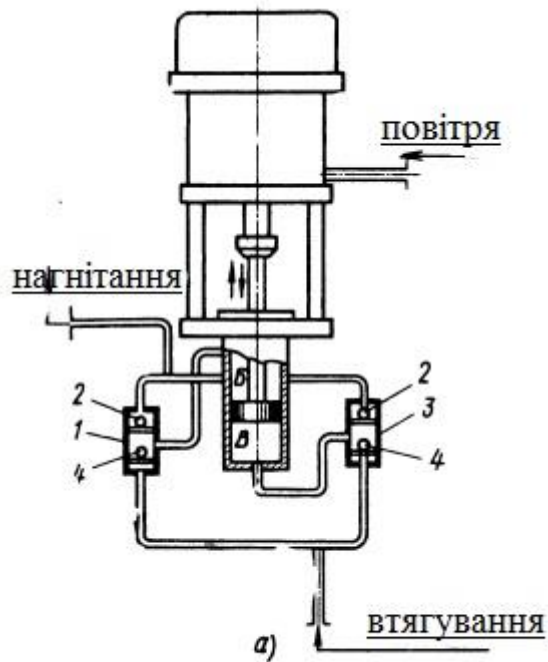


Рис. 3.5 Схема насоса високого тиску подвійної дії з пневмоприводом

У деяких установках безповітряного розпилення використовують насос високого тиску подвійної дії, який забезпечує як нагнітання, так і всмоктування при кожному з ходів плунжера (рис. 3.5). Клапанний пристрій, призначений для забезпечення роботи такого насоса при втягуванні і нагнітанні лакофарбового матеріалу, винесено за межі циліндра насоса 6 і складається з двох клапанних блоків 1 і 3, з'єднаних між собою, з верхньої і нижньої порожниною циліндра, а також з всмоктуючою 7 і нагнітаючою 5 магістраллю установки. Кожен з клапанних блоків представляє собою металевий корпус, всередині якого розміщено всмоктуючий 4 і нагнітальний 2 кулькові клапани. При русі плунжера насоса вгору відкривається всмоктуючий клапан 4 блоку 3 і лакофарбовий матеріал засмоктується в порожнину В. Одночасно в порожнині Б відбувається стиснення і лакофарбовий матеріал через нагнітальний клапан 2 блоку під високим тиском подається в фарборозпилювач. При русі плунжера вниз стиск відбувається в порожнині, в результаті чого в блоці 3 закривається всмоктуючий клапан 4 і, навпаки, відкривається нагнітальний клапан 2. В той

же час через всмоктуючий клапан 4 блоку 1 відбувається заповнення порожнини Б.

### **3.4 Установа для антикорозійного покриття УНП2-7-65 безповітряним методом.**

Установа призначена для підготовки (розігрів, транспортування, дозування) компонентів епоксидного покриття, які швидко затвердівають, змішування компонентів і нанесення фарби на металеві поверхні для захисту їх від корозії. Установа може бути використана для нанесення покриття на поверхню газових труб, запірної арматури (засувки, вентилі тощо) та інших об'єктів.

Таблиця 3.1 Технічні характеристики УНП2-7-65

Продуктивність, кг/хв.	5-7
Об'ємне співвідношення компонентів (смола/ затвердник):	100:73,3
Температура компонентів при подачі в фарбопульт, °С:	65±5
Напруга живлення трьохфазне, В, Гц	380±45, 50±1
Максимальна споживана потужність, кВт:	24
Тиск повітря на вході в установку, МПа:	0,5±0,1
Розхід повітря, м <sup>3</sup> /хв., не більше:	0,5
Габарити блоку підготовки компонентів, мм:	
Довжина	1130
Ширина	680
Висота	1495
Маса, кг : Установки	350

Блоку підготовки компонентів	250
------------------------------	-----

### 3.5. Автоматичний розпилювач Iwata AL-96 S5

Автоматичний розпилювач Iwata AL-96 S5 працює при максимальному тиску лакофарбових матеріалів 250 бар (25000 кПа). Також до нього під'єднується живлення повітря з тиском 4,0-7,0 бар для управління подачею фарби за допомогою електромагнітного клапану. Розпилення фарби здійснюється на відстані 30-50см від поверхні.

Таблиця 3.2 Технічні характеристики автоматичного розпилювача

Максимальний тиск	250 бар (3600 Па)
Максимальний тиск повітря	7,0 бар (100 Па)
Рівень шуму	62,9 дБ
Температура:	
атмосфери	5 – 40°C
Повітря і матеріалу	5- 60°C

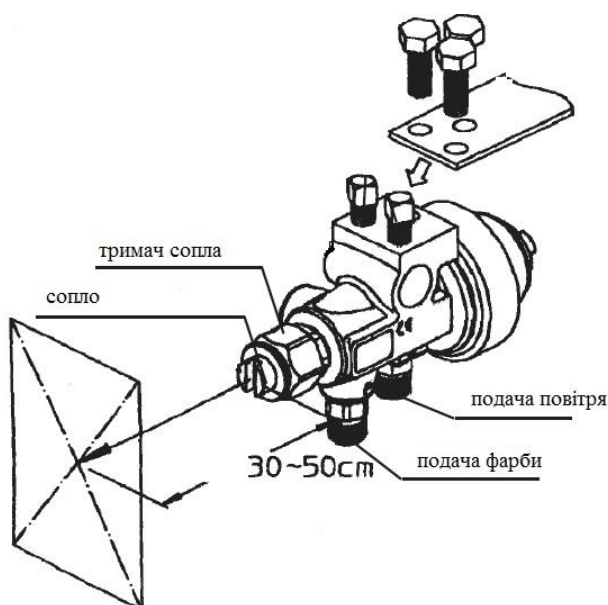


Рис. 3.6 Автоматичний розпилювач Iwata AL-96 S5

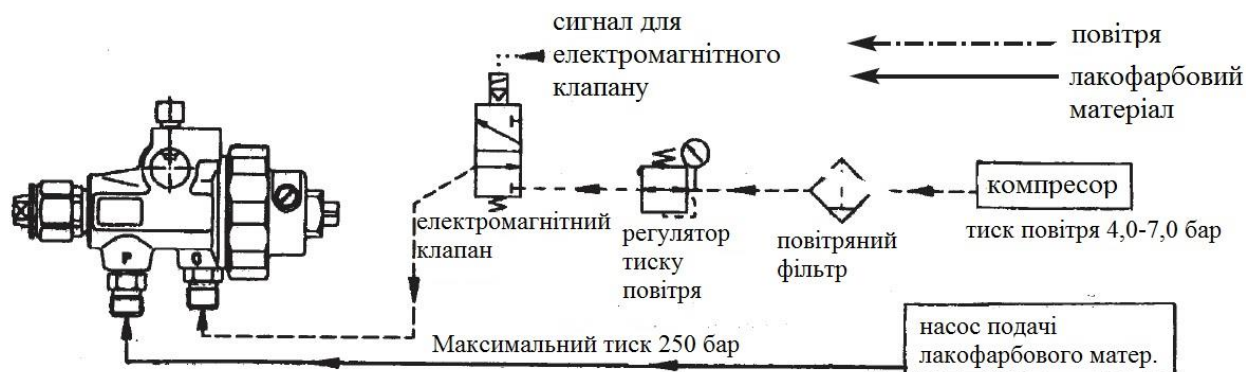


Рис. 3.7 Підключення автоматичного розпилювача Iwata AL-96 S5.

### 3.6. Мікроконтроллер ОВЕН ПЛК110-32

Таблица 3.3 Характеристики ОВЕН ПЛК110-32

Характеристика	ОВЕН ПЛК110-32
Процессор	RISC-процесор, 32 розряди, 400МГц
Об'єм і тип оперативної пам'яті	16, SDRAM
Кількість дискретних входів швидких	18 2
Кількість дискретних виходів швидких	14 4
Інтерфейси зв'язку:	
RS-485	ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON, ОВЕН
RS-232	ModBus-RTU, ModBus-ASCII, DCON, ОВЕН
RS-232 Debug	DCON, ОВЕН
Ethernet 100 Base-T	ModBus-TCP, TCP-IP, UDP-IP
USB Device	CDC
USB Host	USB Flash



### 3.7. Розрахунок параметрів автоматизації процесу фарбування

Автоматизація процесів фарбування досягається застосуванням різних засобів пересування розпилювачів (пневматичних, безповітряних) та фарбованого виробу з автоматичним режимом роботи розпилювачів і механізмів, що беруть участь при фарбуванні, і приладів.

Пневморозпилювання є найбільш поширеним в промисловості і доступним методом для механізації і автоматизації процесу як при проектуванні фарбованих відділень і цехів, так і при реконструкції тих, що існують.

Вибір типу фарборозпилювача і діаметру матеріального сопла залежить від ширини відбитку факела, що знаходиться в прямій залежності від продуктивності розпилювача. Оптимальний режим визначається формою факела, що утворюється розпилювальною головкою, робочим тиском і в'язкістю лакофарбного матеріалу, по яких знаходять основний параметр автоматичного фарбування — ширину факела при робочому стані головки розпилювача від пофарбованої поверхні (табл.3.4).

Таблиця 3.4. Продуктивність фарборозпилювача залежно від діаметру сопла

Діаметр вихідного отвору сопла, мм	В'язкість по віскозиметру ВЗ-4,с					
	11-20		20-30		30-40	
	Витрата фарби, г/хв, при тиску на фарбу, кгс/см <sup>2</sup>					
	0,5-0,7	0,8-1,0	0,5-0,7	0,8-1,0	0,5-0,7	0,8-1,0
1,5	420	590	320	450	250	350
1,8	500	650	410	530	340	440
2,0	560	700	470	590	400	500
2,2	620	750	530	650	460	560
2,5	70	830	620	730	550	650

При будь-якій вибраній схемі автоматичного фарбування визначальним параметром, що впливає на якість роботи, є крок фарбування, що знаходиться в прямій залежності від розмірів факела. Для автоматичного фарбування по різних схемах раціонально використовувати плоский факел.

Щоб отримати суцільне і рівномірне по товщині покриття, розпилювач повинен переміщатися вздовж і поперек виробу, фарбуючи смугу шириною, рівній ширині  $K$  плоского факела розпилювача. Потім розпилювач або фарбований виріб повинні переміститися на величину кроку фарбування для подальшої смуги.

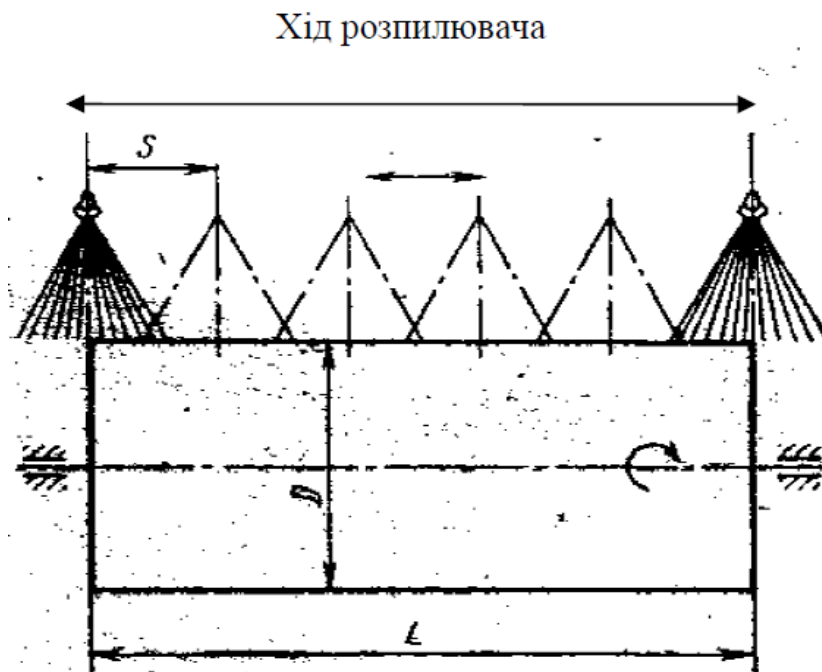


Рис. 3.9. Ілюстрація переміщення сопла фарборозпилювача вздовж циліндричної заготовки (труби).

Для розрахунку швидкостей переміщення фарборозпилювача і фарбованого виробу, а також частоти обертання циліндрів, барабанів і інших гладких тіл обертання, при автоматичному фарбуванні застосовується коефіцієнт швидкості  $C$  (співвідношення продуктивності фарборозпилювача  $Q_k$  в г/хв до витрати лакофарбного матеріалу) на  $1\text{ м}^2$  фарбованої площі  $q$  в  $\text{г/м}^2$ ). Значення коефіцієнта швидкості  $C$  приведені в табл.3.5

Таблиця 3.5 Значення коефіцієнта швидкості С

Витрата лакофарбового матеріалу на 1 м <sup>2</sup> , г	Значення С, м <sup>2</sup> /хв, при продуктивності фарборозпилювача , г/хв..												
	250	300	335	385	415	465	500	550	585	635	665	750	835
60	4,2	5,0	5,6	6,4	6,9	7,8	8,3 5	9,1 5	9,7	10	11	12, 5	13, 9
65	3,8 5	4,6	5,1	5,9	6,4	7,2	7,7	8,5	9,0	9,75	10	11, 5	12, 8
70	3,6	4,3	4,8	5,5	5,9 5	6,7	7,1 5	7,8 5	8,3 5	9,0	9,5	10, 7	11, 9
75	3,3	4,0	4,4 5	5,1	5,5 5	6,2	6,7	7,3	7,8	8,45	8,9	10	11, 1
80	3,1	3,5	4,2	4,8	4,9	5,8	6,2 5	6,9	7,3	7,9	8,3	9,3 5	10, 4
85	2,9	3,5	3,9	4,5	4,6	5,5	5,9	6,5	6,8 5	7,45	7,8 5	8,8	9,8
90	2,8	3,3	3,7	4,2 5	4,4	5,2	5,5 5	6,1	6,5	7,0	7,4	8,3	9,2 5
95	2,6	3,1 5	3,5	4,0	4,2	4,9	5,2 5	5,8	6,1 5	6,65	7,0	7,9	8,8
100	2,5	3,0	3,3	3,8	3,8	4,7	5,0	5,5	5,8	6,3	6,6	7,5	8,3
110	2,3	2,7	3,0	3,5	3,6	4,2	4,5 5	5,0	5,8	5,7 5	6,0	6,8	7,6
120	2,1	2,5	2,8	3,2	3,4 5	3,9	4,2	4,6	4,8 5	5,3	5,5	6,2	6,9 5
130	1,9	2,3	2,6	2,9	3,2	3,6	3,8	4,2	4,5	4,85	5,1	5,8	6,4
140	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	4,1 5	4,15	4,7 5	5,3 5	5,9 5
160	1,6	1,9	2,1	2,4	2,6	2,9	3,1	3,4	3,6	3,95	4,2	4,7	5,2
180	1,4	1,7	1,8 5	2,1	2,3	2,6	2,8	3,0	3,2	3,5	3,7	4,2	4,6
200	1,2 5	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7 5	2,9	3,15	3,3	3,7 5	4,1 5
230	1,1	1,3	1,4 5	1,6 5	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,75	2,9	3,2 5	3,6
250	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6 5	1,8 5	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6 5	3,0	3,3

Можливі різні схеми автоматичного фарбування: при безперервному русі фарбованого виробу і реверсивному (упоперек виробу) руху розпилювача; при статичному положенні виробів і одночасному реверсивному і подовжньому русі розпилювача: фарбування тіл обертання (циліндрів, барабанів, і еластичних матеріалів, розтягнутих на барабані); фарбування конусоподібних виробів. Розрахунки оптимальних режимів автоматичного фарбування одної зі схем приведені в табл.3.6

Таблиця 3.6. Параметри автоматичного фарбування циліндрів, труб і інших тіл обертання

Параметр	Позначення	Визначення
Ширина факела фарборозпилювача, м	K	Згідно характеристик фарборозпилювача
Продуктивність розпилювача при певному діаметрі сопла і робочої в'язкості матеріалу, г/хв	$Q_k$	По табл. 3.1
Габаритні розміри фарбованого виробу, м: Діаметр довжина	D L	По кресленню виробу
Площа зовнішньої поверхні циліндра, м <sup>2</sup>	F	$F=pDL$
Витрата лакофарбового матеріалу на 1 м <sup>2</sup> фарбованої поверхні, г/м <sup>2</sup>	q	По нормативах витрати лакофарбових матеріалів
Крок фарбування, м	S	$S=0,7K$
Час одного проходу фарборозпилювача, хв	t	$t = \frac{Fq}{Q_k}$

Коефіцієнт швидкості, м <sup>2</sup> /хв	C	$C = \frac{Q_k}{q}$ (табл. 3.4)
Швидкість руху фарборозпилювача, м/хв	$V_p$	$V_p = \frac{C}{\pi D}$
Частота обертання циліндра при фарбуванні, об/хв	n	$n = \frac{V_p}{S}$

Примітка: При збільшенні числа обертів циліндра і постійної швидкості фарборозпилювача зменшується крок фарбування  $S$ . Збільшення числа обертів повинне бути кратним розрахунковому значенню  $n = \frac{V_p}{S}$ , тобто  $2n, 3n, 4n$  і т.д. Інакше отримується нерівномірне по товщині покриття.

### 3.8 Приклад розрахунку

Потрібно пофарбувати в автоматичному режимі зовнішню поверхню труби діаметром  $D=1,2$ м і довжиною  $L=3$ м. Фарбування ведеться при рівномірному пересуванні фарборозпилювача уздовж осі труби. Труба при фарбуванні обертається. Для фарбування вибираємо фарборозпилювач з дистанційним управлінням Iwata AL-96 S5.

1. По табл. 3.4 визначаємо продуктивність фарборозпилювача по заданих параметрах (тиск фарби, в'язкість, матеріал і т.д.)  $Q_k = 500$ г/хв.

По характеристики фарборозпилювача визначаємо ширину вщбитку факела  $K=0,3$  м. Витрата емалі на  $1 \text{ м}^2$  фарбованої площі, залежно від вимог до пофарбованої поверхні вибираємо  $q = 200$ г/м<sup>2</sup>.

2. Визначаємо крок фарбування:

$$S=0,7 \cdot K=0,7 \cdot 0,3=0,21 \text{ м.}$$

3. По продуктивності фарборозпилювача і витраті емалі на  $1 \text{ м}^2$  пофарбованої площі (див табл. 2) знаходимо  $C=2,5$ .
4. Час фарбування труби за один прохід фарборозпилювача

$$t = \frac{F_q}{Q_k} = \frac{3,14 \cdot 1,2 \cdot 3 \cdot 200}{500} = 4,2 \text{ хв}$$

5. Визначаємо швидкість руху фарборозпилювача

$$V_p = \frac{C}{\pi D} = \frac{2,5}{3,14 \cdot 1,2} = 0,66 \text{ м/хв}$$

6. Визначаємо частоту обертання труби при забарвленні

$$n = \frac{V_p}{S} = \frac{0,66}{0,21} = 3,1 \text{ об/хв}$$

Таблиця 3.7 Розрахунок параметрів фарбування для сортamentів труб різних діаметрів.

Діаметр, мм	Час фарбування, хв	Швидкість обертання, об/хв.	Швидкість подачі, м/хв
250	1,885	3,183	15,158
1020	7,691	0,78	3,715
1420	12,064	0,497	2,368

### 3.8. Розрахунок частоти обертання двигуна АІР 132 М8

Для даної установки було вибрано 8-полюсний асинхронний двигун потужністю 5,5 кВт з максимальною частотою обертання валу 750 об/хв..

Таблиця 3.8 Характеристики асинхронного двигуна АІР 132 М8 (5,5/750)

Характеристика	Значення
Потужність двигуна	5,5
Обороти двигуна, об/хв.	750
Діаметр вала, мм	38
Номінальні оберти, об/хв.	715
Висота осі обертання, мм	132
Напруга, В	380/660

КПД, %	80,9
Коефіцієнт потужності, $\cos\phi$	0,74
Номинальний струм, $I_n$ при $U=380V$ , А	14,7
Співвідношення пускового струму до номінального, $I_{пуск}/I_{ном}$	5,6
Співвідношення максимального обертового моменту до номінального $M_{мах}/M_{ном}$ ,	2,1
Маса двигуна, кг	38
Число полюсів	8
Степінь захисту	IP54

При передаточному відношенні редуктора  $u=80$  і необхідних обертах заготовки наведених в таблиці 3.7 знаходимо оберти двигуна:

$$n_1 = 80 \cdot 3,183 = 254,64 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = 80 \cdot 0,78 = 62,4 \text{ об/хв}$$

$$n_3 = 80 \cdot 0,497 = 39,76 \text{ об/хв}$$

Оскільки при максимальній частоті струму 50Гц двигун розвиває 750 об/хв., знаходимо частоти, необхідні для заданої швидкості обертання заготовок. Спочатку знаходимо співвідношення швидкості обертання до частоти струму:

$$K = \frac{50}{750} = 0,067$$

K- безрозмірний коефіцієнт

$$f_1 = 254,64 \cdot 0,067 = 17,06 \text{ Гц}$$

$$f_2 = 62,4 \cdot 0,067 = 4,18 \text{ Гц}$$

$$f_3 = 39,76 \cdot 0,067 = 2,66 \text{ Гц}$$

В програмі частота струму задається в відсотковому співвідношенні до максимальної частоти (50 Гц):

$$f_{\%1} = \frac{17,06}{50} \cdot 100 = 34,12\%$$

$$f_{\%2} = 8,36 \cdot 100 = 8,36\%$$

$$f_{\%3} = \frac{5,32}{50} \cdot 100 = 5,32\%$$



## 4. НАУКОВА ЧАСТИНА

### 4.1. Автоматизоване визначення фрактальної розмірності

Теорія фракталів забезпечила поглиблення розуміння і інтерпретації багатьох емпіричних моделей, що були обґрунтовані раніше, до її виникнення. Вона також відкрила певні перспективи для створення та розвитку 2-D та 3-D методів інтерпретації фрактографічних характеристик на основі оцінюванні зміни фрактальності на різних масштабних рівнях.

Це особливо важливо для обчислювальної автоматизації оброблення зображень одержаних оптичним методом та методами скануючої мікроскопії, з огляду на можливість одержання та накопичення даних про топографічні характеристики руйнування і створення моделей руйнування епоксидних композитів. Спочатку фрактали використовували як особливий розділ геометрії [2, 5, 8]. Проте, на відміну від звичайних евклідових об'єктів геометрії (кіл, ліній, і т. ін.), їх не можливо відразу ж спостерігати та обчислювати безпосередньо на діагностичному об'єкті.

Це зумовлено тим, що фрактали - це є набором первинних геометричних фігур, швидше це сукупність алгоритмів, математичних процедур. Саме їх розроблення, розвиток та обґрунтування є основним завданням сучасної теорії фракталів [4, 7, 9, 10].

Вперше термін «фрактал» було використано у 1975 році. Його запропонував Б. Мандельброт, співробітник дослідницького центру Томаса Дж. Уотсона, корпорації ICM, Йорктаун-Хайтс (Нью-Йорк). Назва фракталу походить від латинського «Fractus» (маленький, грубий, зламаний). Фрактали забезпечують можливість дуже компактного опису об'єктів і процесів. Багато структур мають фундаментальну властивість геометричних розмірів - масштабна інваріантність, або як її ще називають «властивість подібності». За перегляду зображень, поданих за різних масштабів постійно виявляють основні елементи (фрактали). Незалежно від природи або методу побудови все

фрактали мають одну важливу властивість: вони дозволяють визначити ступінь складності утворення поверхні руйнування матеріалу ступінь, або її характеристики за характерним числом – фрактальною розмірністю.

Використовуючи ідею Б. Мандельброта [8], її можна визначити шляхом обчислення кількості квадратів. Уявіть собі об'єкт складної форми, повністю вкритий сіткою квадратів. Деякі квадрати будуть містити елементи множини, інші - порожні. Кількість порожніх клітинок  $N$  залежить від форми об'єкту і розміру квадрата  $E$ . Передбачається, що  $N$  пропорційно  $1/E^D$  (чим дрібніша сітка, тим більше порожніх клітинок). Експонента  $D$  - є фрактальною розмірністю об'єкта.

Одним з найважливіших завдань фрактодіагностування є кількісне оцінювання структури і властивостей поверхонь руйнування. Для цього застосовують відомі підходи запропоновані у магістерській роботі В. Козака та О. Попадюк які містять значну сукупність відомих підходів і чисельних методів обчислення фрактальної розмірності  $D$ , які, у свою чергу, мають деякі недоліки:

- існуючі кількісні методи розглядають хаотичні іррегулярні структури зламів (сколи) епоксикомпозитних зразків, як правило лише у вигляді моделей евклідової геометрії, що не враховує масштабних властивостей об'єктів, що досліджуються та локальних ділянок досліджених зразків;
- оцінки, що одержані відомими методами є або статистичними оцінками елементів зображення, не були «привязані» до властивостей епоксикомпозитних покриттів;

Таким чином, виникає необхідність в розробці та застосуванні нових підходів кількісного опису, які враховують скейлінгові властивості структур епоксикомпозитів. Для вирішення цих задач коректно застосувати фрактали з їх іррегулярністю, самоподібністю, ієрархічною будовою і зв'язком локальних та глобальних властивостей, що забезпечує високу достовірність опису поверхонь досліджуваних об'єктів.

Актуальність цього розділу полягає у доцільності застосування фрактальних методів моделювання, ідентифікації, класифікації і кількісного опису структур зламів епоксикомпозитів. Дані ударної в'язкості зразків епоксикомпозиту з наповнювачем  $C_{60}$  було взято з відкритих джерел.

Ударну в'язкість визначали на зразках з розмірами  $10 \times 15 \times 75$  мм без надрізу. Випробування проводили на копрі РКР-300 для високошвидкісного навантаження (5,2 м/с) і реєстрацією діаграми деформування в координатах «навантаження – час» і «навантаження – згин зразка». Алгоритм використаний у даній роботі містив кілька основних етапів: бінаризацію оригінального чорно-білого зображення, його фільтрацію та повторну бінаризацію отриманого зображення. Особливістю об'єктів аналізу розглянутих у цій роботі є те, що необхідно встановити положення тріщини відносно кожного пікселя та визначити його належність поверхні тріщини або фону. Ця завдання було вирішене за допомогою бінаризація. У бінарному зображенні білі пікселі – фон, а чорні - належали до об'єкту. Поверхню зламів епоксикомпозитів аналізували з використанням відомого програмного забезпечення "Fractalys", розробленого Gilles Vuidel. Тестування програми на зображенні килима Серпінського підтвердило можливість її використання та високу точність очислення фрактальної розмірності.

Можливості програми "Fractalys" дозволили визначити фрактальну розмірність кількома методами:

- сітковим (grid),
- методом радіус маси (radius mass),
- методом розширення (dilation),
- методом кореляції (correlation),
- методом згортки Гаусса (gaussian convolution),
- коробковим підрахунок (box-counting),
- мережевим (Network)

Вибір методу залежав від особливостей досліджуваного зразка (як форми безпосередньо досліджуваного зразка, так і від механізмів руйнування, які

попередньо візуально оцінювали). Отримані результати відображено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Фрактальна розмірність епоксикомпозитів

Схема досліджень	Вміст наповнювача, $q$ , мас.ч.	Енергія, затрачена на руйнування матеріалів, $E$ , Дж	Фрактальна розмірність зламу, $D$
1	-	0,9	1,6
2	0,010	1,2	1,71
3	0,025	2,90	1,82
4	0,050	1,55	1,73
5	0,075	1,50	1,73
6	0,100	1,45	1,64

Наявність фрактальних властивостей зламів епоксикомпозитів зумовлена тим, що процес їх формування є термодинамічно нерівноважним (ударним), а як відомо структури породжені такими процесами мають фрактальні властивості на певних масштабних інтервалах і являють собою статистично самоподібні або самоафінні об'єкти. Це обґрунтовує актуальність розробки фрактальних моделей, методів і алгоритмів для кількісного опису і класифікації металоструктур в фрактографії; ідентифікації процесів структуроутворення епоксикомпозитів. Як бачимо результати одержані різними методами дещо відрізняються. Причиною цьому є невідповідність підбраного методу природі аналізованого зображення.


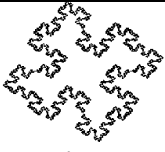

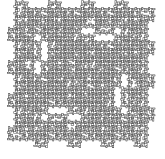
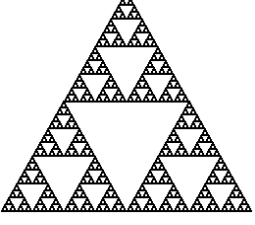
Відомо, що поверхні руйнування епоксикомпозитів не є строго самоподібними, це статистично самоподібні (самоафінні) об'єкти, причому фрактальна розмірність для них не визначається точно, а оцінюється за непрямыми обчисленнями. Тому при роботі з такими структурами важливо правильно обрати метод або комбінацію методів оцінювання фрактальної розмірності.

методи оцінювання фрактальної розмірності зображень, залежно від типу вхідних зображень діляться на два класи:

- бінарні - працюють з чорно-білими зображеннями об'єктів, до яких відносять методи: "Циркуля", Pixel dilation, Vox counting, Mass radius і Cummlate intersection;
- півтонові (яскравісні) - працюють з яскравісними або кольоровими зображеннями. В даній роботі їх докладно не аналізували, бо виконано аналіз бінарних зображень.

Таблиця 4.2

Тестування бінарних методів на математичних фракталах

	Теоретичне значення	Оцінка	Похибка, %
Крива Коха	1,262	$D_B=1,183$	$\delta_B=6,40$
 Острів Коха	1,551	$D_B=1,499$	$\delta_B=3,42$
 Фрактальний кластер DLA	1,721	$D_B=1,746$	$\delta_B=1,42$
 Коробка Коха	1.771	$D_B=1,842$	$\delta_B=4,1$
 Трикутник Серпінського	1,58	$D_B=1,542$	$\delta_B=2,4$

Результати досліджень також показали, що при аналізі поверхонь руйнування еопсикомполітів, метод сіток має достатню цутливість, є

простим й його у подальшому було використано для дослідження і побудови математичних моделей структур зламів епоксикомпозитів.

Нерівноважне і хаотичне (саморганізоване) динамічне руйнування епоксикомпозитів формує на поверхні зламу об'єкти з неправильною, нерегулярною формою, що мають фрактальні властивості. Так термодинамічно нерівноважний процес руйнування породжує т.з. сколювання та зумовлює їх самоорганізацію.

Площинну поверхні руйнування прийнято як самостійний об'єкт діагностування, що кількісно відображає мікроскопічну будову зламу. Як зазначає доц. Помулєв В.В., цей принцип покладено у основу більшості стандартних методів, наприклад, зеренна структура сталі оцінюється умовними балами залежно від розміру середнього діаметру площинного зерна сталі (ГОСТ 5639-83). Ми у даній магістерській роботі намагаємось перенести та застосувати ці принципи до епоксикомпозитних матеріалів.

Сучасний кількісний опис мікромеханізмів руйнування базується на візуальному оцінюванні поверхні зламу, з подальшим підрахунком характеристик таких площа сколів, наявність вязкого руйнування і т.д., при чому абсолютно не враховується а ні їх самоподібність, ані їх іррегулярність та хаотичність.

#### **4.2. Застосування фрактальної розмірності $D$ для опису структури зламів епоксикомпозитів**

Застосування фрактальної розмірності  $D$  для опису структури епоксикомпозитів дозволило значно підвищити як якість, так і оперативність аналізу, так одержано закономірності руйнування, рис. 4.1.

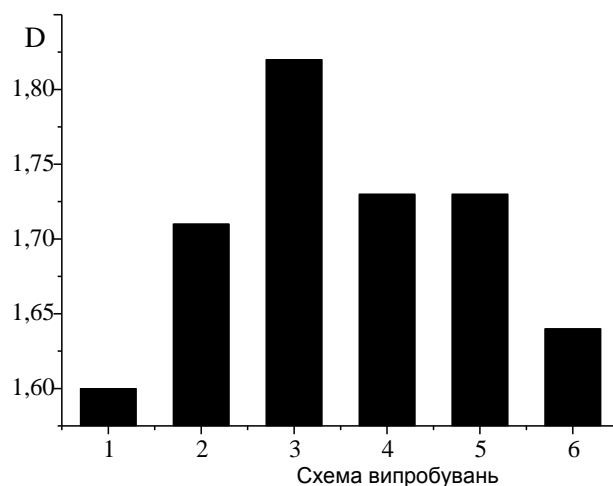


Рис. 4.1 Фрактальна розмірність поверхні руйнування композитних матеріалів із частками фулерену  $C_{60}$  за схемами випробувань (1-6), проведених доц. О.О. Сапроновим

Далі за алгоритмом *Box counting* оцінювали фрактальну розмірність мікротекстури зламу епоксикомпозитних зразків. Дані отримані за допомогою методу аналізу оптико-цифрових зображень вказують на монотонно зростаючий характер залежностей  $E$  і фрактальної розмірності  $D$ . Це дозволяє говорити про можливість створення методик оцінювання (фрактодіагностування) механізмів руйнування епоксикомпозитів по зображенню його поверхні зламу.

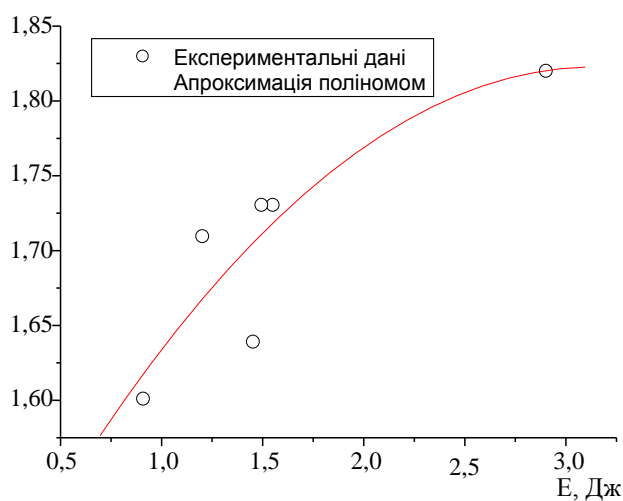


Рис. 4.2. Взаємозв'язок  $D$  поверхні руйнування композитних матеріалів із частками фулерену  $C_{60}$  за схемами випробувань (1-6), проведених доц. О.О. Сапроновим з енергією ударного руйнування зразків

Таким чином, розроблений в даному підрозділі підхід дозволяє по вхідному зображенню поверхні руйнування епоксикомпозиту, обчислюючи його фрактальну розмірність  $D$ , визначати технологічно важливі геометричні параметри покриття. Зростання ступіня “неоднорідності” або грубості (roughness) поверхні зламу епоксикомпозиту розглядалося, як запорука його вищих властивостей при випробуванням на удар.

Застосування фрактального підходу дозволило враховувати геометричні особливості топографії зламу, виражені в надмірному зниженні рельєфу зламу певних зонах зразка, які в свою чергу пов'язані з параметрами процесу їх формування. Саме це було теоретично обґрунтовано і підтверджено практично.

Досліджено залежності механічних і технологічних властивостей епоксикомпозитних покриттів від параметрів енергоємності їх руйнування та побудовано математичну (фрактальну) модель, що дозволяє оцінювати властивості покриттів по їх оптико-цифровим зображенням.

Питання дослідження фрактальної розмірності поверхонь руйнування зразків, розглянуте у даній роботі потребує подальшого дослідження, проте одержані результати свідчать, що цей параметр є чутливим до структурно-механічних особливостей матеріалів.

Провівши автоматизований аналіз зображень зламів епоксикомпозитів і проаналізувавши отримані дані встановлено, що фрактальна розмірність є інтегральним параметром механізмів руйнування матеріалів.

Попередні етапи обробки зображення спричиняють значний вплив на кінцевий результат та похибку обчислень. Величина похибки також залежить від методу аналізу та фізичної природи аналізованої поверхні.



## 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Мова релейних діаграм LD.

Мова релейних діаграм LD (Ladder Diagram), або релейно-контактних схем (РКС) – графічна мова, яка реалізує структури електричних кіл. На початку 70-их років ХХ ст.. релейні автомати почали витіснятися програмними контролерами. Деякий час одні і інші працювали одночасно і обслуговувались тими ж людьми. Так з'явилася задача прозорого переносу релейних схем в ПЛК.

Графічно LD діаграма представлена в виді двох вертикальних шин живлення. Між ними знаходяться ланцюги, утворені з'єднанням контактів. Навантаження кожного ланцюга служать реле. Кожне реле має контакти, які можна використати в інших ланцюгах.

Логічне послідовне (І), паралельне (АБО) з'єднання контактів ді інверсія утворюють базис Буля. В результаті LD ідеально підходить не тільки для побудови релейних автоматів, але і для програмної реалізації комбінованих логічних схем. Завдяки можливості підключення в LD функцій і функціональних блоків, виконаних в інших мовах, сфера застосування цієї мови практично не обмежена.

### 5.2 Розробка керуючих програм для системи програмного керування.

Програма контролера ПЛК 110-32L працює таким чином: спочатку вмикається двигун обертання заготовки. Протягом 2 секунд здійснюється розрух, потім вмикається живлення фарбопульта, і, протягом часу, необхідного для здійснення 1 обороту заготовки проводиться нанесення

лакофарбового матеріалу. По витіканню цього часу вмикається двигун переміщення модуля з закріпленим фарбопультом з швидкістю розрахованою в табл. 4.7. Швидкість переміщення програмується в частотному перетворювачі і задається за допомогою необхідного програмованого входу.

Напрямок руху задається подачею необхідного сигналу на порт частотного перетворювача (FWD і REV). В даній програмі час проходу береться з розрахунку для довжини труби 10м. По завершенню проходу здійснюється затримка переміщення фарбопульта без припинення нанесення лакофарбового матеріалу. Це зроблено для того,щоби забезпечити рівномірне нанесення матеріалу на всю поверхню заготовки. Час затримки аналогічний як і на початку фарбування і дорівнює одному обороту заготовки. По витіканню цього часу модульз фарбопультом здійснює зворотній рух, до моменту, поки не натиснеться кнопка кінцевого вимикача. Кінцевий вимикач вимикає усі двигуни і цикл програми вважається завершеним.

На рис. 5.1 зображено програму для фарбування труби діаметром 250мм, програма для неї передбачає швидке обертання заготовки і швидкий прохід фарборозпилювача, на відміну від програм для магістральних трубопроводів 1020мм і 1420мм (рис 5.2 і рис 5.2)

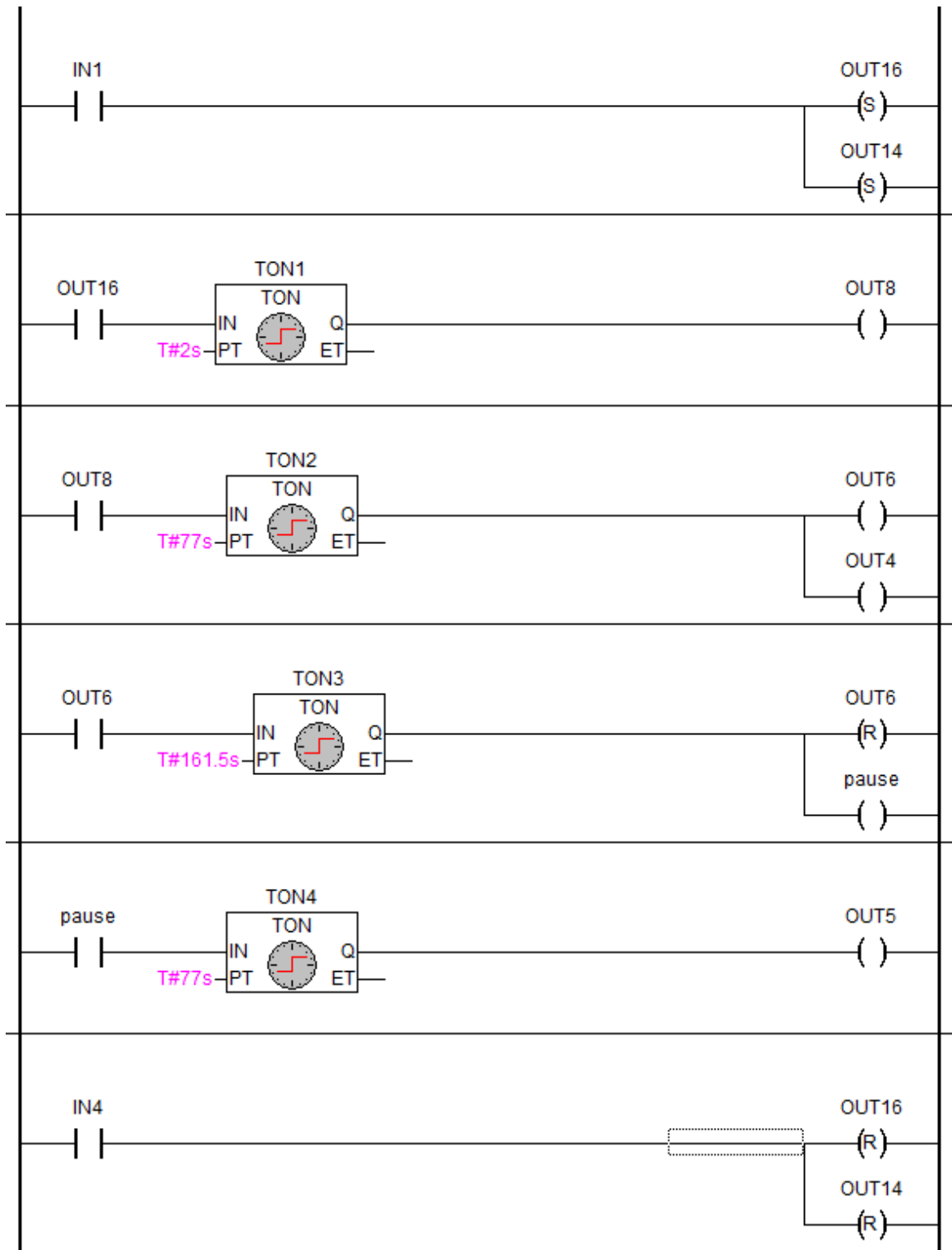


Рис. 5.2. Програма для фарбування труб діаметром 250 мм, довжиною 10м.

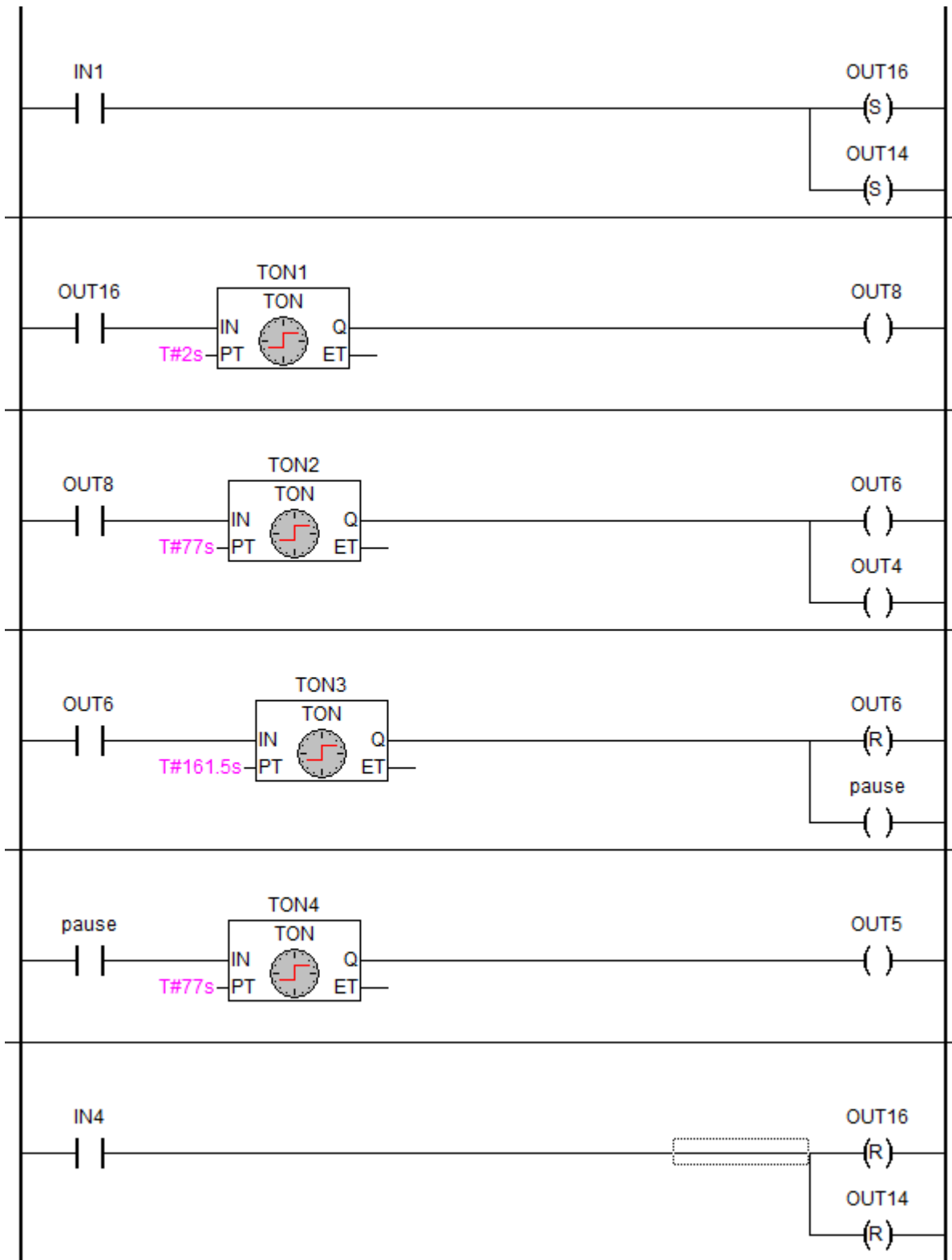


Рис. 5.3. Програма для фарбування труб діаметром 1020 мм, довжиною 10м.

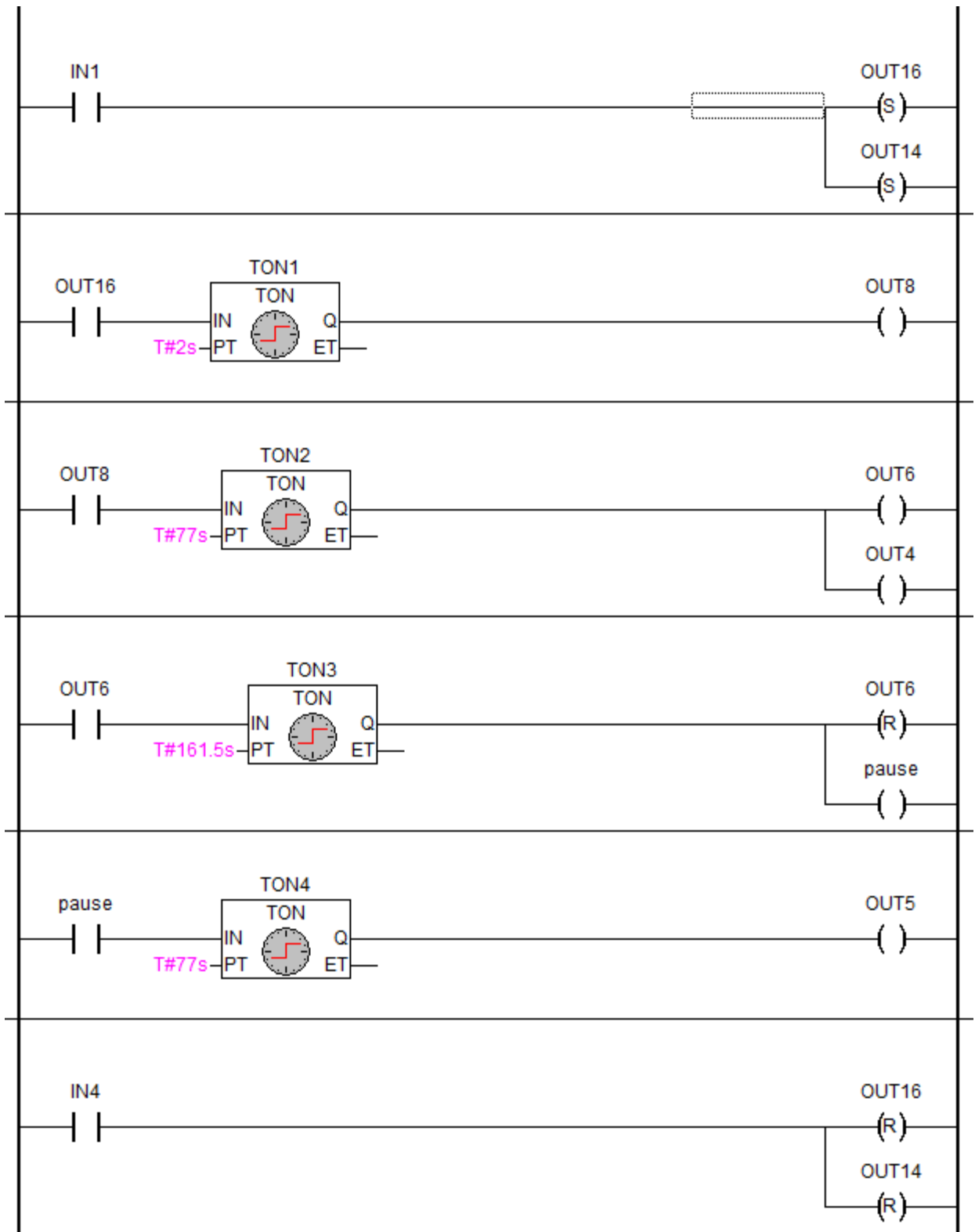


Рис. 5.4. Програма для фарбування труб діаметром 1420 мм, довжиною 10м.

## 6. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1 Витрати на капітальні вкладення для проектування та реалізації.

Витрати на капітальні вкладення для проектування та реалізації включають: витрати на придбання основного обладнання, монтаж обладнання, транспортні витрати та проектування і розраховується за формулою:

$$K_{\Sigma} = K_O + K_M + K_{TP} + K_{PP} \quad (6.1)$$

де,  $K_O$  - капітальні вкладення на придбання основного обладнання;

$K_M$ - витрати з монтажу обладнання;

$K_{TP}$  - транспортні витрати;

$K_{PP}$  - витрати на проектування.

Загальний перелік необхідного основного обладнання та його вартість наведені в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Перелік та вартість обладнання.

№	Назва приладу	Марка	Кількість	Ціна, грн.	Вартість
1	Установка безповітряного фарбування	УНП2-7-65	1	31000	31000
2	Двигун асинхронний	AIP 132 M8	1	6488	6488
3	Редуктор червячний	2МЧ-80	1	3200	3200

## Продовження таблиці 6.1

4	Автоматичний фарбо - розпилювач	Iwata AL-96 S5	1	15300	15300
5	Перетворювач частоти	PROSTAR PR6000	2	3500	7000
6	Двигун	AIP 63A2	1	1049	1049
7	Фарбувальна установка		1	22150	22150
9	Мікроконтролер	ОВЕН 110-32L	1	5575	5575
Всього					91762

Транспортні витрати, складають 1.5% від вартості всього обладнання і розраховуються за формулою:

$$K_{тр} = 0,015 \cdot K_0 = 0,015 \cdot 91762 = 1376 \text{ грн} \quad (6.2)$$

Монтаж устаткування, запуск та налаштування проводиться інженерами-монтажниками, витрати становлять 1% від вартості всього обладнання і розраховуються за формулою:

$$K_m = 0,01 \cdot K_0 = 0,01 \cdot 91762 = 917 \text{ грн} \quad (6.3)$$

Витрати з проектування та розробки проекту складають 4 % від вартості всього устаткування і розраховуються за формулою:

$$K_{пр} = 0,04 \cdot K_0 = 0,04 \cdot 91762 = 3670 \text{ грн} \quad (6.4)$$

Загальна сума капітальних вкладень становить:

$$K_{\Sigma} = 91762 + 1376 + 917 + 3670 = 97725 \text{ грн} \quad (6.5)$$

Поточні витрати на експлуатацію даної системи зв'язку визначаються за формулою:

$$ПВ_p = ФОП + O_c + A_g + E + H \quad (6.6)$$

де, ФОП - фонд оплати праці;

ОС - відрахування на соц. потреби;

Ав - амортизаційні відрахування ;

Е - електроенергія для виробничих потреб.

Чисельність обслуговуючого персоналу складає 2 людини. Тривалість робочого періоду – 12 місяців. Заробітна плата персоналу наведена в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Заробітня плати працівників.

Посада	Кількість	Щомісячна заробітна плата, грн	Річна заробітна плата, грн
Оператор пульта керування	1	4400	52800
Технічний працівник	1	3500	42000

Витрати оплати праці складаються з основної та додаткової заробітних плат і розраховуються за формулою:

$$ФОП = Z_{осн} + Z_{дод} \quad (6.7)$$

де,  $Z_{осн}$  - основна заробітна плата ,

$Z_{дод}$  - додаткова заробітна плата .

Основна заробітна плата на рік становить:

$$Z_{осн} = 52800 \text{ грн}$$

Додаткова заробітна плата становить 10 % від основної заробітної плати і розраховується за формулою:



$$Z_{\text{ДОД}} = 0,1 \cdot Z_{\text{ОСН}} \quad (6.8)$$

$$Z_{\text{ДОД}} = 0,1 \cdot 52800 = 5280 \text{ грн}$$

Загальний фонд оплати праці за рік становить:

$$\text{ФОП} = 52800 + 5280 = 58080 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування беруться виходячи з того, що норма амортизації на обладнання зв'язку складає 25% і обчислюються за формулою:

$$A_0 = N_A \cdot \Sigma K \quad (6.9)$$

де,  $N_A$  - норма амортизації;

$\Sigma K$  - вартість обладнання ;

Тоді амортизаційні відрахування становитимуть:

$$A_0 = N_A \cdot \Sigma K = 0,25 \cdot 91762 = 22940 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію для виробничих потреб протягом року, включають в себе витрати електроенергії на обладнання та додаткові потреби і розраховуються за формулою:

$$E = Z_{\text{ЕЛ.ОБЛ.}} + Z_{\text{ДОД.ПОТР}} \quad (6.10)$$

де,  $Z_{\text{ЕЛ.ОБЛ.}}$  - витрати на електроенергію для обладнання;

$Z_{\text{ДОД.ПОТР.}}$  - витрати на додаткові потреби;

Витрати електроенергії на обладнання розраховується за формулою:

$$Z_{\text{ЕЛ.ОБЛ.}} = W \cdot T \cdot S \cdot 30 \cdot 5 \quad (6.11)$$

де,  $W$  - споживана потужність, Вт = 15 кВт;

$T$  - час роботи;

$S$  - тариф, рівний 1 кВт/г = 0,89 грн

30 - кількість робочих днів у місяці ;

5 - кількість місяців у році.

$$Z_{\text{ЕЛ.ОБЛ.}} = 15 \cdot 24 \cdot 0.89 \cdot 30 \cdot 5 = 48060$$

Витрати на додаткові потреби становлять 5% від витрат на електроенергію устаткування і розраховуються за формулою:

$$Z_{\text{ДОД.ПОТР.}} = 0,05 \cdot Z_{\text{ЕЛ.ОБЛ.}} \quad (6.12)$$

де, Зел.обл. - витрати на електроенергію для обладнання;

Витрати на електроенергію для додаткових потреб:

$$Z_{\text{ДОД.ПОТР.}} = 0,05 \cdot 48060 = 2403 \text{грн}$$

Тоді сумарні витрати на електроенергію становитимуть:

$$E = 48060 + 2403 = 50463 \text{грн}$$

Результати розрахунку річних експлуатаційних витрат проекту, представлені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 - Річні експлуатаційні витрати.

Показники	Сума, грн
ФОП	58080
Амортизаційне обчислення ( $A_0$ )	22940
Витрати на електроенергію (E)	50463
Всього	131483

Загальний річний кошторис витрат на придбання основного обладнання, витрати на оплату праці та витрати на електроенергію, для реалізації даного проекту становить 131483грн.

## 6.2. Розрахунок терміну окупності проекту

Метод розрахунку терміну окупності  $T_0$  полягає у визначенні того терміну, який знадобиться для відшкодування суми первинних інвестицій. Якщо

сформулювати суть цього методу більш точно, то він припускає обчислення того періоду, за який кумулятивна сума (сума наростаючим підсумком) грошових надходжень порівнюється з сумою первинних інвестицій.

Формула розрахунку терміну окупності має вигляд:

$$T_o = \frac{K_o}{\Pi}, \quad (6.13)$$

- де  $T_o$  - термін окупності;
- $K_o$  - первинні інвестиції;
- $\Pi$  - середньорічний прибуток від реалізації інвестиційного проекту.

Процес фарбування секцій трубопроводу складає 10% від загального процесу, який включає: виробництво труб, транспортування, фарбування, встановлення. Тому прибуток який приносить дана фарбувальна ділянка буде становити 10% від загального.

Продуктивність машини взято мінімальну, тобто 10 т/год, при ціні труби 18500 грн за 1т, маємо загальний дохід 185000 грн, 10% від якого буде становити 18500 грн.

$$T_o = \frac{131483}{18500} = 7,1р$$

Отже, дані розрахунки показують ефективність впровадження даного проекту з терміном окупності обладнання 7,1р.

## **7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **7.1 Вимоги безпеки в фарбувальних цехах**

Фарбувальні цехи, як правило, повинні розташовуватися в одноповерхових будівлях, або у верхніх поверхах багатоповерхових. Розміщення їх в підвальних або напівпідвальних приміщеннях будівель не допускається. Висота виробничих приміщень від підлоги до стелі повинна бути не менше 5,4 м, кількість виходів з приміщення — не менше двох. Ділянки підготовки виробів під фарбування повинні бути ізольовані від фарбувальної ділянки. Місце підготовки лакофарбових матеріалів слід розташовувати в ізольованому від фарбувальної ділянки приміщенні, з окремим виходом назовні. Це також відноситься і до лабораторії, де відбувається контроль лакофарбових покриттів. Склади для зберігання лакофарбових покриттів необхідно розміщувати в окремих будівлях. Приміщення фарбувальних цехів, відділень приготування фарби і складів необхідно забезпечувати засобами пожежогасіння згідно з органами пожежного надзору.

Всі конструктивні елементи приміщень для фарбувальних робіт необхідно виконувати з вогнестійких матеріалів. Внутрішні сторони стін підготовчих і фарбувальних відділень повинні бути поштукатурені і пофарбовані світлою масляною фарбою.

Підлога фарбувальних цехів повинна бути виконана з негорючих матеріалів, рівною, неслизькою і не затрудняти очистку від забруднень.

#### **6.2 Спецодяг, захисні пристосування, гігієнічні міри.**

Працівники, заняті обслуговуванням повинні бути забезпечені спецодягом згідно встановлених норм. На підприємстві повинно бути організовано її зберігання, періодичний ремонт, і прання не рідше одного в декаду. Знаходження в фарбувальному цеху без спецодягу заборонено. Операторів чия робота буде зв'язаною з знаходженням в зоні утворення лако-

фарбового туману необхідно забезпечувати масками з подачею очищеного в спеціальному фільтрі і підігрітого ( в зимовий період) повітря, або респіраторами, які б забезпечували захист органів дихання від туману і парів розчинників.

Для роботи з лакофарбовими матеріалами необхідно використовувати промислові протигази з шихтою В і активованим вугіллям АГ-4. Також доцільно використовувати протигази закордонних фір, однією з таких є фірма ЗМ (США). При роботі з лакофарбовими покриттями з вмістом свинцю, працівникам необхідно видавати засоби особистої гігієни (зубний порошок, зубні щітки ітд.) . Працівників цехів з підготовки фарб, які працюють з кислотами, лугами і солями забезпечують засобами особистої гігієни згідно діючих норм.

### 6.3 Вимоги безпеки при експлуатації електроустановок

Дія струму на людський організм залежить від цілого ряду умов. Вона може бути тепловою (опіки електричною дугою), фізико-хімічною (електроліз- розклад крові), біологічною ( ураження нервових центрів і тканин організму), механічною (розрив тканин), а також комплексною, включаючи всі перелічені ураження.

Дія електричного струму на організм людини носить характер внутрішнього (загального) , або зовнішнього (місцевого) ураження. При зовнішньому ураженні струмом проходить так звані електричні травми , а при ураженні внутрішніх органів людини – електричні удари.

До зовнішніх електричних травм, вражаючим окремі частини тіла відносять опіки( так звані електричні знаки) і металізацію шкіри. Найбільш небезпечним є електричний удар, так як він викликає порушення фізіологічних центрів в організмі, а іноді параліч нервових центрів, які керують диханням і серцевою діяльністю людини. Електричний удар характеризується втратою свідомості, появою судорог, частковим або повним припиненням дихання і серцевої діяльності. Степінь дії електричного струму на тіло людини залежить від ряду факторів : сили струму, напруги і частоти струму, часу дії,

шляхів проходження через тіло стану організму ( опору) та ін. Чим вища сила струму тим небезпечніша його дія. Смертельним для людини є струм силою 0,1А і вище. Ток силою 0,05-0,1 А є дуже небезпечним, викликає головокружіння , іноді смерть, а при 0,02-0,03 А людина не може відірвати рук від провідника через судорогу м'язів під дією струму. Тільки струм силою нижче 0,005 А і нижче може рахуватися безпечним. Несчасні випадки зі смертельним закінченням можуть відбуватися не тільки при напрузі 220 і 110 , але і при 40 В. Тому відносно безпечною може рахуватися напруга до 36 В з врахуванням навколишніх умов ( вологості, температури, запиленості приміщень та ін..) Частота струму має також важливе значення. По мірі її збільшення небезпека електротравматизму зменшується. Струм звичайної промислової частоти 40-60 Гц є найбільш небезпечним, а струм високої частоти 500-600 Гц і вище в відношенні електротравматизму є безпечним. Але струми високої частоти небезпечні в відношенні опіків.

Як змінний так і постійний електричний струм вище певних значень небезпечний для людини, причому змінні струми діють на нервову систему, а постійні викликають опіки і рідше електричні удари.

При використанні електроустановок слід використовувати безпечну напругу, ізолювати проводи і частини електроустановок, доступних до дотику, огорожувати силові проводи, використовувати системи електричних і механічних блокувань, які б запобігали можливості дотику людини з електрострумом, використовувати захисне заземлення і індивідуальні засоби захисту.

Заземленню підлягають всі металічні частини машин, механізмів, конструкцій, які можуть бути під напругою у випадку порушення ізоляції ( напр.. корпуса електродвигуна). Провірка справності заземлення відбувається не рідше одного разу в три місяці.

Для потужних електродвигунів в мережі 380/220 встановлюється автоматичне захисне виключення за допомогою спеціальних вимикаючих приладів – реле, при якому пошкоджене електрообладнання автоматично

вимикається. Цей спосіб захисту є найбільш досконалим, так як при пошкодженні ізоляції і появі напруги реле миттєво вимикає установку від електромережі.

Електромонтажні і ремонтні роботи на електромережах і установках повинні, як правило, виконуватися тільки після виключення струму. Праця під напругою допускається тільки в виняткових випадках ( аварійних ), з точним слідуванням правил безпеки і з використанням засобів захисту і спеціальних інструментів з ізольованими ручками (з бекеліту, резини, ебоніту та ін..)

До ізолюючих захисних засобів відносять виготовлені з ізоляційного матеріалу (бекеліту, фарфору, дерева, резини, пластмаси та ін..) ізолюючі і вимірювальні штанги, штанги для накладання тимчасових переносних заземлень, класці для зняття установки трубчастих запобіжників, а також діелектричні рукавиці, калоші і боти, резинові ковбики та ін..

До допоміжних запобіжних засобів відносять запобіжні пояси, монтажні когті драбини, захисні окуляри, протигази та ін..

До основних ізолюючих захисних засобів відносять оперативні і вимірювальні штанги, ізолюючі і струмовимірювальні кліщі, вказівники напруги та ін..

Допоміжними захисними засобами, які використовуються в електроустановках вище 1000В є діелектричні рукавиці і боти, гумові коврики, ізолюючі підставки на фарфорових вставках.

Під час огляду діючих електроустановок забороняється виконувати будь-які роботи, за виключенням робіт зв'язаних з запобіганням аварії або нещасного випадку. При огляді забороняється знімати загородження силових проводів, деталей, що обертаються заходити за огороження та бар'єри. При знаходженні в закритих розподільчих приладах (з напругою вище 1000В) замикання будь-якої струмоведучої частини на землю не вартує приближуватись до неї ближче 4-5 м для уникнення дії крокової напруги.

Персоналу, який постійно обслуговує виробниче електрообладнання з напругою до 1000В, дозволяється відкривати при огляді дверцята кафів,

щитків, пускових приладів, пультів управління та ін. . При огляді цехових електроустановок про порядку поточної експлуатації можна виконувати невеликі і недовгі роботи ( наприклад, чистку електрообладнання від пилу, заміну перегорівши вставок плавких запобіжників).



## 8. ЕКОЛОГІЯ

### 8.1 Екологічні проблеми технічних галузей народного господарства

На всіх стадіях свого розвитку людина була тісно зв'язана з навколишнім світом. З тих пір як появилось високо індустріальне виробництво, небезпечний вплив людини на природу різко збільшився, розширився об'єм цього впливу, він став різноманітнішим і тепер грозить стати глобальною небезпекою для людства. Розхід не відновлюваної сировини підвищується, все більше родючих ґрунтів вибуває з економіки через збільшення міст, будівництву заводів, або доведення їх до непридатності до використання. Людині все більше приходится вмішуватися в господарство біосфери – ту частину Землі, в якій існує життя.

Біосфера Землі сьогодні піддається наростаючому антропогенному впливу. При цьому можна виділити Декілька найбільш істотних процесів, кожен з яких не покращує екологічну ситуацію на планеті. Найбільш масштабним і значним є хімічне забруднення середовища невластивими їх речовинами хімічної промисловості. Серед них – газоподібні і аерозольні забруднювачі промислово- побутового характеру. Прогресує і накопичення вуглекислого газу в атмосфері. Подальший розвиток цього процесу буде підсилювати небажану тенденцію в сторону підвищення середньорічної температури на планеті. Викликають тривогу у екологів і триваюче забруднення Світового океану нафтою і її продуктами. Нафтове забруднення може викликати суттєве порушення газо- і водообміну між гідросферою і атмосферою. Не викликає сумнівів і значення хімічного забруднення ґрунтів пестицидами і їх підвищена кислотність, яка веде до розпаду екосистеми.

Розвиваючись людство починає використовувати нові види ресурсів (атомну і геотермальну енергію, сонячну, гідроенергію приливів і відливів, вітряну та інші нетрадиційні джерела). Але головну роль в забезпеченні енергією всіх галузей економіки сьогодні грають традиційні паливні ресурси.

## **8.2 Аналіз і вплив на навколишнє середовище і людину**

В сучасних умовах наростаючого науково-технічного прогресу посилюється вплив на екосистеми твердими, рідкими і газоподібними відходами, викидами виробництв і транспорту. Зростають потреби у чистій воді, яка безповоротно втрачається в промисловості та в сільському господарстві.

### **8.2.1 Забруднення води**

Проблема чистої води за останні десятиріччя стала настільки гострою, що часто самен не достаток води лімітує розвиток промисловості і ріст міст. Незважаючи на те, що очищенню промислових і побутових стоків приділяється велика увага, досі є випадки коли скидаються неочищені і недостатньо очищені стічні води, які приносять велику шкоду екологічним системам і в кінцевому результаті здоров'ю людей. Окремі місцеві забруднення водойм і водотоків об'єднуються. В світовому океані зростає площа акваторій, забруднених нафтою. Все більше забруднюються участки біля берегів Франції, Англії, США, Японії, де забруднення на декілька порядків вище чим в відкритому океані.

### **8.2.2 Забруднення атмосфери**

На сьогоднішній день багато робиться для зменшення викиду промислових відходів в атмосферу. Але, тим не менше, цей вид забруднення раніше інших набув глобальних масштабів і є найбільш відчутним. З ним люди, особливо великих міст, стикаються кожен день. Шкідливі речовини, які містяться в забрудненому повітрі поступають в організм. Якщо забруднену воду можна не пити в даний момент, профільтрувати, то дихання відкласти на деякий час неможливо, фільтрацією повітря займаються тільки в надзвичайно забруднених умовах праці. Головні джерела забруднення атмосфери – промислові підприємства, теплові електростанції і транспорт.

Щороку в атмосферу викидається 200-250 млн. т. золи, до 60 млн. т. сірчистого газу, 280-300 млн. т. оксиду вуглецю і сотні мільйонів тонн інших речовин, небезпечних для здоров'я людини.

Порівняно з даними півстоліття назад, на сьогоднішній день спалюється у 2-2,5 рази більше кам'яного вугілля, нафти – у 3-3,5 рази, лісу – в 1,5-1,8 рази. Підсилення забруднення буде також здійснюватися внаслідок виснаження запасів палива і використання менш якісного вугілля, яке містить велику кількість різних домішок, перш за все сірки.

Промислові відходи не тільки впливають на здоров'я людей, але і зменшують продуктивність сільського і лісового господарства. Урожайність полів в зоні дії підприємств кольорової металургії на 40-60% нижче, чим за межами цієї зони.

### **8.2.3 Кислотні дощі**

Велику тривогу за останні роки викликають кислотні дощі. Вони випадають в результаті конденсації сірчистого ангідриду і оксидів азоту, потрапляючих в атмосферу з промисловими викидами, в першу чергу від теплових електростанцій і металургійних заводів. Випадати ці дощі можуть за тисячі кілометрів від джерел їх виникнення. Від них гинуть ліс, стають вимерлими озера, втрачає свою родючість земля. Так, наприклад промисловість США «експортує» кислотні дощі в Канаду, також тим шляхом промисловість Рурського басейну отрує озера Швеції і Норвегії.

### **8.2.4 Парниковий ефект**

Вартує також зупинитися на питанні збільшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері, який має глобально-екологічне значення і певною мірою визначає кліматичні умови на планеті. Діло в тому, що молекули вуглекислого газу пропускають до поверхні Землі сонячне проміння (короткохвильове), але затримує довгохвильове теплове випромінювання, яке іде від Землі. Таким чином створюється парниковий ефект і температура атмосфери підвищується.

### **8.2.4 Забруднення ґрунту**

Ґрунти забруднюються різними хімічними речовинами, пестицидами, відходами сільського господарства, промислового виробництва і комунально-побутових підприємств. Хімічні сполуки, що поступають в ґрунт, накопичуються і призводять до поступової зміни хімічних і фізичних

властивостей ґрунту, знижують чисельність живих організмів, погіршують її родючість. Забруднення ґрунтів і порушення нормального круговороту речовин відбувається в результаті не дозованого застосування мінеральних добрив і пестицидів. У ряді галузей сільського господарства пестициди застосовують у великих кількостях для захисту рослин і боротьби з бур'янами. Щорічне їх застосування, часто по кілька разів в сезон, приводить до їх накопичення в ґрунті і його отруєння. В ґрунтах накопичуються з'єднання металів, наприклад: заліза, ртуті, свинцю, міді та ін..

### **8.2.5 Вплив на людину**

Забруднення навколишнього середовища впливає на людину, тварин і рослин не тільки безпосередньо, викликаючи ті чи інші захворювання чи пригнічення життєдіяльності. Багато з них синтезовані хімічною промисловістю є мутагенами, тобто викликають спадкові зміни організмів – мутації. Найбільшими мутагенами є радіоактивні речовини, випромінювання яких навіть в найменших дозах викликають мутації. Радіоактивними є відходи атомної промисловості, які потребують спеціального зберігання. Їх дія проявляється в виді ряду спадкових захворювань, дефектів розвитку. На сьогодні в промислово розвинутих країнах біля 10% новонароджених мають такі дефекти. Кількість їх збільшується і подальше забруднення біосфери мутагенами може призвести людство на грань генетичної катастрофи.

### **7.3. Заходи по зменшенню впливу**

Кожна з обговорюваних тут глобальних проблем має свої варіанти часткового, або більш повного вирішення, існує деякий набір загальних підходів до вирішення проблем навколишнього середовища.

Міри покращення якості навколишнього середовища

1. Технологічні:

- Розробка нових технологій
- Очисні споруди

- Заміна палива
  - Електрифікація виробництва, побуту, транспорту
2. Архітектурно-планувальні заходи
- Зонування території населеного пункту.
  - Озеленення населених місць.
  - Організація санітарно-захисних зон.
3. Економічні.
4. Правові:
- Створення законодавчих актів по підтримці якості навколишнього середовища.
5. Інженерно-організаційні:
- Зменшення стоянок автомобілів біля світлофорів
  - Зменшення інтенсивності руху транспорту на перегружених автомагістралях.

Крім того, за останнє сторіччя людство розробило ряд оригінальних способів боротьби з екологічними проблемами. До числа таких способів можна віднести діяльність багатьох «зелених» рухів і організацій. Крім «Green Peace», який відрізняється розмахом своєї діяльності існують аналогічні організації, які безпосередньо проводять природоохоронні акції. Також є інший тип екологічних організацій: структури. Які стимулюють і спонсорують природоохоронну діяльність.

В числі найважливіших шляхів вирішення екологічних проблем більшість дослідників також виділяють впровадження екологічно чистих, маловідходних технологій, будівництво очисних споруд, раціональне розміщення виробництва і використання природних ресурсів.

## ВИСНОВКИ

Створено технологічні основи нанесення захисних покриттів з підвищеними технологічними властивостями на металеві поверхні, який забезпечує їх захист від корозійного впливу середовища.

Застосування фрактального підходу дозволило враховувати геометричні особливості топографії зламу, виражені в надмірному зниженні рельєфу зламу певних зонах зразка, які в свою чергу пов'язані з параметрами процесу їх формування. Саме це було теоретично обґрунтовано і підтверджено практично.

Досліджено залежності механічних і технологічних властивостей епоксикомпозитних покриттів від параметрів енергоємності їх руйнування та побудовано математичну (фрактальну) модель, що дозволяє оцінювати властивості покриттів по їх оптико-цифровим зображенням.

Питання дослідження фрактальної розмірності поверхонь руйнування зразків, розглянуте у даній роботі потребує подальшого дослідження, проте одержані результати свідчать, що цей параметр є чутливим до структурно-механічних особливостей матеріалів.

Провівши автоматизований аналіз зображень зламів епоксикомпозитів і проаналізувавши отримані дані встановлено, що фрактальна розмірність є інтегральним параметром механізмів руйнування матеріалів.

Попередні етапи обробки зображення спричиняють значний вплив на кінцевий результат та похибку обчислень. Величина похибки також залежить від методу аналізу та фізичної природи аналізованої поверхні.

Розглянуто підхід, який дозволяє створювати проблемно-орієнтовані та спеціалізовані експертні системи, налаштовані на певну аналізовану ділянку контрольованого об'єкту. Оцінено економічну ефективність проекту та запропоновано заходи з охорони праці, безпеки життєдіяльності та охорони довкілля.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крижанівський Є.І. Дослідження ізоляційних та антикорозійних характеристик модифікованих бітумно-полімерних покриттів / Є.І. Крижанівський, М.С. Полутренко, Ю.П. Гужов та ін. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. – №1(26). – С. 57-59.
2. Зиневич А.М., Борисов Б.И. Старение изоляционных поливинил-хлоридных покрытий на трубах в грунте // Коррозия и защита в нефтегазовой промышленности. – 1972. – № 2. – С. 18-20.
3. Лосев Б.И., Моница М.Л., Путинцев Г.В. Пластмассовые ленты как защитные покрытия для трубопроводов // Тематический научно-технический сборник. Серия: Защита трубопроводов от коррозии, ГОСИНТИ. – 1961. – № 6. – С. 3-16.
4. Эстрин В.Н. Исследование некоторых изоляционных материалов на старение. // Коррозия и защита. – 1975. – № 3. – С. 22-24.
5. Зиневич А.М., Волуйская Д.П. Микробиологические исследования изоляционных полимерных покрытий подземных трубопроводов // «Экспресс-информация», М. – 1969. – № 23. – С. 38-41.
6. Федорович І.В. Ефективність використання модифікованого ізоляційного покриття для збільшення терміну служби трубопроводів / І.В. Федорович // Формування ринкових відносин в Україні: Збірник наукових праць. – 2008. – Вип.10(89). – С. 97-100.
7. Гудов А.И., Сайфутдинов М.И. Повышение качества изоляционных материалов и совершенствование технологии их нанесения при капитальном ремонте и реконструкции магистральных нефтепроводов // Трубопроводный транспорт нефти. – 1998. – № 2. – С. 22-23.
8. Гизатуллин Р.Р., Старочкин А.В., Рамеев М.К., Сайфутдинов М.И. Антикоррозионные свойства клеевых грунтовок для пленочной изоляции трубопроводов // Трубопроводный транспорт нефти. – 1997. – № 6. – С. 25-26.

7. Михалев А.И., Деревянко А.И., Помулев В.В. Фрактальное оценивание зернистости металлоструктур // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2 (10) – Днепропетровск. 2000. с. 104-112.
8. Михалев А.И., Деревянко А.И., Помулев В.В. Применение методов фрактальной геометрии для анализа металлоструктур // Вестник ХГТУ. – 2001. - № 3(12). – с. 178-180.
9. Бондаренко Я.С., Помулев В.В. Применение фрактальной параметризации оценивание зернистости металлоструктур // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 3 (26) – Днепропетровск: "Системные технологии". – 2003. – с. 35-43.
11. Михалев А.И., Деревянко А.И., Помулев В.В. Определение фрактальной размерности полутоновых и цветных изображений // Вестник ХГТУ. – 2002. - № 2 (15). – С. 336-339.
12. Михалев А.И., Деревянко А.И., Помулев В.В. Применение методов фрактальной геометрии для анализа металлоструктур. // Комп'ютерне моделювання. – Дніпродзержинськ, 2001. – С. 95-96.
13. Сапронов О.О. Дослідження ударної в'язкості епоксидних композитів, наповнених фулереном C60 / О. О. Сапронов, О. В. Акімов, Н. М. Букетова // Збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 17-18 листопада 2016 року - Тернопіль: ТНТУ, 2016 - Том I. - С. 84.
14. Обзор конструкций и способов нанесения изоляционных полимерных ленточных покрытий трубопроводов / Р.А. Харисов и др. // Трубопроводный транспорт-2008: Материалы IV Международной учебно-научно-практической конференции. Уфа: УГНТУ, 2008. - С.179-181.
15. Экспертная оценка свойств защитных покрытий / Р.А. Харисов, Е.С. Волкова, К.А. Сагитова // Материалы 58 научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Уфа: УГНТУ, 2007. - С. 58.



16. Мустафин Ф.М., Лаврентьев А.Е. Ремонт изоляционных покрытий трубопроводов с применением органических вяжущих продуктов // Газовая промышленность. – М.: ВНИИЭГазпром, 1989. – №7. – С. 14- 26.
17. Патент № 2183783 РФ. Способ ремонта антикоррозионной изоляции подземных трубопроводов / Ф.М. Мустафин, Н.В. Абдуллин, С.К. Рафиков и др. (РФ); Оpubл. 20.06.02. // БИ. – 2002. – №17.
18. Глазов Н.П., Шамшетдинов К.Л., Глазов Н.Н. Сравнительный анализ требований к изоляционным покрытиям трубопроводов // Защита металлов. 2006. - Т. 42.-№ 1.-С. 103-108.
19. Горшенина Г.И., Михайлов Н.В. Полимербитумные изоляционные материалы. М.: Недра, 1967. 238 с.
20. Гуль В.Е., Кулезнев В.И. Структура и механические свойства полимеров. М.: Высшая школа, 1966. 320 с.
21. Дедешко В.Н., Салюков В.В., Митрохин М.Ю., Велиюлин И.И., Алексахин А.В. Технологии переизоляции и новые изоляционные материалы для защиты МГ // Газовая промышленность. 2005. - № 2. - С. 68-70.
22. Детектирование отслоений защитных покрытий трубопроводов // Трубопроводный транспорт нефти. 1996. - №2. - С. 37-39.
23. Дуэйн Трэйси. Влияние отслоения изоляции трубопровода на катодную защиту // Нефтегазовые технологии. №3. - 1997. - С.41-45.
24. Егерман Г.Ф., Джафаров М.Д., Никитенко Е.А. Ремонт магистральных газопроводов. М.: Недра, 1973. 288 с.
25. Защита от коррозии, старения, биоповреждений машин, оборудования, сооружений: Справочник / Под. ред. А.А. Герасименко. Т. 1,2. - М.: Машиностроение, 1987.
26. Зиневич А.М., Глазков В.М., Котик В.Г. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии. М.: Недра, 1975. - 288 с.
27. Зиневич А.М., Козловская А.А. Антикоррозионные покрытия. М.: Стройиздат, 1989. - 112 с.

28. Мікроструктура поверхні руйнування композитних матеріалів із частками фулерену C60 / О. О. Сапронов // Науковий вісник НЛТУ України. - 2018. - Т. 28, № 1. - С. 104-107.
29. Букетов А. В. Епоксидні нанокompозити: монографія / А.В. Букетов, О.О. Сапронов, В.Л. Алексенко. – Херсон: ХДМА, 2015. – 184 с.
30. Сапронов О.О. Вплив вмісту і природи дрібнодисперсного наповнювача на механічні властивості і структуру полімерних захисних покриттів / О.О. Сапронов, В.Д. Нігалатій, К.М. Клевцов, І.В. Смирнов, М.А. Долгов // Вісник ХДМА, 2013. – №2(9). – С. 228-237.
31. Розробка фулереновмісних епоксикompозитів з мікродисперсними наповнювачами для захисних покриттів з підвищеними експлуатаційними характеристиками: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / Букетова Наталія Миколаївна; Луц. нац. техн. ун-т. - Луцьк, 2017. - 25 с.
32. Розробка епоксикompозитів з нано-, мікродисперсними наповнювачами та дискретними волокнами для підвищення зносостійкості вузлів тертя [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01 / Зінченко Дмитро Олександрович ; Херсон. держ. мор. акад. - Херсон, 2017. - 24 с.