

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)  
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв  
(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітній ступінь)

на тему: **Дослідження автоматизованої системи підготовки поверхонь  
деталей до нанесення покриттів**

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи КАМ-61

спеціальності

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Семко П.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

доц. Медвідь В.Р.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

проф. Стухляк П.Д.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

ст. викл. Козбур І.Р.

(прізвище та ініціали)



## РЕФЕРАТ

В даному дипломному проекті розроблено автоматизовану лінію, для реалізації технологічного процесу підготовки поверхонь деталей до нанесення лакофарбових та гальванічних покриттів.

Автоматизована дільниця підготовки поверхонь до нанесення покриття забезпечує наступні технологічні переходи:

Очистка поверхонь. В операцію очистки включають наступні операції, - видалення механічних забруднень, обезжирення та видалення хімічних забруднень (окиси, іржа, поверхневі сполуки матеріалу і.т.ін.). Операція очистки проводиться хімічними методами.

Пасивування поверхонь. Операція пасивування повинна забезпечити надійність отриманої чистої поверхні, запобігати міжопераційному окисленню перед нанесенням основного покриття деталей.

Промивка поверхонь (основна та міжопераційна). Для забезпечення чистоти поверхні від речовин попередніх технологічних переходів.

Сушка поверхонь деталей. Видалення залишкової вологи та активних розчинів з поверхні деталей для забезпечення мінімального часу контакту поверхні з вологою, яка сприяє корозії та окисленню матеріалу.

Регенерація розчинів. Регенерація активних розчинів їх очистка забезпечить економію витрат речовин, що в результаті збільшить рентабельність її використання. Чистота розчинів впливає на якість проходження хімічних реакцій, скорочує їх тривалість.

Міжопераційне транспортування. Для забезпечення транспортування деталей в автоматизованому режимі роботи між позиціями технологічних переходів.

В проекті автоматизованої дільниці передбачено загальну систему керування, яка здійснює загальний контроль і управління лінією по основним параметрам.

## ABSTRACT

In this qualification work an automated line has been developed for the implementation of the technological process of preparing the surfaces of parts for the application of paint and electroplating coatings.

The automated surface preparation site for coating provides the following technological transitions:

Surface cleaning. The cleaning operation will include the following operations - removal of mechanical impurities, degreasing and removal of chemical contaminants (oxides, rust, surface compounds of the material etc.). The cleaning operation is carried out by chemical methods.

Passivation of surfaces. The passivation operation must ensure the reliability of the clean surface obtained, and prevent the inter-operative oxidation before the main coating of the parts is applied.

Surface washing (basic and inter-operative). To ensure the purity of the surface from the substances of the previous technological transitions.

Drying of parts surfaces. Removal of residual moisture and active solutions from the surface of the parts to ensure minimum contact time of the surface with moisture, which promotes corrosion and oxidation of the material.

Regeneration of solutions. The regeneration of the active solutions of their purification will save the cost of substances, which as a result will increase the profitability of its use. The purity of the solutions affects the quality of the passage of chemical reactions, reducing their duration.

Inter-operative transportation. To ensure the transportation of parts in an automated mode of operation between positions of technological transitions.

The design of the automated section provides a common control system that performs general control and line control over the main parameters.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	3
ABSTRACT .....	4
ЗМІСТ .....	5
ВСТУП.....	9
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....	10
1.1 Підготовка поверхні до нанесення покриття.....	10
1.2 Методи підготовки поверхні .....	14
1.3 Хімічні методи .....	16
1.3.1 Знежирення .....	16
1.3.2 Знежирення органічними розчинниками.....	17
1.3.3 Лужне знежирення. ....	18
1.3.4 Емульсійне знежирення.....	24
1.3.5 Контроль і коректування розчинів у ваннах знежирення. ....	25
1.4 Травлення чорних металів.....	26
1.5 Механічні методи очистки поверхонь .....	27
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	29
2.1 Кавітаційні ефекти й механізми ультразвукового очищення.....	29
2.2 Виникнення акустичної кавітації в середовищі очищення.....	32
2.3 Пульсації пухирців у звуковому полі та їх вплив на поверхню очищення .....	34
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	45
ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИСТКИ ПОВЕРХОНЬ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ ПЕРЕД НАНЕСЕННЯМ ПОКРИТТІВ .....	45
3.1 Устаткування та процеси підготовки поверхонь деталей до нанесення покриття.....	45
3.2 Знежирення .....	46
3.3 Травлення .....	47

3.4 Створення проміжних покриттів .....	48
3.4.1 Фосфатування .....	48
3.4.2 Пасивування .....	48
3.4.3 Хроматування .....	48
3.4.5 Утилізація олій.....	49
3.5 Технологія підготовки поверхонь для різних матеріалів.....	49
3.5.1 Для підготовки сталевих поверхні.....	49
3.5.2 Для підготовки оцинкованої поверхні. ....	49
3.5.3 Для підготовки поверхні алюмінію та його сплавів.....	50
3.6 Приготування розчинів для підготовки поверхонь .....	51
3.6.1 Знежирення, сполучене знежирення-травлення .....	51
3.6.2 Розчин для хімічного знежирення "ЕКОМЕТ-003" .....	51
3.7 Рекомендації з вибору розчинів знежирення .....	52
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	55
4.1 Устаткування для хімічної підготовки поверхні виробів під фарбування.....	55
4.1.1 Устаткування для підготовки поверхні методом занурення. ....	55
4.1.2 Устаткування для підготовки поверхні методом струминного обливу. ....	56
4.1.3 Устаткування для знежирення розчинниками. ....	62
4.2 Загальні вимоги до лінії підготовки поверхонь деталей для нанесення покриттів .....	64
4.3 Будова та склад лінії .....	65
4.4 Будова та принцип дії складових частин лінії.....	66
4.5 Розміщення та монтаж лінії.....	71
4.6 Розробка автоматичної системи керування лінії підготовки поверхонь до нанесення покриття.....	74

4.7 Розробка та компоновка функціональної схеми автоматичної системи керування лінії .....	78
4.8 Блок процесорного комплекту .....	80
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....	85
САПР І РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	85
5.1 Загальні відомості про систему команд КР1816ВЕ51 (МК51).....	85
5.2 Група команд пересилання даних.....	89
5.3 Група команд арифметичних операцій .....	90
5.4 Група команд логічних операцій .....	91
5.5 Група команд операцій з бітами .....	91
5.6 Група команд передачі керування .....	91
6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	94
6.1 Загальні положення по визначенню економічної ефективності. ....	94
6.2 Розрахунок витрат на виготовлення та використання модернізованої системи управління. ....	94
6.3 Розрахунок економічного ефекту від виготовлення та експлуатації приладу за розрахунковий період.....	105
6.4 Розрахунок ефективності капітальних вкладень. ....	106
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ....	108
7.1 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	108
7.1 Правила безпеки при експлуатації обладнання лінії підготовки поверхонь .....	108
7.2 Заходи забезпечення електробезпечності електроустановки .....	109
7.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	113
7.2.1 Розробка заходів які зменшують небезпеку виникнення вибухів і пожеж на дільниці в цеху .....	113
7.2.2 Оцінка хімічної обстановки на підприємствах, що використовують СДОР в технологічних цілях.....	115

7.2.3	Поняття про хімічну обстановку на об'єкті та її оцінку .....	115
7.2.4	Методи оцінки хімічної обстановки на промисловому об'єкті.....	117
7.2.5	Особливості оцінки хімічної обстановки на хімічно небезпечному об'єкті .....	118
8	ЕКОЛОГІЯ .....	122
8.1	Актуальність охорони навколишнього середовища.....	122
8.2	Основні джерела забруднень гальванічного виробництва та обладнання для їх усунення .....	123
8.3.	Заходи по усуненню шкідливих впливів гальванічного виробництва ...	128
	ВИСНОВОК.....	131
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	135
	ДОДАТКИ.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>



## ВСТУП

Технології очищення постійно удосконалюються. Широко використовується в технологіях очищення спирто-бензинової суміші для відмивання деталей від залишків змащень і технологічних забруднень втрачає ефективність у міру зменшення розмірів компонентів. У зменшуваних пазухах і зазорах немає потрібного обміну розчину, щоб вимити звідти технологічні забруднення. Бажання поліпшити відмивання збільшенням її часу приводить до вимивання корисних компонентів, утворенню білуватої нальоту на поверхні деталей.

Практикована за рубежом конденсаційне очищення, що використовує хлоровані і фторовані вуглеводні, наносить шкоду екології нашої планети й у перспективі зникне. У той же час вимоги до якості очищення безупинно підвищуються. Чистота стала актуальним фактором якості в багатьох галузях промисловості, чого не було в минулому. В промисловості, де чистота була завжди важлива, вона стала ще більш критичним фактором у забезпеченні спроможності високих технологій. Створюється враження, що кожне удосконалення технології вимагає усе більшої і більшої уваги до чистоти для його реалізації. У результаті технології очищення протягом останніх декількох років були критично переглянуті. Багато хто з них тепер засновані на використанні ультразвукових методів очищення.

Дійсно, які б ефективні миючі розчини не використовувалися, без додавання акустичної енергії ультразвуку немає можливості забезпечити заданий рівень очищення.

# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Підготовка поверхні до нанесення покриття

При нанесенні захисних та декоративних покриттів задача підготовки поверхні виконується на окремих ділянках з використанням спеціальних технологічних прийомів та переходів. Для цього використовується спеціальне обладнання, яке може бути багатофункціонального використання, наприклад ванни, які використовують для хімічного обезжирення можуть бути використані і для інших операцій – пасивування, хімічне фосфатування, хроматування і т.п.

До складу ділянки підготовки поверхонь до нанесення покриття входять такі одиниці основного технологічного обладнання:

- Лінія знежирення з ваннами і підвісним маніпулятором.
- Комплексне робоче місце для мийки, знежирення і сушіння великогабаритних виробів.
- Лінія мийки з гратчастим транспортером.
- Барабанна миюча установка.
- Сепаратор олії.

Крім цього можуть використовуватись і механічні методи підготовки, такі як дробоструменева і др. Механічні методи дозволяють виконувати крім очистки поверхні від механічних забруднень, формувати декоративну поверхню (декоративна шорсткість і т.п.)



Рисунок 1.1 Лінія  
знежирення з ваннами і  
підвісним маніпулятором

забруднення і механічні вади поверхні.

Дуже ефективні абразивні і дробоструменеві способи підготовки поверхні, що особливо гарні при видаленні механічних пороків і окислів у виді окалини й іржі. Хотілося б відзначити, що в деяких випадках після цієї обробки можна приступати безпосередньо до нанесення покриття. Однак у переважній більшості випадків тепер настає черга хімічної обробки.

**Знежирення** - видалення олій, жирів, слідів поту, солей, шламу органічними розчинниками, лужними водяними й емульсійними складами.

Знежирення уайтспіритом, бензином і т.п. є найбільш простим методом і обмежується протиранням, промиванням виробів у двох-трьох чи ваннах високонапорним оббризуванням. Однак, їхня висока вартість, пожежонебезпека, невисока якість очищення, а головне, токсичність дозволяють застосовувати цей метод тільки в виключних випадках.

Різноманіття технологій і устаткування для попередньої обробки поверхні зв'язано з незаперечним фактом - як підготуєш, так і приліпиться. А технічною мовою - підготовка поверхні в значній мірі визначає адгезію, а відповідно, і всю стійкість і довговічність покриття. Забруднення на поверхні під покриттям приводять до виникнення мікровогнищ корозії і наступному руйнуванню покриття.

Недоліки поверхні металевих деталей перед нанесенням покриття можна підрозділити на органічні і неорганічні забруднення, на змішані і хімічні

Більш сучасним є знежирення лужними водяними складами. Їхню основу складають солі ортофосфорної, борної й іншої кислот, а також поверхнево-активні речовини. Ці речовини вибухобезпечні, малотоксичні, піддаються регенерації. До їхніх недоліків можна віднести більший час очищення, необхідність механічного перемішування і підігріву робочого розчину, піноутворення.

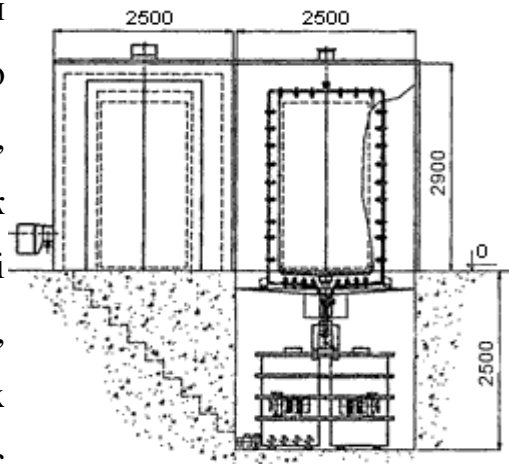


Рисунок 1.2 Комплексне робоче місце для мийки знежирення і сушіння великогабаритних виробів

Комбінований спосіб, що сполучить достоїнства застосування органічних розчинників і лужних складів - це емульсійне знежирення. Емульсії розчинників у воді, стабілізовані поверхнево-активними речовинами, володіють високою розчинюючою, змочувальною і емульгуючою здатністю, тому в процесі такого очищення з металеві поверхні цілком віддаляються як різні олії так і неорганічні забруднення.

Емульсійні процеси вимагають устаткування для нейтралізації і знешкодження відпрацьованих складів, виробництво якого налагоджено в нашій групі на високому рівні.



Рисунок 1.3 Лінія мийки з гратчастим транспортером

**Травлення** - це видалення з поверхні виробів природних окисних плівок, окалини, іржі за допомогою розчинів на основі сірчаної, соляної, фосфорної, азотної кислоти, їдкого натру.

Достоїнствами такого очищення є велика продуктивність, простота застосовуваного устаткування і процесу, можливість обробки виробів будь-якої

товщини і складності. До недоліків відносяться необхідність ретельного

відмивання поверхні, а значить висока витрата води; необхідність очисних споруд для чи нейтралізації регенерації відходів.

Створення проміжних покриттів також відноситься до сфери попередньої підготовки.

**Фосфатування** - одержання на металевій поверхні плівки з важкорозчинних фосфорнокислих солей. Фосфатні плівки збільшують адгезію покриття і перешкоджають поширенню підплівкової корозії. У залежності від складу фосфатуючого розчину на металевій поверхні утворюються цинкофосфати з вираженими кристалічними ґратками, або аморфні залізофосфати.

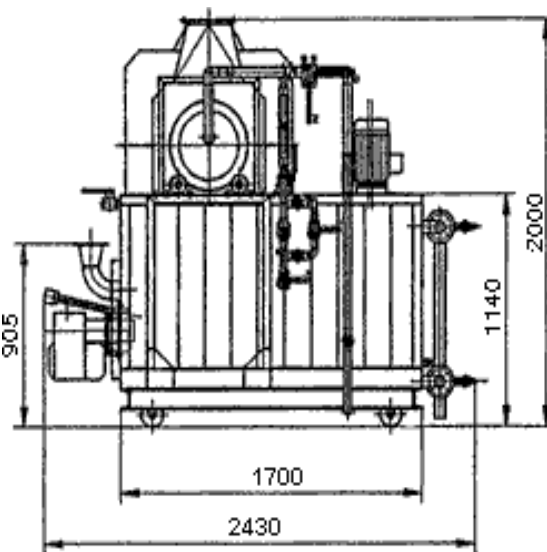


Рисунок 1.4 Барабанна миюча установка

**Пасивування** є заключною стадією підготовки поверхні. Воно запобігає можливості виникнення вторинної корозії і може бути рекомендоване як при підготовці поверхні тільки знежиренням, так і у випадку її фосфатування.

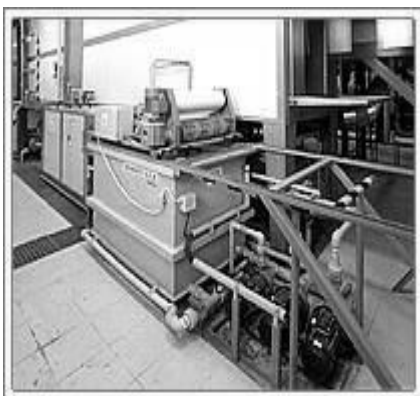


Рисунок 1.5 Сепаратор олії

**Хроматування** - обробка поверхні виробів з алюмінію і його сплавів розчинами хромового ангідриду з метою одержання аморфного хроматного шару, що підвищує адгезію і довговічність покриття. Технологічний процес хроматування аналогічний фосфатуванню.

**Утилізація олій** - оскільки гарне

очищення поверхні полягає у видаленні олій, то неодмінно виникає і задача збору й утилізації масляних відходів. Тому в складі гарної миючої лінії чи установки обов'язково передбачається пристрій утилізації олії.

## **1.2 Методи підготовки поверхні**

Перед фарбуванням будь-якими методами поверхня повинна бути очищена від жирових забруднень, засобів консервації, змащувально-охолоджуючих рідин, а також від окалини, іржі і неорганічних солей; бажана наявність на поверхні шарів (фосфатних, хроматних і ін.), що поліпшують адгезію лакофарбового покриття і подовжують термін його служби. Чим агресивніше середовище, у якій експлуатуються покриття, тим ретельніше повинна бути підготовлена поверхня.

Мінімальна товщина лакофарбового покриття повинна на 20% перевищувати максимальну висоту мікронерівностей. При зайвій шорсткості підвищується витрата лакофарбового матеріалу, але термін служби покриття при цьому не збільшується. Найчастіше корозія починається на піках поверхні, слабо укритих лакофарбовим матеріалом.

Максимальна величина шорсткості поверхні, прийнятна для фарбування, дорівнює 40 мкм. Величини  $R_a$  і  $R_z$  залежать від таких технологічних факторів, як склад полірувальних паст і режими полірування, склад травильних розчинів і режими травлення, тип щіток і технологія обробки щітками, гранулярний склад, твердість і швидкість подачі абразиву при абразивній обробці і т.д.

Найбільше широко поширені фізико-хімічні (частіше їх називають просто хімічними) і механічні методи підготовки поверхні. Рідше застосовують термічні методи.

Метод підготовки вибирають у залежності від багатьох факторів і на підставі техніко-економічних розрахунків. Вартість обробки не завжди є визначальним чинником, тому що економія, досягнута шляхом зниження якості обробки, може дати збитки через зниження терміну служби покриття.

При нехватці виробничих площ можна сполучати хімічні операції, наприклад травлення зі знежиренням, знежирення з фосфатуванням (для виробів зі слабозажиреною поверхнею), знежирення з пасивацією – Користуючись табл. 1.2, визначають наступні методи застосування підготовки поверхонь:

1. Дробоструменевий і дробометний методи очищення допускається застосовувати для вузлів і деталей з товщиною стінки не менш 3 мм, газополум'яний – при товщині стінки не менш 6 мм.
2. Для виробів складної й особливо складної конфігурації не рекомендується застосовувати стаціонарні дробометні установки.
3. При виборі хімічних методів підготовки поверхні необхідно враховувати можливість організації процесу нейтралізації відпрацьованих травильних розчинів і стоків.
4. В умовах серійного й одиничного виробництв допускається застосовувати розчини фосфорної кислоти для травлення сталевого прокату зі звареними з'єднаннями.
5. При фосфатуванні виробів зі звареними з'єднаннями необхідно перевіряти міцнісні характеристики зварених швів
6. Після травлення лиття потрібно ретельно відмивати поверхні від солей і кислот.
7. Для знежирення алюмінію не допускається застосовувати сильнолужні (РН = 12-14) розчини і трихлоретилен.
8. Для підготовки алюмінію під фарбування більш ефективно хроматування, чим фосфатування.
9. Абразивна обробка алюмінію виробляється дробленими фруктовими чи кісточками скляними кульками.
10. Зварені шви при всіх методах обробки повинні бути додатково зачищені і захищені фосфатуючими й іншими грунтовками.

Таблиця 1.1 Вплив методу обробки поверхні на довговічність лакофарбового покриття по сталі (товщини шару покриття ~100 мкм)

Метод обробки	Термін експлуатації покриття, роки	Примітки
Без обробки	0,5-1,5	При фарбуванні по щільній тонкій окалині
Продовження таблиці 1.1 .		
Щітками (вручну)	1-1,5	На поверхні залишається до 250 мг/дм ржа вчини
Механізованим інструментом	2 – 2,5	
Травлення	6 – 8	
Піскоструминна	10 –11	

### 1.3 Хімічні методи

#### 1.3.1 Знежирення

Під терміном «знежирення» звичайно мають на увазі видалення з поверхні виробів не тільки жирових речовин, що містяться в полірувальних складах, емульсійних охолодних рідинах, консерваційних і штампувальних змазках, але і слідів поту, солей, що залишаються на поверхні після промивань, шламу після травлення й ін.

При підготовці поверхні під фарбування розрізняють три ступені зажиреності виробів (табл. 1.2).

Вибір методу знежирення визначається видом забрудненні, необхідною ступенем очищення, впливом миючого складу на оброблюваний метал, безпекою при роботі і вартістю.

Найбільше поширення одержали методи знежирення органічними розчинниками, лужними розчинами й емульсійними складами.



### 1.3.2 Знежирення органічними розчинниками.

В індивідуальному, а іноді й у серійному виробництвах поверхні знежирюють, протираючи матерією, змоченою бензином чи уайтспиритом, які добре розчиняють мінеральні олії і консерваційні змащення. У цьому випадку задовільна якість забезпечується лише за умови ретельного контролю чистоти розчинника, тому що розчинююча здатність його різко знижується при змісті в 1 л більш 5 мг мінеральної олії.

Таблиця 1. 2 Класифікація виробів по ступені зажиренності

Ступінь зажиренності	Характеристика поверхні	Маса забруднень, г/м <sup>2</sup>
Слабка	Легкі нерівномірні забруднення оліями і пилом при міжопераційному збереженні	До 1
Середня	Невеликий рівномірний шар змащення, охолоджувальних емульсій з металевою стружкою; утворюються при механічній обробці	1-5
Сильна	Шар накипу олії після термообробки, товсті шари консерваційної змазки, важковидалювані графітові змазки і т.п.	До 20 (для важких – без обмеження)

Застосування зазначених розчинників зв'язане з пожеже- і вибухонебезпекою. Вогнебезпечні розчинники іноді замінюють негорючими розчинниками –хлорованими вуглеводнями з порівняно низькою температурою кипіння (табл. 1.3). За допомогою цих розчинників можна обробляти вироби як в рідкій, так і в паровій фазах. У промисловості застосовують такі розчинники: трихлоретилен (ТХЕ), перхлоретилен (ПХЕ) і хлористий метилен (метиленхлорид), найбільш часто – трихлоретилен.

Технологічний процес складається з наступних операцій: обробки в рідкому розчиннику (з температурою від кімнатної до кипіння) методом занурення чи розпилення; обробки в паровій фазі. Останню звичайно використовують у якості заключної, коли пари розчинника, вільного від

забруднень, конденсуються на поверхні виробу і забезпечують висока якість очищення.

Частіше інших застосовують процеси за схемою «нагрітий рідкий розчинник – пар», поширена також схема «нагрітий рідкий розчинник – струмінь холодного розчинника – пар» для очищення виробів складної конфігурації.

Виробу з алюмінію і його сплавів обробляють не ТХЕ, а ПХЕ, оскільки алюміній утворює із ТХЕ вибухонебезпечні суміші.

У залежності від ступеня зажираності виробів застосовують різні способи обробки хлорованими вуглеводнями (табл. 1.3).

Знежирення в хлорованих вуглеводнях застосовне як для дрібних деталей, оброблюваних у кошиках, так і для великих деталей, що знежирюються в прохідних камерах.

Важливою особливістю цих розчинників є можливість їх регенерувати методом простої перегонки, після чого варто перевірити рН водяної витяжки, який становитиме  $\sim 7$ . При зниженні цієї величини необхідно зробити додаткову стабілізацію розчинника триетиламіном.

Стабілізовані хлоровані вуглеводні не роблять корозійного впливу на сталь і кольорові метали

Усі хлоровані вуглеводні токсичні При роботі з ними необхідно керуватися правилами техніки безпеки і виробничої санітарії при виробництві металопокриттів. У приміщеннях не допускається робота з відкритим полум'ям, тому що можливе утворення фосгену. Припустима концентрація парів ТХЕ і ПХЕ в повітрі  $-10 \text{ мг/м}^3$

### **1.3.3 Лужне знежирення.**

При введенні у водянні лужні розчини поверхнево-активних речовин (ВРЛАР) різко підвищується їхній миюче дія внаслідок здатності ВРЛАР адсорбуватись на металевій поверхні і змінювати швидкість обміну речовин між металом і миючим розчином

Склад миючого розчину визначається видом забруднення, металом, необхідним якістю очищення, умовами ведення процесу.

Миючі композиції (миючі засоби) складаються в основному із суміші неорганічних солей і набору ВРЛАР; обидві складові частини впливають на технологічні властивості розчинів. Призначення неорганічних солей представлені нижче.

Вміст ВРЛАР в лужних розчинах на більш 10%. Частіше інших застосовують суміші аніоноактивних і неіоногенних ВРЛАР. До першого відносяться сульфонол, ДСТ 12389 –66, і ДС-РАС натрієвий; до других – ОП-7 і ОП-10, ДСТ 8433 –57, що представляють собою продукти оксиетилювання моно- і діалкілфенолів. ДС-РАС є ефективним змочувачем, ОП і сульфонол – емульгаторами.

Негативною властивістю ОП-7 і ОП-10 є їхня біологічна твердість, що утрудняє процес очищення стічних вод. Неіоногенні ВРЛАР типу синтанола ДТ-7, ТУ 6-14-45-8 –70, володіють сильною миючою дією, є біологічно розкладеними; їхнє застосування перспективне. Позитивна дія на технологічні властивості розчинів (маслоємність, стабільність і ін.) роблять катіоноактивні речовини, наприклад алкамон ОС-2, ДСТ 10106 –62, який утрудняє повторне осідання забруднень на очищену поверхню.

Області застосування розчинів, що знежирюють, у залежності від їх РН приведені в табл. 1.3.

У табл. 1.4 приведені орієнтовані склади лужних розчинів для обробки поверхні перед фарбуванням, у табл. 1.4 – склади для одночасного знежирення і травлення.

Крім розчинів, приведених у табл. 1.3, у промисловості застосовують розчини, що складаються з 5 –10 г/л моноетаноламіна (МЕА) і 2 –5 г/л ОП-7 чи ОП-10. МЕА забезпечує розчину інгібітуючі корозії властивості; через відсутність неорганічних солей знижується його ефективність. Миюче дія розчину забезпечується винятково наявністю ПАВ. Доцільно вводити МЕА в

лужні розчини в тих випадках, коли спостерігається корозійний вплив розчину на оброблювану поверхню.

Таблиця 1.3 Області застосування миючих розчинів різної лужності

Лужність миючих розчинів	pH миючих розчинів	Області застосування
Сильнолужні	13 – 14	Видалення методом занурення важкозйомних забруднень зі сталі, окислів з алюмінію (обов'язкове наступне освітлення поверхні)
Средньоалужні	11 – 12	Очищення сталі методом розпилення перед чи фарбуванням фосфатуванням Продовження Таблиці 1.3 .
Слаболужні	9 – 10	Очищення алюмінію, магнію і їх сплавів зануренням і розпиленням перед фарбуванням, а сталі методом розпилення перед фосфатуванням

У випадку знежирення розпиленням поверхні перед фосфатуванням повинні бути забезпечені умови для формування рівномірної щільної мілко кристалічної фосфатної плівки. Поверхня не повинна пасивуватися при знежиренні, тому РН миючого розчину повинний бути не більшим 11.

Одна з миючих композицій, що задовольняє цим вимогам, розроблена НИИТЛП і має наступний склад (% по масі):

Карбонат натрію	22,5
Тринатрійфосфат	18,9
Триполіфосфат натрію	50,6
Сульфонол	2,3
Синтанол ДТ-7	5,7

Концентрація миючої композиції в робочому розчині від 5 до 10 г/л. Композиція випускається під маркою КМ-1 у виді сухого порошку, готового до застосування.

У розчини для знежирення розпиленням перед фосфатуванням не рекомендується вводити силікати, що негативно впливають на якість фосфатного шару.

Збільшення часу обробки вище 5 хв при обробці розпиленням і вище 20 хв при обробці у ваннах недоцільно; у таких випадках необхідно змінити склад розчину.

При помітному погіршенні якості знежирення (за інших рівних умов) відпрацьований лужний розчин зливають. Частота зливу залежить від багатьох факторів і визначається для кожного технологічного процесу.

Середня витрата миючих композицій повинний знаходитися в межах від 2 до 5 г/м<sup>2</sup> оброблюваної поверхні. Регенерувати лужні розчини економічно недоцільно.

Після знежирення лужними розчинами поверхню промивають водою; від якості промивання багато в чому залежить довговічність лакофарбового покриття. Залишки солей на поверхні, що фарбується, сприяють проникненню вологи крізь покриття, розвитку підплівкової корозії. На поверхні виробу залишається миючий розчин, кількість його залежить від конфігурації виробу і повинна бути врахована при технологічних розрахунках і установленні швидкості протікання води в промивних зонах агрегатів.

Таблиця 1.4 Призначення неорганічних солей у лужних миючих засобах

Найменування солі	Призначення в миючому засобі	Примітки
Фосфорнокислі солі (тринатрійфосфат, тетрапірофосфат натрію, триполіфосфат натрію, гексаметафосфат натрію)	Усувають твердість води, утворити комплексні з'єднання з іонами лужноземельних і важких металів; перешкоджають повторному осадженню забруднень на відмитій поверхні; регулюють рН середовища	
Кальцинована сода	Створює запас лужності, регулює рН середовища	
Каустична сода	Регулює рН середовища	
Силікати (ортосилікати, метасилікати натрію, калію)	Забезпечують інгібітуючу дію розчину стосовно металу, що відмивається (алюмінію), поліпшують миюче дія розчинів	Не вводяться в миючі засоби перед фосфатуванням (негативно впливають на властивості цинк-фосфатних покриттів)

Таблиця 1.5 Склад і технологічні режими одночасного знежирення і травлення сталевого прокату

Склад розчину		Спосіб обробки	Режим роботи			Примітки
Компоненти	Кількість г/л		Температура розчину, °С	Час, хв	Тиск струменя, кгс/см <sup>2</sup>	
Сірчана кислота (d=1,84) ОП-7(чи синтанол ДТ-7)	175 – 200  3 – 7	У дзвонових чи барабанно шнекових установках	50 – 60	5–10	–	–

Сірчана кислота (d = 1,84) ОП-7 (чи синтанол ДТ-7) Піногасник ЕАП-40 чи АТ-60	100-110 1,5-2,0 0,1- 0,15	У струминних камерах	50 60	3 5	2,5 3,0	
Сірчана кислота (d = 1,84) Хлористий натрій Сульфонол	100 -120 100 -120 2 - 3	Те ж	50 60	3 5		Для обробки виробів простій і середньої складності конфігурації
Фосфорна кислота ОП-7 (чи синтанол ДТ-7) Піногасники ЕАП-40	100 -150 1,5 - 2,0 0,1 - 0,15	Те ж	60 70	3 5		Для обробки виробів складної конфігурації з кишнями, зазорами і наявністю швів точкового зварювання %

Таблиця 1.6 Кількість миючого розчину, подаваного з виробом у зону промивання

Характеристика поверхні	Кількість розчину на 100см <sup>2</sup> поверхні, л
Вертикальна, вода стікає добре	0,1
погано	0,5
дуже погано	1,0
Горизонтальна, вода стікає добре	0,2
погано	2 – 6
Чашоподібна, вода стікає дуже погано	2 – 6

Кількість сумісного з виробом розчину можна зменшити, якщо раціонально підвісити виріб чи просвердлити отвори для стоку розчину.

Промивання повинне бути організоване так, щоб сумарний зміст солей в промивній воді не перевищувало 100 мг/л.

При каскадних промиваннях знижується витрата води (каскадної чи багатоступінчастий називається промивання, при якій вода з третьої промивної ванни подається в другу, а з другої – у першу). Чисту воду варто подавати з розрахунку 25 –50 л на 1 м<sup>3</sup> оброблюваної поверхні. Підвищення температури води вище 60°C нераціонально, тому що розчинююча здатність при цьому не підвищується, а з води можуть виділятися важко розчинні солі й осідати на поверхні, що відмивається. Після лужного знежирення можна застосовувати холодні промивання, наприклад дві послідовні. Перенос миючого растра в зону промивання скорочується при проточному промиванні струменем холодної води протягом 5 –10 з; при цьому з поверхні віддаляється близько 80% лужного розчину. Наступної в цьому випадку є промивання з рециркуляцією води

#### **1.3.4 Емульсійне знежирення**

**Емульсійне знежирення** – комбінований спосіб, що сполучає достоїнства органічних розчинників і водяних лужних розчинів. Емульсійні склади являють собою емульсії розчинників у воді, стабілізовані поверхнево-активними речовинами. Частіше інших використовують емульсії хлорованих вуглеводнів з ПАВ, що застосовуються в лужних складах. У промисловості емульсійні склади використовують для зняття важковтдалюваних забруднень, консистентних мастил, нагарів масел, старих лакофарбових покриттів. Емульсійні склади на основі хлорованих вуглеводнів не горючі, не вибухонебезпечні.

У НИИТЛП розроблені емульсійні склади на основі ТХЕ й ВРЛАР. З Один з них має наступну рецептуру (% по масі):

ДС-РАС натрієвий	1,0
ОП-10	1,0
Пірофосфат натрію	0,5



Оксиамін	0,5
Трихлоретилен	20
Вода	Інше

При наявності ПАВ в емульсійному складі забруднення швидше віддаляються без повторного їхнього осадження на виробі. Процес очищення може вироблятися як при нагріванні до 50° С, так і при кімнатній температурі.

Застосовуючи метиленхлорид і ТХЕ в емульсіях, можна видаляти багато видів лакофарбових покриттів, такі як пентафталеві, меламіноалкідні й ін. В емульсійних складах лакофарбове покриття частково розчиняється і порушується його зв'язок з поверхнею, у результаті чого покриття відшаровується через 15 –20 хв після занурення виробу у ванну з емульсією. У багатьох випадках такий процес може замінити видалення старих лакофарбових покриттів у концентрованих розчинах їдкої натри при високих температурах

Емульсійні склади, загущені карбоксилметилцеллюлозою (КМЦ), можна застосовувати для видалення лакофарбових покриттів з вертикальних поверхонь

### **1.3.5 Контроль і коректування розчинів у ваннах знежирення.**

Аналітичний контроль лужних розчинів, що знежирюють, виробляється 1 –2 рази в день. Лужність розчину визначають шляхом прямого титрування його 0,1 РН розчином соляної кислоти в присутності індикаторів – бромкрезолового зеленого чи метилоранжу. Кількість соляної кислоти в мілілітрах, витрачене на титрування 10 мл лужного розчину, характеризує його лужність в умовних одиницях (точках). Недоцільно аналітично визначати окремі складові лужного розчину. Лужні розчини коректують вихідним миючим засобом при зниженні лужності на 1 –2 точки. Зміну лужних розчинів роблять у міру їх забруднення і зниження миючої дії.

Частоту зміни встановлюють дослідним шляхом (за звичай 1 раз у 1 –2 тижні).

#### **1.4 Травлення чорних металів**

Процес травлення може вироблятися шляхом занурення виробів у чи ванни розпиленням травильних розчинів в установках тунельного типу. Для травлення виробів, що не мають зварених швів, варто застосовувати соляну, сірчану, а краще ортофосфорну кислоту.

Одним з недоліків травлення розчинами кислот є необхідність нейтралізації і спеціальної обробки, великого обсягу стічних вод. Тому на багатьох машинобудівних заводах застосування травлення обмежене.

Технологічний процес хроматування магнію і його сплавів як і склад хроматуючого розчину залежить від типу сплаву і способу попереднього одержання виробів. Знежиренню литих і деформованих деталей передую механічне очищення. Послідовність технологічних операцій при хроматуванні магнію і його сплавів наступна:

- Знежирення.
- Промивання в теплій і холодній воді.
- Хроматування.
- Промивання в холодній і теплій воді.
- Пасивація в розчині біхромату калію.
- Промивання в теплій воді.
- Сушіння.

У [18] приведені склади розчинів і технологічні режими хроматування магнію і його сплавів, найбільш розповсюджені у вітчизняній промисловості. Якість хроматної плівки оцінюється візуально: вона повинна бути суцільною. Захисні властивості плівки визначають вибірково краплинним методом розчином складу (г/л): 0,5  $\text{KMnO}_4$ , 13,5  $\text{HNO}_3$ . При 20°C час до знебарвлення краплі розчину, нанесеної на хроматну плівку з гарними захисними властивостями (після наповнення в розчині біхромату калію і витримки 24 ч)

більш 300с. Перед фарбуванням можлива електрохімічна обробка магнію і його сплавів – анодне окиснення чи окиснення змінним струмом; отримані оксидні плівки дещо поступаються хроматним по захисних властивостях. Для електрохімічної обробки магнію і його сплавів рекомендується розчин наступного складу (г/л): 250–300  $\text{NH}_4\text{HF}_2$ , 60–80  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 60–70  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (85%-ний); напругу змінного струму 75 –90 В, початкова щільність струму 5 –6 А/дм<sup>2</sup>, у процесі росту плівки вона зменшується.

Тринатрійфосфат	50 60
Силікат натрію (рідке скло)	25 30

Знежирення магнію і його сплавів роблять при 50 - 60° С за час 4 –5 хв в органічних розчинниках чи лужних розчинах, наприклад, що відповідає складу 10 (г/л).

### **1.5 Механічні методи очистки поверхонь**

До механічних методів очищення відносяться: гідравлічний, електрогідравлічний, гідроабразивний, дробоструменевий, дробометний, пароструминний, очистка ручним і механізованим інструментом, на верстатах і в галтовочних барабанах, у тому числі вібраційних.

Механічні методи очищення застосовують у всіх галузях народного господарства.

До переваг цих методів відносяться:

- 1) можливість обробки усіх видів виробів чавунних, сталевих, з легких і кольорових металів, у тому числі великогабаритних (будь-якої довжини і висоти), дрібних деталей зі збереженням їхньої форми і розмірів; деякі механічні методи можуть застосовуватися при очищенні виробів з деревини, тканин, шкіри, пластмас, гуми, скла й інших неметалічних матеріалів;
- 2) створення оптимальної шорсткості поверхні, що забезпечує високу адгезію лакофарбового покриття до поверхні;

3) можливість обробки виробів і деталей безпосередньо на робочих місцях без капітальних споруд (механізованим інструментом, безпилувими дробоструменевими установками);

4) можливість включення процесів дробоструменевого, дробометного, гідравлічного очищення в потокові і конвеєрні лінії;

5) відсутність солей на очищеній поверхні і необхідності їхнього видалення промиванням;

6) виключення з технологічного процесу операції сушіння (за винятком гідроабразивного і гідравлічного методу очищення).

До недоліків механічних методів очищення відносяться: значна вартість обробки, особливо при ручному очищенні; мала продуктивність (за винятком дробометного і гідравлічного очищення); наклеп оброблюваної поверхні при дробометному очищенні.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Кавітаційні ефекти й механізми ультразвукового очищення

Сучасний рівень техніки пред'являє усе більш серйозні вимоги до точності виготовлення деталей, збирання вузлів машин, що працюють в умовах високих температур, агресивних середовищах і т.д.

При виготовленні поверхня деталей неминує забруднюється. До технологічних забруднень відносять різні окисні плівки, пригари, абразивні пасти, СОЖ, шаржовані в поверхню частки абразиву. Іноді оброблену поверхню покривають захисними плівками, що запобігають корозію деталей у період міжопераційного зберігання. Однак надалі ці плівки можуть впливати на заключній стадії виготовлення й складання прецизійних виробів.

Недооцінка процесів фінішного очищення, особливо прецизійних деталей, приводить до того, що поряд з комплексною автоматизацією й механізацією процесів формоутворення існують операції по очищенню й зняттю заусенець із застосуванням ручної праці. Очищення прецизійних деталей потрібно розглядати як процес чистової обробки, що полягає з комплексу послідовних операцій. Комплексні процеси очищення необхідні для обмеження й виключення негативного впливу технологічної спадковості попередніх операцій.

Як показали дослідження останніх 10-15 років, застосування ультразвуку для інтенсифікації процесів очищення є найбільш ефективним із усього арсеналу засобів, використовуваних для очищення прецизійних деталей. Очевидно, цим пояснюється той факт, що ультразвукове очищення по масштабах впровадження в практику й по кількості технологічного устаткування, що випускається, посідає перше місце серед інших областей технологічного застосування ультразвуку в машинобудуванні.

Технологічні напрямки (мал. 2.1) різняться між собою акустичними режимами, конструкцією ультразвукових коливальних систем, схемами

очищення й конструкцією устаткування. Кожен із цих напрямків має свою найбільш ефективну область використання.

Низькоамплітудне очищення характеризується питомою випромінюваною акустичною потужністю, що не перевищує  $w \gg 2,3 \text{ Вт} / \text{см}^2$ , і амплітудами коливання джерела звуку  $x \gg 2,3 \text{ мкм}$ . При цьому очищенні використовують магнітострикційні перетворювачі (ПМС) з випромінюючими елементами у формі гнутих коливних пластин або складені перетворювачі з п'єзокераміки.

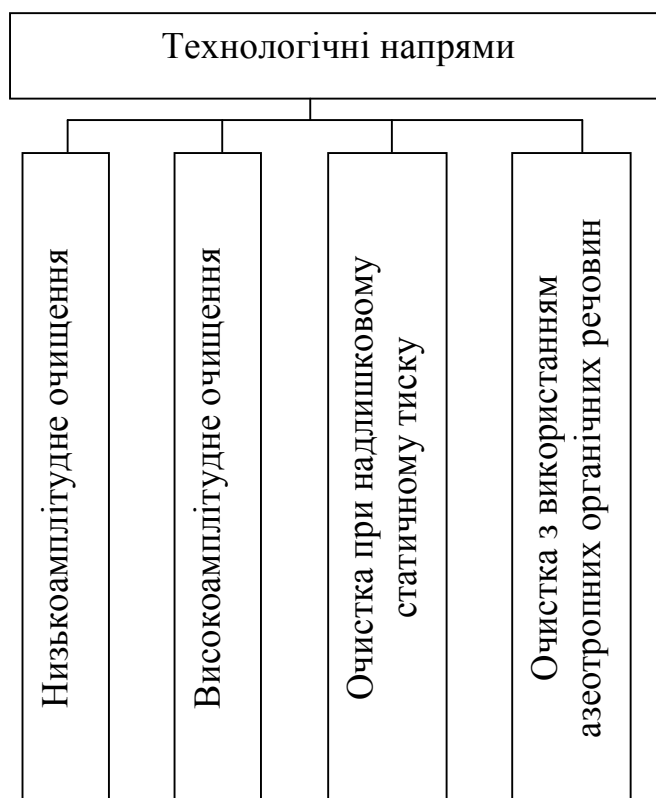


Рис. 2.1 – Технологічні напрями процесів ультразвукового очищення

Ці перетворювачі мають більшу площу випромінюючої поверхні, їх монтують у дно або бічні стінки ультразвукових ванн (УЗВ) для очищення. Особливістю устаткування, оснащеного такими перетворювачами є нерівномірний розподіл кавітаційних ефектів у технологічному обсязі. Тривалість процесу очищення може досягати десятків хвилин.

Пошуки шляхів посилення ерозійних ефектів привели до появи ультразвукової технології при надлишковому статичному тиску. У цьому випадку в технологічному обсязі створюють надлишковий статичний тиск 0,2-0,5 МПа за рахунок зовнішнього джерела. Це дозволяє в десятки й сотні

раз підвищити інтенсивність кавітаційної ерозії. В устаткуванні, що серійно випускається, використовують стрижневі й кільцеві коливальні системи, випромінювана акустична потужність досягає 8-10 Вт/см<sup>2</sup>. Особливістю цього напрямку є обмеження розмірів технологічного обсягу, пов'язане з випромінюючими пристроями надлишковим тиском, що й накладає. Високий рівень ерозійного впливу визначив і область найбільш ефективного використання цього напрямку. Обробці піддають дрібні деталі для відділення заусенець і забруднень, міцно пов'язаних з поверхнею.

Необхідно виділити як самостійний напрямок застосування при ультразвуковому очищенні азеотропних композицій на основі галогенопохідних вуглеців і, зокрема, на основі фреону 113 і фреону 144 В2. Використання композицій на основі фреонів дозволило різко підвищити розчинюючу здатність технологічних рідин, а з обліком низької ерозійної здатності органічних розчинників стало можливо здійснювати обробку виробів, що не допускають ерозійного впливу на поверхню. Використання низькокипящих органічних рідин спричинило розробку устаткування, герметизуючого технологічну зону, що й дозволяє робити регенерацію технологічних середовищ. Очищення з використанням фреонових композицій дозволяє забезпечити високий ступінь очищення, знежирення поверхні й використовується при очищенні деталей від механічних забруднень, розконсервації деталей і складальних одиниць, для видалення флюсів і т.д. [5]. У цих процесах випромінювана акустична потужність не перевищує 1–2 Вт/см<sup>2</sup>.

Процеси високоамплітудного ультразвукового очищення, розроблені в Радянському Союзі, передбачають використання стрижневих коливальних систем, що забезпечують у рідині амплітуду коливань джерела звуку  $\times 3 \cdot 10^{-5}$ , 15 мкм. При цих амплітудах випромінювана в рідину потужність досягає 10–20 Вт/см<sup>2</sup>. Висока щільність випромінюваної в технологічний обсяг акустичної потужності спричинила виникнення в рідині ефектів, що дозволили інтенсифікувати процеси очищення. Особливо ефективно таке

очищення в умовах обробки дрібних деталей складної форми. Поглинання звукової енергії, спостерігається з ростом амплітуди коливань у прилягаючій до випромінювача зоні, можна використовувати для керування ефективністю ерозійних процесів і, зокрема, для здійснення очищення в зоні без ерозійного впливу. Універсальне й спеціалізоване устаткування для високоамплітудного очищення широко використовують на підприємствах, які виготовляють та обслуговують паливну апаратуру дизелів. Це технологічний напрямок перспективний для очищення підшипників, прецизійних елементів систем гідравліки і т.д.

Ультразвукові рідинні технологічні процеси й, зокрема, ультразвукове очищення поверхні засноване на використанні ефектів, які виникають у рідині під дією звукових коливань високої частоти й інтенсивності. До них відносяться: акустична кавітація з ерозійним впливом на поверхню, тиск звукового випромінювання, акустичні потоки різної масштабності, капілярний ефект.

## **2.2 Виникнення акустичної кавітації в середовищі очищення**

Під акустичною кавітацією розуміють утворення у рідині пульсуючих пухирців або порожнин, заповнених сумішшю пар-рідина й розчинених у рідині газів. Відомо, що кавітація в рідині виникає під дією змінного звукового тиску з розтягуючим зусиллям, коли воно стає більше деякого критичного значення, відповідного до порога кавітації, який визначається наявністю в рідині слабких місць - кавітаційних зародків. Пульсація пухирців супроводжується вторинними ефектами, інтенсивність прояву яких визначається параметрами звукового поля (частотою, інтенсивністю), а також фізико-хімічними властивостями рідини (в'язкістю, тиском насиченого пари, газовим вмістом і т.д.).

З характерним зхлопуванням кавітаційних порожнин зв'язане явище кавітаційної ерозії, що проявляється в руйнуванні поверхні твердого тіла по границі його розділу з рідиною. Одиначний акт ультразвукової кавітації



полягає в тому, що у фазі розрядження ультразвукової хвилі в рідині розбудовується порушення її сплосності й утворюється кавітаційна порожнина або пухирець. Пухирець при розширенні заповнюється парами рідини й розчиненим у рідині газом, який дифундує усередину пухирця через його стінку. У фазі стиску під дією підвищеного тиску порожнина починає швидко скорочуватися. Пари рідини встигають частково конденсуватися, а газ зазнає сильному адіабатичному стиску.

У момент зхлопування, коли розміри пухирця зменшуються в кілька сот раз, тиск і температура газу усередині пухирців досягають значних величин. Стисла в пухирці парогазова суміш породжує своєрідну "віддачу" у вигляді ударної сферичної хвилі. Поширюючись у рідині, ударна хвиля може викликати специфічні ефекти, такі як руйнування твердої поверхні або кавітаційну ерозію, сонолюмінесценцію, прискорення деяких хімічних реакцій, акустичні мікропотоки і т.д. [30].

Розглянута модель є єдиною можливою формою виникнення й зхлопування кавітаційного пухирця. Установлено кілька динамічних станів пухирця у звуковому полі, наприклад своєрідна несиметрична форма зхлопування, що приводить до утвору високошвидкісного кумулятивного струмка рідини [31]. У кавітуючій рідині присутні пульсуючі пухирці, що роблять радіальні або більш складні коливання протягом тривалого періоду часу.

Виникнення й розвиток кавітаційних пухирців пов'язане зі створенням у рідині певних розтягувальних напруг. Амплітуда негативного тиску звукової хвилі або розтягання рідини, при якому відбувається її розрив, прийнято вважати кавітаційним порогом або кавітаційною міцністю рідини. Для розриву ідеальної рідини необхідно розсунути її частки на величину, рівну приблизно подвоєному міжмолекулярній відстані, для води  $R \gg 2 \times 10^{-10}$  м, при цьому величина необхідного для розриву води розтягувального напруги  $p \gg 2\sigma / R$ . Якщо прийняти для води поверхневий натяг  $\sigma = 8$  Н/м, то відповідно,  $p = 10^3$  МПа. Академіком Я.Б. Зельдовичем показано, що

теоретична міцність рідини може знижуватися в десятки раз за рахунок утворення в ній парових пухирців, поява яких пов'язана з тепловими флуктуаціями рідини. Незважаючи на це, спостережуваний поріг кавітації нижчий теоретично прогнозованої міцності рідини [34].

Для води поріг кавітації становить десятки частки мегапаскаля, і тільки спеціальна обробка води (дегазація та ін.) дозволяє підняти його до 28 МПа при ШС. Настільки низька кавітаційна міцність води пов'язана з наявністю в ній умовно слабких місць – зародків кавітації, з яких навіть при низьких звукових тисках розбудовуються кавітаційні порожнини. Цими зародками можуть бути дрібні нерозчинні пухирці, наповнені газовою сумішшю. Слабкими місцями рідини є також не повністю змочені ділянки поверхні твердих тіл, сторонні домішки, у тріщинах і порах яких практично завжди зберігається газ. Теоретично рідина повинна після певного часу відстою повністю звільнитися від наявних у ній газових пухирців. Великі пухирці повинні поступово спливати й покинути рідину, дрібні ж повинні розчинитися під дією стискаючих сил поверхневого натягу. У рідині присутні пухирці радіусом  $10^5$  мм

Дослідження, проведене В.А. Акуличевим і М.Г. Сиротюком [30], показало, що адсорбція на поверхні пухирця різнозарядних електричних іонів і поверхнево-активних речовин знижує поверхневий натяг і тим самим перешкоджає повному розчиненню газових пухирців. Істотним фактором, що визначають кавітаційну міцність, води, є кількість розчиненого в ній газу. При дегазації рідини кавітаційна міцність підвищується. При зменшенні концентрації в рідині поверхнево-активних речовин, які перешкоджають розчиненню газових пухирців, кавітаційна міцність рідини збільшується.

### **2.3 Пульсації пухирців у звуковому полі та їх вплив на поверхню очищення**

Виникнення кавітації відбувається одночасно в значному обсязі рідини. Простір, займаний кавітаційними пухирцями, прийнято вважати

кавітаційною областю. У виникаючих у звуковому полі в рідині пухирців можливо множество рухів різних типів. Так, у кавітаційній області можуть виникати пухирці, тривалість існування яких обчислюється всього декількома періодами їх власних коливань. Такі пухирці захоплюються з утвором вторинного ударного імпульсу або, втрачаючи сферичну стійкість, також захоплюються з утвором кумулятивного струмка рідини. Такі кавітаційні пухирці вважають нестійкими. Якщо пухирці осцилюють під дією звукового поля й роблять радіальні або більш складні коливання щодо свого рівноважного радіуса протягом тривалого періоду, їх називають стабільними або пульсуючими пухирцями.

Особливістю кавітаційної області є її здатність перетворювати порівняно невисоку середню щільність енергії звукового поля у високу щільність акустичної потужності в момент зхлопування або пульсації кавітаційних пухирців. Теоретичне дослідження кавітаційної області в цілому, з обліком усіх, що розбудовуються фізичних явищ і їх взаємного впливу, неможливо в цей час. У зв'язку із цим роблять певні допущення й аналізують окремі фізичні явища й, зокрема, поведінку одиночного кавітаційного пухирця. Розгляд динаміки одиночного пухирця, незважаючи на фізичну ідеалізацію процесу, дозволяє визначити основні закономірності його коливань оцінити величини тисків і швидкостей при зхлопуванні пухирця, встановити зв'язок пульсацій кавітаційних пухирців з випромінюванням кавітаційного шуму.

Перша спроба теоретичного аналізу зхлопування кавітаційного пухирця й впливу цього зхлопування на поверхню твердого тіла була почата Рэлеєм, який припускав, що в нескінченно великій масі рідини при постійному тиску на нескінченності  $p_{me}$  й усередині пухирця  $p(R)=0$  відбувається швидке зхлопування пухирця:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \frac{\rho_l R \dot{R}^2}{\rho_l} + \frac{1}{r} \frac{d}{dt} (p_v - p(R)) R^3 = 0 \quad (2.1)$$

Із цього рівняння визначали швидкість скорочення стінки пухирця або швидкість зхлопування:

$$u(t) = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_0}{\rho} \frac{\alpha R_m^3}{R} - 1} \quad (2.2)$$

де  $R_m$  – максимальний радіус пухирця;  $R$  – поточний радіус пухирця, що захлопується (при цьому  $p_{\text{в}} = p_0$ ).

Повний час зхлопування пухирця  $t = 0,915 R_0 \sqrt{\rho/p}$ . Модель пухирця не враховувала можливість заповнення пухирця газом і парами рідини, що створюють протитиск, що й демпфірують процес зхлопування, і поверхневий натяг рідини, що створює додаткову стискаючу силу. З урахуванням заповнення кавітаційного пухирця парами рідини, розчиненим газом і стискаючого тиску поверхневого натягу тиск на границі пухирця

$$p(R) = p_{\text{г}} + p_{\text{п}} - \frac{2s}{R} \quad (2.3)$$

де  $p_{\text{г}}$  і  $p_{\text{п}}$  – тиск газу й пари в пухирці відповідно. При зміні радіуса пухирця тиск газу в ньому

$$p_{\text{г}} = \frac{\alpha}{\rho} p_0 + \frac{2s}{R_0} \frac{\alpha R_0}{\rho} \frac{\ddot{\alpha} R_0}{\alpha R} \frac{\dot{\alpha}^3}{\alpha} \quad (2.4)$$

Показник політропи  $\nu$  міняється від 1 при, ізотермічному стиску до 4/3 для адіабатичних пульсацій. Використовуючи вираження (3) і (4), одержимо

$$p(R) = \frac{\alpha}{\rho} p_0 + \frac{2s}{R_0} \frac{\alpha R_0}{\rho} \frac{\ddot{\alpha} R_0}{\alpha R} \frac{\dot{\alpha}^3}{\alpha} + p_{\text{п}} - \frac{2s}{R_0}$$

Якщо прийняти, що тиск удалині від пухирців  $p_{\text{в}} = p_0 - p_m \sin(\omega t)$  або, використовуючи вираження для тиску поблизу пухирця й на нескінченності й підставляючи їх у рівняння (1), одержимо рівняння Нолтинга-Непай-Раса

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} = \frac{3}{2} \frac{\alpha R}{\rho} \frac{\ddot{\alpha}}{\alpha} + \frac{1}{\rho} \frac{\dot{\alpha}}{\alpha} p_0 - p_{\text{п}} - p_m \sin(\omega t) - \frac{\alpha}{\rho} p_0 + \frac{2s}{R_0} \frac{\alpha R_0}{\rho} \frac{\ddot{\alpha} R_0}{\alpha R} \frac{\dot{\alpha}^3}{\alpha} \dot{\alpha} = 0 \quad (2.5)$$

Якщо врахувати, що розширення відбувається ізотермічно, а стиск адіабатично, причому пара, що утримується в пухирці, не встигає сконденсуватися, останній доданок вираження (2.5) приймає вид

$$\frac{d^2 p}{dt^2} p_0 - p_n + \frac{2s}{R_0} \frac{d^3 R_0}{dt^3} \frac{d^3}{dt^3} + p_n \frac{d^3 R_0}{dt^3} \frac{d^3}{dt^3}$$

Це рівняння описує пульсації пухирця, за винятком останньої стадії зхлопування, коли швидкість стінки стає порівнянна зі швидкістю звуку й порушується припущення про нестисливість рідини. Рівняння зхлопування кавітаційного пухирця нелінійні й піддаються чисельному розв'язку на ЕОМ.

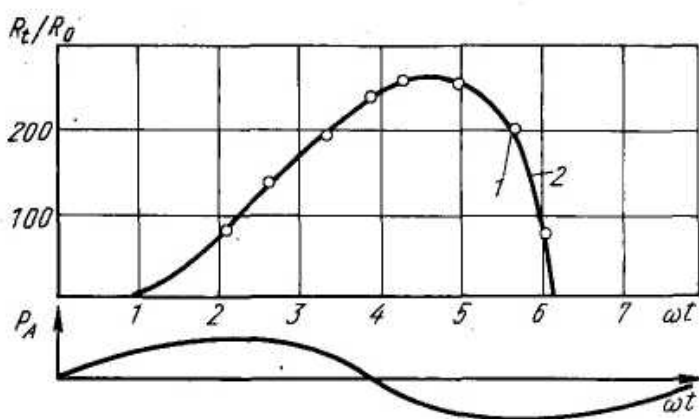


Рис. 2.2 – Динаміка зхлопування одиночного кавітаційного пухирця у воді:  
1 - експериментальні крапки;  
2 – теоретична крива

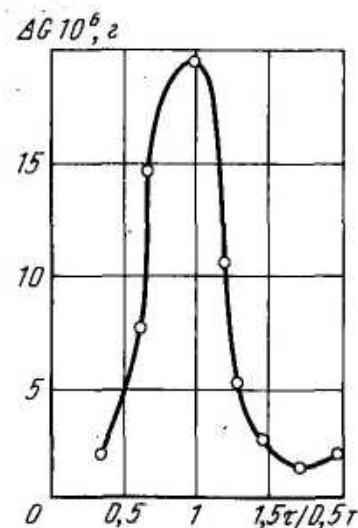


Рис. 2.3 – Залежність маси зразка при кавітаційном руйнуванні в воді від  $\tau/0,5\tau$

На мал. 2.2 показані розрахункові залежності динаміки зхлопування кавітаційного пухирця [30]. У півперіод розтягання розмір кавітаційного пухирця перевищує розмір кавітаційного зародка приблизно в 200 раз. При цьому фаза його розширення перевищує фазу негативного тиску. Ріке зменшення радіуса розтягнутості кавітаційного пухирця розглядається як фаза його зхлопування. Енергетично процес зхлопування одиночного кавітаційного пухирця полягає в перетворенні кінетичної й потенційної

енергії елементів, які брали участь у процесі (зовнішнього акустичного поля, рідини й кавітаційного пухирця). На першій стадії кінетична енергія зовнішнього поля переходить у потенційну енергію рідини, у якій розбудовується порожнина радіуса  $R_m$ . Потім потенційна енергія рідини й енергія, обумовлена дією зовнішніх сил, переходить у кінетичну енергію рідини, що рухається до центру. При зхлопуванні пухирця ця енергія перетворюється в потенційну енергію стисненого газу й пари, яка потім переходить у рідину при вторинному розширенні у вигляді імпульсу ударної хвилі.

У момент зхлопування тиск і температура парогазової суміші усередині пухирця різко зростають і можуть досягати: тиск - сотень мегапаскалей, а температура -  $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ . Коливання кавітаційного пухирця залежать від його початкового радіуса  $R_o$ , амплітуди звукового тиску  $p_m$  і постійного статичного тиску  $P_o$ . При малих амплітудах звукового тиску пухирці пульсують щодо свого середнього радіуса, і зхлопування не спостерігається. При цьому пухирці, розміри яких більші від резонансних, пульсують на частотах, близьких до частоти власного резонансу. При збільшенні амплітуди звукового тиску виникають характерні зміни в розмірах. Амплітуда пульсацій і середній розмір пухирця зростають, і відбувається його зхлопування з випромінюванням імпульсу тиску. Тривалість фази зхлопування визначається розмірами пухирця й тиском. Зі збільшенням радіуса пухирця час його зхлопування збільшується.

Якщо тривалість зхлопування перевищує півперіод стиску на частоті збудження  $\tau > (0,5T)^{-1}$ , тобто коли заключна фаза зхлопування відбувається в умовах акустичного тиску, що знижується, ефективність кавітаційного впливу знижується.

На мал. 2.3 показана залежність кавітаційної ерозії від параметра  $\tau_m(0,5T)^{-1}$  [30]. Розглянуті вище характеристики відносяться до сферичного кавітаційного пухирця. Однак така форма зхлопування кавітаційного

пухирця й виникнення ударного імпульсу тиску є не єдино можливою формою впливу рідини на тверду поверхню.

Ученими М. Корнфельдом і Л.З. Суворовим було встановлено, що не всі кавітаційні пухирці захлопуються за класичною схемою сферичної порожнини. У кавітаційній області спостерігаються досить великі пухирці, які під час пульсацій втрачають правильну сферичну форму й розпадаються на дрібні. Нестабільність таких пухирців зв'язана, очевидно, з тим, що при значних амплітудах пульсацій гідродинамічні сили можуть на окремих ділянках поверхні перевершувати сили поверхневого натягу, що визначають сферичність форми пухирця. Наступає перетиснення й розподіл порожнини з утворенням локального гідродинамічного струмка [37, 39].

Застосування високошвидкісної кінозйомки [36] дозволило зафіксувати стадії несферичного зхлопування. Положення стінки пухирця, побудовані по кінограммам при швидкості зйомки  $2 \times 10^6$  кадр/с, показані на мал. 2.4. Установлено, що швидкість руху стінки в напрямку її продавлювання гідродинамічним струменем досягає 500-600 м/с. Розрахунковий тиск рідини на поверхню твердого тіла при таких швидкостях витікання може досягати сотень мегапаскалей. При такому тиску можуть руйнуватися міцні матеріали, особливо якщо врахувати циклічний характер впливу, що приводить до втомного руйнування.

Як уже відзначено вище, рівень впливу кавітуючою рідини на поверхню твердого тіла визначається динамікою кавітаційних порожнин. Характер коливань кавітаційного пухирця суттєво залежить від його початкового радіуса  $R_0$ , амплітуди звукового тиску  $p$ , величини поверхневого натягу рідини й деяких інших факторів.

При порівняно малих амплітудах звукового тиску пухирці нелінійно пульсують щодо свого середнього радіуса, і зхлопування не спостерігається. З ростом амплітуди коливальних зсувів у кавітуючою рідини спостерігається різке збільшення кількості пульсуючих пухирців, при цьому виникає їхній спрямований рух від джерела звуку із середньою швидкістю 3-5 м/с. Такі

пульсуючі пухирці, що й поступально рухаються, здатні створювати імпульси тисків і мікропотоки в граничному шарі із твердою поверхнею й тим самим впливати на розвиток процесів, що відбуваються на границі розділу рідина – тверде тіло.

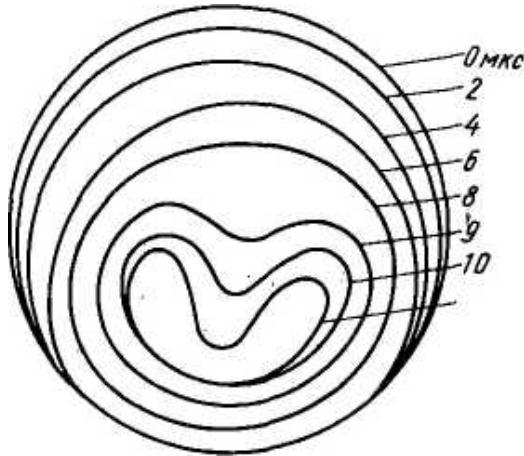


Рис. 2.4. Послідовне положення стінки пухирця, що несферично захопується, виялене за результатами швидкісної кінозйомки

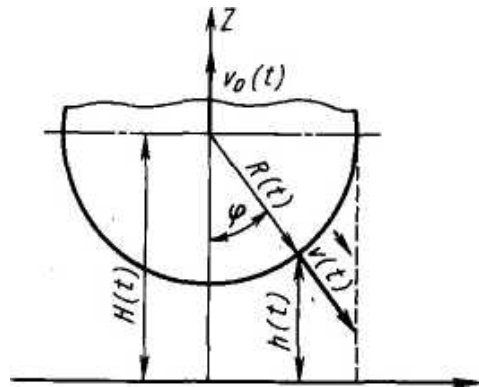


Рис. 2.5. Схема розрахунків пульсацій пухирця у твердій поверхні

Для аналізу впливу пульсуючих порожнин на поверхню твердого тіла необхідно розглянути несталий плин рідини в проміжку між твердою плоскою поверхнею й поверхнею пульсуючого пухирця, що одночасно рухається по нормалі до цієї поверхні зі швидкістю  $V_0$ .

У процесі руху пухирець пульсує, і його радіус змінюється в часі  $R = R(t)$ .

Рівняння руху ідеальної рідини в зазорі між твердою поверхнею й поверхнею пульсуючого, що й рухається перпендикулярно до твердої поверхні пухирця, записані в циліндричній системі координат  $Orz\varphi$  (мал. 2.5), з урахуванням осьової симетрії приймуть вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} + w \frac{\partial u}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.8)$$



де  $u(r, z, t)$  і  $w(r, z, t)$  – відповідно складові швидкості переміщень рідини уздовж осей  $Or$  і  $Oz$ ;  $p$  – тиск;  $\rho$  – щільність рідини;  $\nu$  – кінематична в'язкість.

Використовуючи вихідні рівняння (2.7) і (2.8) і провівши інтегрування, вираження для середньої по величині висоти зазору швидкості рідини прийме вид

$$v(r, t) = \frac{1}{hr} \frac{d}{dt} R^2 - R \sqrt{R^2 - r^2} - \frac{v_0(t)}{2} r^2 \frac{d}{dt} \frac{1}{R} \quad (2.9)$$

Провівши перетворення й інтегрування вихідних рівняння з урахуванням граничних умов, одержимо в остаточному виді вираження для визначення тиску в зазорі:

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \frac{d}{dt} (ph) = - \frac{d}{dt} (vh) - \frac{6}{5} \times \frac{d}{dt} \left( \frac{V^2 h}{r} \right) + \frac{1}{5} \times \frac{R \phi}{R} \times \frac{d}{dt} \left( \frac{Vhr}{r} \right) - \frac{6}{5} \times \frac{V^2 h}{r} + \\ + \frac{1}{5} \times \frac{R \phi}{R} \times \frac{d}{dt} h - \frac{2}{12} \times \frac{(R \phi)^2}{R^2} \times r^3 h + \frac{r^2}{\sqrt{R^2 - r^2}} - 12 \times \frac{v}{h} \frac{d}{dt} - \frac{1}{2} \times \frac{R \phi}{R} \times \frac{d^2}{dt^2} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Рівняння (2.9) і (2.10) представляють замкнену систему для визначення поля швидкостей і тисків у проміжку між твердою поверхнею й стінкою пульсуючого пухирця, що рухається перпендикулярно до твердої поверхні. Чисельні розрахунки цих рівнянь виконували на ЕОМ, при цьому пульсації пухирця задавали періодичним законом

$$R = R_0 + DR \sin(\omega t)$$

де  $R_0$  – початковий радіус, який встановлювали рівним 2-10",  $\Delta R$  – амплітуда пульсацій пухирця.

Аналіз результатів розрахунків показав, що тиск і швидкість, а також напрямки потоків, що виникають у зазорі між твердою поверхнею й пухирцем, суттєво залежать від зазору й фази коливань, у якій перебуває пухирець у розглянутий момент часу.

Враховуючи, що завдання вирішували для ідеальної рідини, у якій щільність і в'язкість залишаються постійними, ефекти в зазорі  $\delta$  розглядали за межами акустичного приповерхневого шару:

$$d = \sqrt{\frac{2\nu}{\omega}}$$

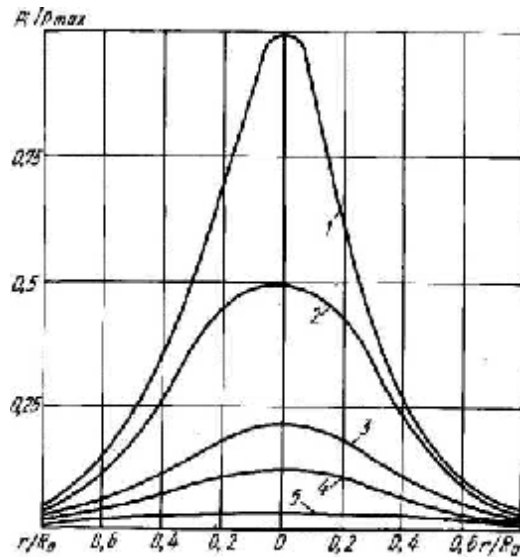


Рис 2.6. Відносна зміна амплітуди тиску на тверду поверхню при різних

відстанях  $h$ :  
 1-  $h = 0.03R_0$  ; 2-  $h = 0.05R_0$ ; 3-  $h = 0.1R_0$ ;  
 4-  $h = 0.2R_0$ ; 5-  $h = 0.5R_0$

Характерна зміна тиску в різних перетинах  $p(r)$  при змінній величині зазору  $h$  (t) показане на мал. 6. Найбільший тиск спостерігається в тих випадках, коли пухирець впливає на поверхню у фазі розширення й має місце найбільша швидкість руху стінки пухирця  $V_c(t)$ , яка визначається швидкістю поступального руху центру  $v_0$  і коливальною швидкістю стінки  $R'(t)$ .

$$v_{cm} = v_0 + R'(t).$$

При цьому швидкість пульсацій впливає на тиск у зазорі. Коли коливальна швидкість суттєво перевищує швидкість поступального руху, у фазі стиску пухирця можливе виникнення в зазорі розтягувальних напруг.

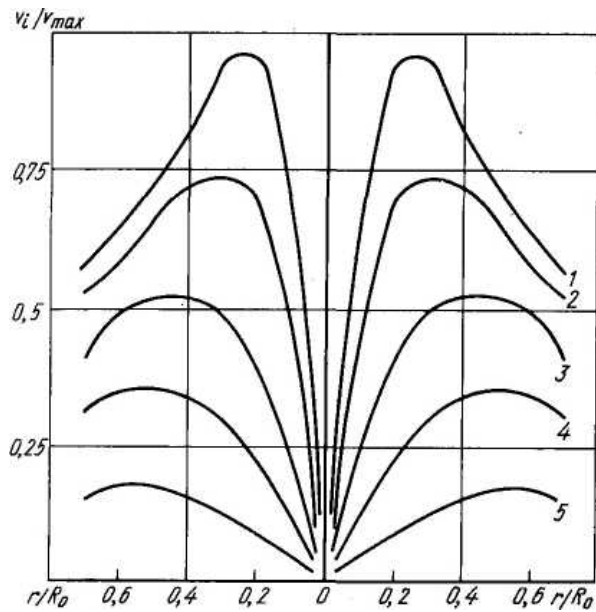


Рис. 2.7. Відносна зміна швидкості течій у зазорі між пухирцем і твердою поверхнею при різних відстанях  $h$ :

1 –  $h = 0,03 R_0$ ; 2 –  $h = 0,05 R_0$ ; 3 –  $h = 0,1 R_0$ ; 4 –  $h = 0,2 R_0$ ; 5 –  $h = 0,5 R_0$

Швидкість і напрямок потоку рідини в зазорі також визначаються фазою коливання пухирця й величиною швидкості руху стінки. Характерна зміна швидкості потоку в різних перетинах зазору  $V_{nom}$  (г) при змінній величині зазору  $h(t)$  показане на мал.2.7. Якщо в момент зустрічі з поверхнею пухирець перебуває у фазі розширення, рідина вижимается із зазору, і, навпаки, при стиску пухирця рідина втягується в зазор. Значення найбільших тисків і швидкостей потоку рідини в зазорі між пухирцем і твердою поверхнею для одного випадку, відповідного до фази розширення пухирця при середній швидкості поступального руху  $v_0 = 5$  м/с і різної коливальної швидкості, представлені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Параметри тиску й швидкості, отримані в результаті розрахунків

	<i>V<sub>ст.</sub></i>	<i>p,</i>	<i>V<sub>ном.</sub></i>
R	м/с	МПа	м/с
0,1	7,5	2,7	15
0,2	10	5,16	20
0,4	15	12,6	30
0,5	17,5	17,4	35

### **3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

## **ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИСТКИ ПОВЕРХОНЬ ВІД ЗАБРУДНЕНЬ ПЕРЕД НАНЕСЕННЯМ ПОКРИТТІВ**

### **3.1 Устаткування та процеси підготовки поверхонь деталей до нанесення покриття**

Різноманітність технологій і устаткування для попередньої обробки поверхні зв'язано з незаперечним фактом – від якості підготовки залежатиме адгезія нанесеного основного декоративно-захисного покриття. Тобто, підготовка поверхні в значній мірі визначає адгезію, а відповідно, і всю стійкість і довговічність покриттів. При нанесенні як лакофарбових, так і гальванічних покриттів на погано підготовлені поверхні (жирні, з окалиною й іржею) спостерігається швидке відшаровування покриття. Забруднення на поверхні під покриттям приводять до виникнення мікрочасток корозії і наступному руйнуванню покриття.

Недоліки поверхні металевих деталей перед нанесенням покриття можна класифікувати в такий спосіб:

- органічні забрудники поверхонь (змащення антикорозійного захисту, мінеральні мастила, технічні вазеліни, нафтові воски, технічні парафіни, з'днання жирних кислот, каніфолі, смоли різного походження й ін..),
- неорганічні забрудники поверхонь (пилюка, стружка й інші неорганічні частки, змішані зі змазкою, що залишається на поверхні після механічної обробки, окалина, іржа й інші окисли, що утворюються під час попередньої обробки),
- змішані забрудники поверхонь– змащування, застосовуване при обробці металів пресами, спеціальні змащування та емульсії, до яких входять різноманітні пігментуючі частки у вигляді тонко здрібнених порошоків і т.п.),
- хімічні забрудники поверхонь (залишки кислот, флюсів),
- механічні недоліки (гострі країки, заусенці, пайки, напливи, раковини поверхонь, тріщини поверхонь і т.п.).

Для видалення недоліків та очистки поверхонь ефективні абразивні і дробоструменеві способи підготовки поверхні, що особливо ефективно діє при видаленні механічних вад і окислів у виді окалини й іржі. Хотілося б відзначити, що в деяких випадках після цієї обробки можна приступати безпосередньо до нанесення покриття.

Однак у переважній більшості випадків необхідно проводити хімічну обробку поверхонь з метою їх ретельного очищення.

### **3.2 Знежирення**

**Знежирення** - видалення олій, жирів, слідів поту, солей, шламу органічними розчинниками, лужними водяними й емульсійними складами.

Знежирення уайтспіритом, бензином і т.п. є найбільш простим методом і обмежується протиранням, промиванням виробів у двох-трьох чи ваннах високонапорним оббризуванням. Розчинники забезпечують високу швидкість проникнення в забруднення, швидкий випар з виробів їхнього надлишку, нейтральний залишок на поверхні. Однак, їхня висока вартість, пожежонебезпека, невисока якість очищення (після випару розчинника на поверхні залишаються "розводи"), а головне, токсичність і зв'язані з нею екологічні обмеження по застосуванню, дозволяють застосовувати цей метод тільки в виключних випадках.

Більш сучасним є знежирення лужними водяними складами. Їхню основу складають солі ортофосфорної, борної й іншої кислот, а також поверхнево-активні речовини (ПАР). Вибір миючих речовин залежить від виду забруднення, матеріалу виробу, серійності виробництва, способів і устаткування для знежирення. Ці речовини не спалахують, малотоксичні, піддаються регенерації. До їхніх недоліків можна віднести більший час очищення, необхідність механічного перемішування і підігріву робочого розчину, піноутворення. Після знежирення лужними водяними складами оброблену поверхню необхідно ретельно промити в теплій воді.

Комбінований спосіб, що сполучає достоїнства застосування органічних розчинників і лужних складів - це емульсійне знежирення. Емульсії розчинників у воді, стабілізовані ПАР, володіють високою розчинюючою, змочувальною і емульгуючою здатністю, як результат таке очищення з металевої поверхні цілком видаляє як різні органічні так і неорганічні забрудники поверхонь.

При роботі з складами в емульсійному вигляді час очищення в порівнянні зі знежиренням у лужних складах скорочується, однак потрібно більш ретельне промивання. Емульсійні методи знежирення здійснюють в нормальних температурних умовах без погіршення якості очищення поверхні. Емульсійні процеси вимагають устаткування для нейтралізації і знешкодження відпрацьованих складів, виробництво якого налагоджено в нашій групі на високому рівні.

### 3.3 Травлення

**Травлення** – полягає у видаленні з поверхонь виробів іржі, природних окисних плівок, окалини за допомогою кислотних розчинів на основі фосфорної, соляної, сірчаної, азотної кислоти, їдкого натру,.

Для досягнення рівномірного травлення по всій поверхні в травильні розчини вводять інгібітори, що пригальмовують розчинення та реагування попередньо очищених ділянок поверхонь деталей, причому, без впливу на швидкість очищення від оксидних плівок. Достоїнствами такого очищення є висока продуктивність, простота використовуваного устаткування і процесу, можливість обробки деталей будь-якої товщини і складної конфігурації. До недоліків відносять потребу ретельного відмивання поверхонь деталей від залишків розчинів травлення, як наслідок, великі витрати води та необхідність спеціальних очисних споруд для чи нейтралізації регенерації відходів.

### **3.4 Створення проміжних покриттів**

Створення проміжних покриттів також відноситься до сфери попередньої підготовки.

#### **3.4.1 Фосфатування**

**Фосфатування** - одержання на металевій поверхні плівки з важкорозчинних фосфорнокислих солей. Фосфатні плівки збільшують адгезію покриття і перешкоджають поширенню підплівкової корозії. У залежності від складу фосфатуючого розчину на металевій поверхні утворюються цинкофосфати з вираженими кристалічними ґратками, або аморфні залізофосфати. Цинкофосфатні покриття володіють поліпшеними захисними властивостями, але їхнє одержання зв'язане з чутливістю процесу до коливання температури, зі шламоутворенням, з необхідністю частого контролю кислотності ванни. Залізофосфатні покриття вони мають гірші захисні властивості, але процес їхнього одержання значно простіший.

Для підтримки параметрів фосфатування в необхідних межах необхідно періодично робити коректування фосфатуючих розчинів додаванням у них невеликих кількостей концентрату.

Завершальною стадією фосфатування є промивання і пасивування.

#### **3.4.2 Пасивування**

**Пасивування** є заключною стадією підготовки поверхні. Воно запобігає можливості виникнення вторинної корозії і може бути рекомендоване як при підготовці поверхні тільки знежиренням, так і у випадку її фосфатування.

#### **3.4.3 Хроматування**

**Хроматування** - оброблення поверхонь деталей з алюмінію та, відповідно, його сплавів розчинами хромового ангідриду з метою одержання аморфного хроматного шару, що підвищує адгезію і довговічність покриття. Технологічний процес хроматування аналогічний фосфатування. Недотримання режимів хроматування може приводити до "заполірування" поверхні - такому зменшенню її шорсткості, що погіршує адгезію.



### **3.4.5 Утилізація олій**

**Утилізація олій** - оскільки гарне очищення поверхні полягає у видаленні олій, то неодмінно виникає і задача збору й утилізації масляних відходів. Тому в складі миючої чи лінії установки обов'язково є присутній пристрій утилізації мастильних матеріалів.

Додаючи виключно важливе значення підготовці поверхні перед нанесенням лакофарбових покриттів ми рекомендуємо проводити спеціальну підготовку у відповідності з властивостями кожної конкретної поверхні (сталевий, оцинкований, алюмінієвий).

## **3.5 Технологія підготовки поверхонь для різних матеріалів**

### **3.5.1 Для підготовки сталеві поверхні**

Обробка залізофосфатними складами (тонкий шар - менш 1,0 мкм), проведена в чотири етапи при сполученні знежирення і фосфатування:

- 1 - знежирювання і фосфатування;
- 2 - промивання;
- 3 - пасивування;
- 4 - сушка повітрям при 110-120°C.

Обробка цинкофосфатними складами (товщина шару 2-3 мкм) з використанням семи етапів:

- 1 - знежирювання водяними та лужними складами;
- 2 - промивка холодною водою;
- 3 - друге промивання;
- 4 - фосфатування;
- 5 - промивання холодною водою;
- 6 - пасивація з наступним промиванням демінералізованою гарячою водою;
- 7 - сушка повітрям при 110-140°C.

### **3.5.2 Для підготовки оцинкованої поверхні.**

Обробка цинкофосфатними складами, проведена в шістьох етапів:

- 1 - знежирення;
- 2 - промивання;
- 3 - фосфатування;
- 4 - промивання;
- 5 - пасивування;
- 6 - сушіння гарячим повітрям при 110-120°C.

Для виключення таких дефектів покриття на оцинкованій поверхні як втрата адгезії, здування, рекомендується такий ефективний і легкий спосіб обробки як обдирання щітками, що видаляють оксиди цинку і збільшують шорсткість поверхні. Щоб уникнути перегрів шару цинку температура формування покриття не повинна перевищувати 175-180°C.

### **3.5.3 Для підготовки поверхні алюмінію та його сплавів**

Обробка хроматними складами, проведена в сім етапів.

- 1 - знежирення;
- 2 - промивання;
- 3 - травлення;
- 4 - промивання;
- 5 - хроматування;
- 6 - промивання;
- 7 - остаточне промивання.

В залежності від типу профілю і виду алюмінію (сплаву) пропонується як конверсійний шар використовувати фосфохроматне і фосфофлюороцирконієве покриття.

Вибір операцій підготовки поверхні в кожному конкретному випадку, як і вибір рецептури того чи іншого складу і режимів обробки повинний вироблятися фахівцями. Тільки такий підхід може забезпечувати високу якість одержуваного покриття.

### **3.6 Приготування розчинів для підготовки поверхонь**

Розроблено велику кількість хімічних композиційних складів для підготовки деталей до нанесення покриттів. Дано, відповідно, рекомендації з вибору знежирюючого розчину. Базові склади приведені до марок продукції фірми "ЕКОМЕТ"

#### **3.6.1 Знежирення, сполучене знежирення-травлення**

"Холодний" розчин для електрохімічного знежирення "ЕКОМЕТ-002"

Розчин заснований на композиції "ЕКОМЕТ-002" і призначений для електрохімічного знежирення деталей зі сталі, при зниженій температурі: 20-35°C. Знежирення обов'язкове проводиться в реверсивному режимі: спочатку – на катоді, потім – на аноді (в одній чи ванні в двох послідовних).

Композиція "ЕКОМЕТ-002" – негорюча рідина. Вона містить поверхнево-активні речовини. У процесі очищення стічних вод усі компоненти "ЕКОМЕТ-002" легко віддаляються при реагентному осадженні гідроксидів металів і наступної фільтрації стоків через вугільний фільтр.

Склад розчину для деталей з сталі чи чавуна: сода каустична (їдкий натр) – 30-40 г/л; тринатрійфосфат – 15-20 г/л; композиція "ЕКОМЕТ-002" – 20-25 мл/л.

Режим знежирення: на катоді протягом 5-8 хв. при катодній щільності струму 3-10 А/дм<sup>2</sup>; на аноді протягом 4-5 хв. при анодній щільності струму – 3-6 А/дм<sup>2</sup>; температура – 20-35°C.

Орієнтована витрата композиції "ЕКОМЕТ-002" – 8-12 мл на 1 м<sup>2</sup> оброблюваної поверхні.

Збереження композиції "ЕКОМЕТ-002" – у закритій тарі при температурі вище +4°C, гарантійний термін - 14 місяців.

#### **3.6.2 Розчин для хімічного знежирення "ЕКОМЕТ-003"**

Розчин призначений для хімічного знежирення деталей з різних металів і сплавів (чорних і кольорових) у лужних розчинах методом занурення (у ваннах). Містить поверхнево-активну композицію "ЕКОМЕТ-003".

Склад знежирюючого розчину для деталей зі сталі: сода каустична (їдкий натр) - 15-20 г/л; тринатрійфосфат – 15-20 г/л; композиція "ЕКОМЕТ-003" – 8-10 мл/л.

Склад знежирюючого розчину для деталей з алюмінієвих і цинкових сплавів: сода каустична (їдкий натр) - 10-15 г/л; тринатрійфосфат – 30-35 г/л; композиція "ЕКОМЕТ-003" – 8-10 мл/л.

Режим знежирення: температура – 55-70°C, час знежирення – 3-20 хвилин у залежності від забруднення деталей. Після знежирення – гаряче і холодне промивання.

Орієнтована витрата композиції "ЕКОМЕТ-003" – 4-7 мл на 1 м<sup>2</sup> оброблюваній поверхні.

Зберігати композицію "ЕКОМЕТ-003" належить в закритій тарі при температурі вище +4°C, гарантійний термін - 18 місяців.

### **3.7 Рекомендації з вибору розчинів знежирення**

Для якісного нанесення гальванічних, лакофарбових (у тому числі порошкових) і інших видів покриттів необхідно проводити ретельну попередню підготовку поверхні металу. Найважливішим етапом підготовки поверхні до нанесення покриттів є видалення з поверхні різних забруднень (знежирення). Вибір виду знежирення і складу розчину залежить від типу наносимого покриття, металу і стану його поверхні, що маються на підприємстві умов (у тому числі устаткування й очисних споруджень).

При нанесенні гальванічних покриттів на сталеві деталі обов'язково варто проводити хімічне й електрохімічне знежирення. При нанесенні оксидних і фосфатних покриттів на сталь, при покритті алюмінію, мідних і цинкових сплавів, при нанесенні лакофарбових і порошкових покриттів звичайно проводять тільки хімічне знежирення. У деяких випадках, коли оброблювані деталі не сильно зажирені, хімічне знежирення сполучають із травленням (процеси "ЕКОМЕТ-С009", "ЕКОМЕТ-А006"). При проведенні

тільки хімічного знежирення рекомендується ставити послідовно 2 ванни (однакового складу чи різні, наприклад знежирення і знежирення-травлення).

Не рекомендуємо використовувати одну ванну для знежирення різних металів (сталі, алюмінію, мідних сплавів і т.д.), тому що це завжди знижує якість одержуваних покриттів. Для вибору складів, що знежирюють, слід скористатися їхніми порівняльними характеристиками, що представлені нижче в таблицях.

Таблиця 3.1 Склади розчинів для електрохімічного знежирення сталі

Базова композиція	Особливості готування	Т-ра, °С	Застосування
"ЕКОМЕТ-002"	Вимагає додавання лугу, соди, ТНФ	20-35	Знежирення обов'язкове проводиться в реверсивному режимі: катодно, потім – анодно. Особливо рекомендується для ліній цинкування, міднення й ін.
"ЕКОМЕТ-005" марки "Э"	Менш трудомістка в готуванні: готовий концентрат, розводиться холодною водою (1:10)	40-55	Для катодного чи анодного знежирення при зниженій температурі.
"ЕКОМЕТ-012у"	Вимагає додавання лугу і ТНФ	25-35	Для катодного чи анодного знежирення при низькій температурі.

Таблиця 3.2 Склади розчинів для хімічного знежирення сталі

Базова композиція	Особливості готування	Т-ра, °С	Застосування
"ЕКОМЕТ-003"	Вимагає додавання лугу, соди, ТНФ	55-70	Рекомендується як поверхнево-активну добавку, що поліпшує знежирення, у традиційні склади.
"ЕКОМЕТ-008"	Менш трудомістка в готуванні: готовий концентрат, розводиться холодною водою (1:10)	60-75	Малопінна. Рекомендується для знежирення струминним методом, при інтенсивному чи обертанні перемішуванні.
"ЕКОМЕТ-005" марки "Х"	Менш трудомістка в готуванні: готовий концентрат, розводиться холодною водою (1:10)	40-55	Рекомендується для знежирення зануренням при зниженій температурі.

## Продовження таблиці 2.2

"ЕКОМЕТ-011НТ"	Вимагає додавання лугу і ТНФ	25-35	Рекомендується для знежирення зануренням при низькій температурі.
"ЕКОМЕТ-012у"	Вимагає додавання лугу і ТНФ	25-35	Володіє кращою дією, що знежирює, із усіх низькотемпературних складів, що знежирюють.
"ЕКОМЕТ-С009"	Вимагає додавання сірчаної кислоти	40-70	Рекомендується для не сильно зажирених деталей з одночасним зняттям іржі й окалини.

Таблиця 2.3 Склади для хімічного знежирення алюмінієвих і цинкових сплавів

Базова композиція	Особливості готування	Т-ра, °С	Застосування
"ЕКОМЕТ-003"	Вимагає додавання лугу, соди, ТНФ	55-70	Рекомендується як поверхнево-активну добавку, що поліпшує знежирення, у традиційні склади.
"ЕКОМЕТ-005" марки "Х"	Менш трудомістка в готуванні: готовий концентрат, розводиться холодною водою (1:10)	40-55	Рекомендується для знежирення зануренням при зниженій температурі. Має травильну дію.
"ЕКОМЕТ-005" марки "АЦ"	Менш трудомістка в готуванні: готовий концентрат, розводиться холодною водою (1:10)	40-55	Рекомендується для знежирення зануренням при зниженій температурі. Володіє зниженою дією, що труїть.
"ЕКОМЕТ-005" марки "А"	Менш трудомістка в готуванні: готовий концентрат, розводиться холодною водою (1:10)	40-55	Рекомендується для знежирення зануренням при зниженій температурі. Має найнижчу дію, що труїть.
"ЕКОМЕТ-012у"	Вимагає додавання лугу і ТНФ	25-35	Володіє кращою дією, що знежирює, із усіх низькотемпературних складів, що знежирюють.
"ЕКОМЕТ-А006"	Вимагає додавання сірчаної кислоти	18-30	Тільки для алюмінієвих сплавів. Рекомендується для не сильно зажирених деталей з одночасним травленням. Малопінна, можна використовувати в струминних установках.

## 4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Устаткування для хімічної підготовки поверхні виробів під фарбування

#### 4.1.1 Устаткування для підготовки поверхні методом занурення.

В умовах дрібносерійного й одиничного виробництв хімічну підготовку поверхні виробів проводять послідовно, занурюючи їх у ванни з розчином електроліту чи водою. Розміри ванн визначаються розмірами виробів, програмою підприємства, технологічним процесом підготовки поверхонь деталей до нанесення покриттів. Для технологічних ванн, котрі призначені для знежирення поверхонь виробів розчинами лугів каркасні конструкції устаткування проектують із профільного прокату, несучі стінки ванн проектується з листової сталі. Підігрів розчинів до необхідного технологічного значення температури та підтримування її у процесі обробки деталей здійснюються за допомогою трубчастих зміювиків. Як теплоносій зазвичай використовують насичену пару.

У верхній частині ванни зливальний штуцер з кишенею для видалення жирових забруднень, що накопичуються, а в нижній частині – штуцер для повного зливу розчину і промивання ванни. Стінки ванн проектується подвійними, зазори між стінками наповнюють жужелем, мінватою чи другими теплоізоляційними матеріалами. Для видалення випаровування розчинів над ванною встановлюють витяжну вентиляцію (козирки, бортові відсмоктувачі).

Ванни очистки для технологічних операцій нейтралізації, травлення, пасивування і промивання конструктивно подібні з ваннами для знежирення.

Поверхню всередині ванн для кислотних розчинів з температурами до 60°C футерують усередині кислотнотривкими матеріалами (гума, діабазова плитка на кислотнотривкому цементі, фаоліт, вініпласт). Поверхню всередині

ванн для кислотних розчинів з температурами вище 60°C виробляють із нержавіючої сталі.

Розчини у ваннах травлення нагрівають напряду парою чи паровими змійовиками з кислотостійких сталей, свинцю чи графітопласта. Перший спосіб небажаний, тому що приводить до зниження концентрації травильного розчину і відповідно швидкості очищення.

Ванни для фосфатування являють собою зварені ємності з нержавіючої сталі X18H9T, що можуть бути легко очищені від шламу, тому що дно виконане або у виді двох конусів, або з ухилом до однієї з бічних сторін. Шлам, що засмоктується з дна спеціальним насосом, може подаватися в окремий збірник. Розчин нагрівають заглибленими елементами, причому нагрівач і люк для видалення шламу розташовують з протилежних сторін ванни. Ванна повинна бути забезпечена автоматичним терморегулятором і може обслуговуватися вручну або автоматичними транспортними засобами.

При обробці дрібних деталей чи виробів ванна фосфатування може бути частиною установки карусельного типу.

Для того, щоби провести кілька операцій хімічної очистки та підготовки поверхонь деталей до нанесення покриттів, потрібно забезпечити ряд ванн. У цьому випадку ванни поєднуються в єдину установку, котра для підвищення технологічності забезпечується механізованим завантажувачами з перенесенням деталей з ванни у ванну.

#### **4.1.2 Устаткування для підготовки поверхні методом струминного обливу.**

Для відповідності вимогам серійного і масового виробництва, знежирення, травлення, фосфатування доцільно здійснювати методом струминного обливу в тунельних камерах прохідного типу. При струминному обливі хімічні реакції, а також промивання виробів водою відбуваються набагато інтенсивніше, ніж при зануренні, за рахунок механічного впливу струменів і безупинного відновлення розчинів на



поверхні виробів, що різко скорочує тривалість технологічного процесу. Метод струминного обливу дозволяє вести процес підготовки поверхні автоматично, забезпечуючи високу якість підготовчих операцій поверхонь виробів.

Сутність підготовки поверхні деталей до нанесення покриттів методом струминного обливу полягає в наступному: деталі подаються за допомогою транспортного пристрою в камеру установки, проходять над ваннами, усередині системи U-образних труб (контурів, колекторів) з форсунками, насадками, через котрі деталі обливаються під тиском відповідними розчинами чи водою. Насадки чи форсунки сконструйовані як щілинні чи циліндричні сопла. Кріплення їх кульового типу, що дозволяє установку сопла форсунки під будь-яким кутом (рис. 4.1.)

Щілинні сопла формують плоский дроблений струмінь з кутом розпилення від 60 до 75° (рис. 4.2) і мають у своєму розпорядженні такий образ, щоб струмінь досягав усіх ділянок поверхні виробу. Відстань від сопла до виробу в агрегатах струминного знежирення 300–500 мм; відстань між соплами 200–300 мм.

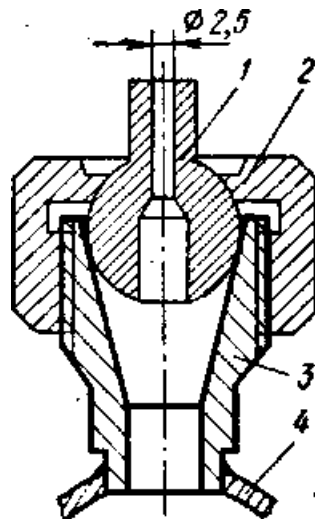


Рисунок 4.1 Форсунка прямоточна поворотна з циліндричним соплом:

*1 – сопло поворотне; 2 – закріплююча гайка; 3 – патрубок; 4 – труба*

Кількість знежирюючого розчину, що розпоршується на оброблюваній поверхні, повинен складати 300-400 л. Насос забезпечує подачу миючого розчину під надлишковим тиском 1,5–2 кгс/см<sup>2</sup>.

В агрегатах, де потрібно більш рівномірне змочування, застосовують також прямоточні форсунки, зображені на мал. 4.2.

Число рядів контурів визначається їх кроком, що приймається рівним 0,25– 0,3 м, тривалістю обробки і швидкістю одноланцюгового конвеєра. Розчин чи вода, підігріті до необхідної температури змішувиками, розташованими у ваннах або виносних теплообмінниках, подається з ванни насосом через сітчастий фільтр до насадок. Ванни постачені зливальними і переливними трубами і трубопроводом для подачі свіжої води. Стінки установки теплоізолювані.

Число ванн, тривалість обливу виробу над кожною ванною, склад і температура розчину і води визначаються технологічним процесом підготовки поверхні виробу.

Деталі, що піддаються обробці методом струминного обливу, не повинні мати внутрішніх порожнин («кишень»), у яких затримувалася б розчин чи вода.

Агрегати струминного травлення складаються з трьох основних частин: секцій обробки, що передують травленню; травильних секцій; секцій обробки, що впливають за травленням. Кожна з трьох частин повинна бути у власному кожусі щоб уникнути контакту з парами кислот.

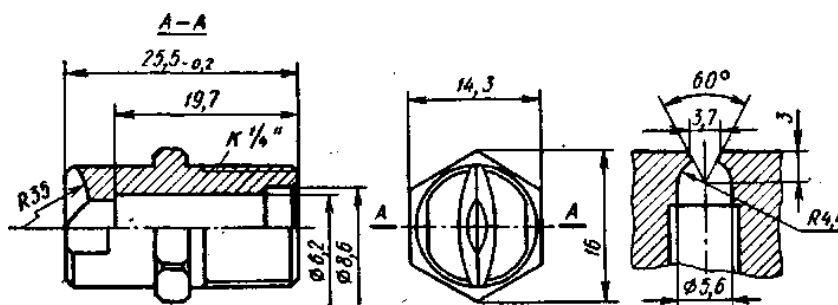


Рисунок 4.2 Форсунка прямоточна з щілинним соплом

Секції травлення виготовляють з кислототривких матеріалів, що допускають застосування кислот при підвищених температурах.

Одним з рекомендованих матеріалів може бути склотекстоліт, наприклад, марки СТЕФ з епоксидною смолою ЕД-6 у якості сполучного

елемента. Колектори виконують зі склотекстолітових чи поліпропіленових труб, на яких кріпляться розпилюючі форсунки з тих же матеріалів чи ебоніту. Продуктивність форсунки від 5 до 10 л/хв, відстань між форсунками 200–300 мм, відстань від виробу до форсунки 300 мм, відстань між колекторами – від 300 до 500 мм.

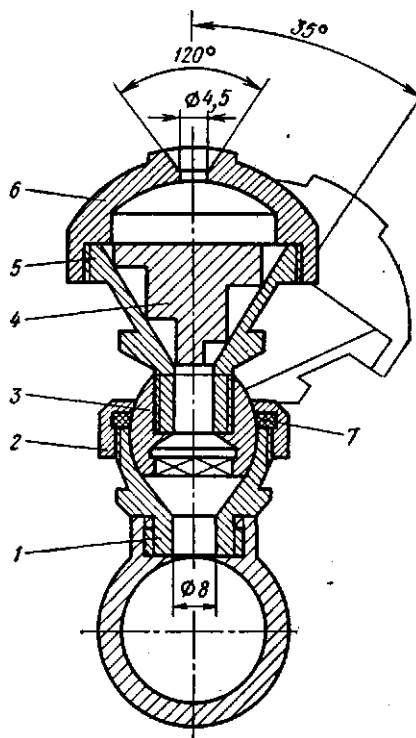


Рисунок 4.3 Форсунка гвинтова поворотна

*1 -корпус; 2 – гайка; 3 – кульова втулка; 4 – гвинт; 5 – корпус гвинта; 6 -кришка; 7 – прокладка*

Установки постачають ємностями для травильного розчину обсягом 3–5 м<sup>3</sup>, виконаними з фаоліту чи інших кислототривких матеріалів. Травильний розчин зручно нагрівати в цих ємностях заглибленими графітопластовими паровими нагрівачами, що випускаються Новочеркаським електродним заводом. Цей же завод випускає кислототривкі насоси для перекачування і подачі розчинів. Добре зарекомендували себе графітопластові відцентрові насоси, наприклад насос марки 4Х-8Ф з торцевими ущільненнями, придатні для роботи з будь-якими кислотами при 80–90° С. Гарантійний термін роботи без заміни ущільнення 2000 ч.

Усі трубопроводи й арматура установок струминного травлення повинні бути футеровані поліетиленом, поліпропіленом чи фторопластом.

Перехід від ванн фосфатування до струминних установок прохідного типу доцільний при обробці не менш 50 виробів у зміну з загальною поверхнею близько 300 м<sup>2</sup>.

Основними вузлами установки струминного фосфатування є: корпус, нагрівач розчину, пристрій для розпилення і подачі розчину, фільтрувальна установка, дозачійні насоси з бачками для розчину нітриту натрію і фосфатуючого концентрату.

Корпус являє собою зварений кожух з нержавіючої сталі, розміри якого визначаються габаритами виробів. Необхідність застосування нержавіючої сталі для всіх деталей, що стикаються з фосфатуючим розчином, викликана тим, що розчин із РН 2-5-3 руйнуюче діє на вуглецеву сталь; крім втрат міцності конструкції, це викликає забруднення розчину іонами заліза.

Нагрівачі розчину рекомендується виконувати у виді виносних трубчастих теплообмінників, у яких теплоносієм є гаряча вода. При використанні рухомого теплоносія можна знизити його температуру і забезпечити менший, чим при інших способах обігріву, перепад температур і менше нагрівання розчину на теплопередючих поверхнях. Виносний теплообмінник повинний забезпечувати нагрівання розчину до робочої температури максимум протягом 1 год. Наростаючий на гріючих поверхнях шлам необхідно видаляти не рідше 1 разу в тиждень шляхом прокачування через трубний простір інгібітованого 5% -ного розчину сірчаної кислоти. За час обробки на 1 м<sup>2</sup> фосфатованої поверхні подається 200–250 л розчину.

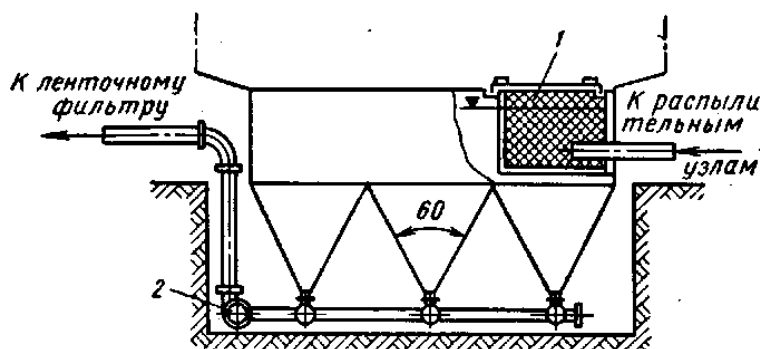


Рисунок 4.4 Схема ємності для фосфатування з конічним дном:

*1 – сітчастий фільтр; 2 – насос для відкачки шламу*

Форсунки з нержавіючої сталі повинні формувати розпилений струмінь при тиску розчину 0,8–1,0 кгс/см<sup>2</sup>. Вони розташовуються в шаховому порядку на відстані 250–300 мм один від одного і 300–500 мм від виробу. Форсунки варто розміщати таким чином, щоб забезпечити рівномірний доступ розчину до поверхні оброблюваного виробу.

Необхідним пристроєм сучасних фосфатуючих установок струминного типу і ванн є фільтрувальна установка. Найчастіше фільтрація розчину відбувається на неперервній паперовій стрічці, випуск якої освоєний вітчизняною промисловістю. Схема ємності для фосфатування представлена на мал. 4.5.

Секція струминного фосфатування оснащується наступними контрольно-вимірювальними приладами: терморегулятором для автоматичної підтримки температури робочого розчину з точністю до 3° С, манометром для контролю тиску розчину в колекторах. Крім того, вона повинна бути постачена запасною ємністю, у яку перекачується фосфатуючий розчин під час очистки устаткування. Злив розчину під час такого очищення в каналізацію неприпустимий, тому що це приводить до різкого підвищення витрати реактивів. Довжина секції фосфатування визначається швидкістю переміщення виробу і тривалістю обробки. Недоцільно збільшувати час фосфатування більш ніж 2 хв..

Конструкції наступних за фосфатуванням секцій промивання і пасивування аналогічні конструкціям фосфатуючої зони.

На 1 м<sup>2</sup> оброблюваної поверхні під час обробки повинно подаватися 15–25 л свіжої води; при пасивації – 50 л розчину.

У залежності від прийнятої організації виробництва для переміщення виробів застосовують конвеєри підвісні одноланцюгові неперервної і періодичної дії, конвеєри двохланцюгові штангові неперервної дії, конвеєри двохланцюгові з укладанням деталей на сітці.

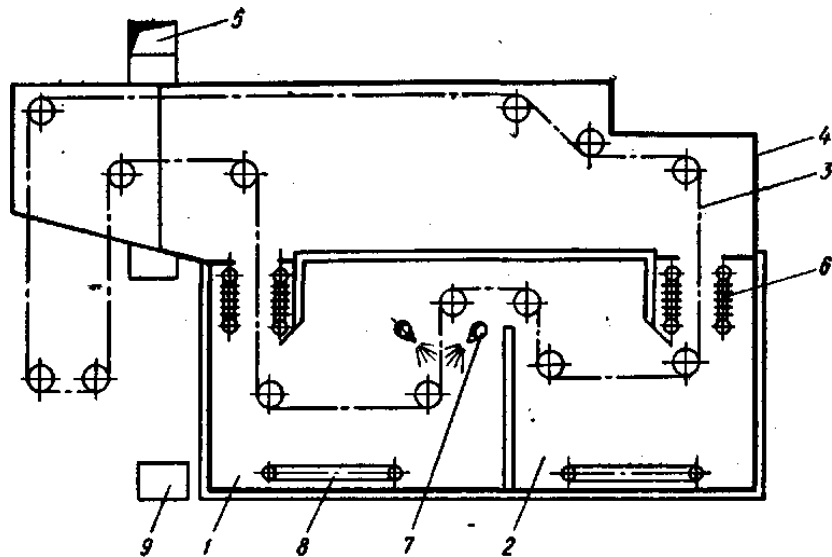


Рисунок 4.5 Схема установки для знежирення трихлоретиленом

1 – ванна струминного обливу; 2 – ванна для знежирення в парах;

3 – дволанцюговий штанговий конвеєр; 4 – кожух; 5 – витяжна вентиляція; 6 – холодильники; 7 – форсунки; 8 – змійовики; 9 – насосна станція

#### 4.1.3 Устаткування для знежирення розчинниками.

Установки для знежирення виробів хлорованими вуглеводнями, крім системи витяжної вентиляції, забезпечені водяними трубчастими холодильниками, розташованими по всьому периметру ванни над дзеркалом розчинника. Висота набору холодильників залежить від розмірів дзеркала ванни, обсягу завантаження, складності конфігурації виробу.

На мал. 4.6 представлена схема установки для знежирення хлорованими вуглеводнями. Установки такого типу герметизують, ванни обладнають автоматичними регуляторами температури і рівня розчинника. Регулятори температури поміщають у зоні рідкої фази й у зоні пари і встановлюють на наступні граничні температури: для трихлоретилену в рідкій фазі 74–75°C, у паровій – 110–115°C, не вище 125°C щоб уникнути розкладання трихлоретилену, для перхлоретилену – відповідно 110 і 145°C. Охолоджуючі змійовики, що розміщені на вході і виході виробу з установки, забезпечують безпеку роботи і мінімальні втрати розчинника. Зниження

втрат розчинника досягається загальною теплоізоляцією установок і уловлюванням парів розчинника з вентиляційних повітроводів спеціальними адсорбційними установками. Схема однієї з таких установок із двома адсорберами періодичної дії представлена на мал. 1.14. Адсорбція парів трихлоретилена відбувається на активованому вугіллі, наприклад марки СКТ, десорбція забезпечується гострою парою. Таким чином, з повітроводів уловлюється до 70% розчинника.

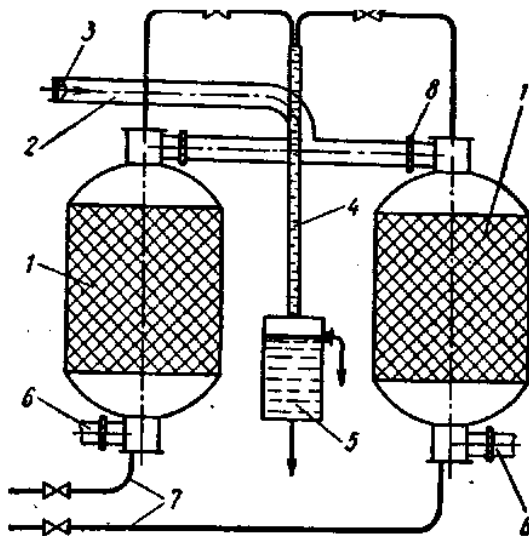


Рисунок 4.6 Схема промислової установки для рекуперації пари трихлоретилена:

- 1 – адсорбер; 2 – трубопровід введення парів трихлоретилена;  
3 – фільтр; 4 – холодильник; 5 – водовідділювач; 6 – трубопровід виводу парів трихлоретилена; 7 – лінії водяної пари; 8 – засувки;  
9 – вентиля*

Установки для знежирення хлорованими вуглеводнями обігривають пором із застосуванням багатоходових змієвиків. Розчинник подають відцентровими цанговими насосами типу ЦНГ. Усі поверхні, що стикаються з ТХЕ, бажано виконувати з оцинкованої сталі, для ущільнення застосовувати фторопласти (аркуші, стружку) чи азбест.

## **4.2 Загальні вимоги до лінії підготовки поверхонь деталей для нанесення покриттів**

При проектуванні автоматизованої дільниці ми повинні передбачити загальну систему керування, яка здійснювала загальний контроль і управління лінією по основним параметрам контролю. До таких параметрів можна віднести:

1. Температурні режими в ваннах очистки та пасивації, в пункті миття, сушки деталей. Як видно з попередніх розділів, що температурні режими суттєво впливають на якість виконання технологічних переходів, на швидкість їх виконання і т.ін.
2. Параметри концентрацій розчинів очистки, обезжирювання та промивки в ваннах лінії. Нормалізація розчинів.
3. Таймерні функції витримки технологічних переходів, синхронізація лінії в цілому та по міжопераційному транспортуванню. Забезпечення циклового, періодичного режиму роботи.
4. Видача опорних значень для локальних систем контролю та керування, для зміни режимів роботи, забезпечення гнучкого оперативного управління лінією.

Систему керування доцільно побудувати централізованою з ієрархічною будовою, поділом на центральну систему та локальні системи, які забезпечуватимуть контроль і управління локально по пунктах технологічних переходів, а саме контроль концентрацій, температур, управління приводами і т.д.

Така побудова системи керування забезпечить стійкість її роботи, гнучкість управління і оперативного переналадження по пунктам окремих технологічних переходів. Надійність роботи лінії в цілому значно зросте.



### 4.3 Будова та склад лінії

Лінія являє собою комплекс обладнання з підвісним конвеєром неперервної дії.

В складі лінії передбачено обладнання для виконання наступних технічних операцій:

- хімічна обробка поверхні розпилюванням;
- обдув виробу;
- фарбування поверхонь деталей;
- формування покриття;
- охолодження штучне.

На лінії передбачений наступний порядок роботи.

Хімічна обробка поверхні виконується в миючому агрегаті і в примикаючому до нього агрегаті обробки поверхні. Теплоносій в миючому агрегаті і в агрегаті обробки поверхні – пара. Передбачена ультрафільтрація в миючому агрегаті.

Перед нанесенням лако-фарбового матеріалу проводиться прокалювання виробів в блоці сушильно-охолоджувальному.

Фарбування проводиться в установці фарбування автоматично з підфарбовуванням важкодоступних місць вручну.

На початку установки розміщена зона ручного підфарбовування, потім 2 зони автоматичного фарбування, в кожній з яких фарбування відбувається з одної сторони, при переході виробу з однієї зони в іншу передбачається поворот підвіски на 180°. В зоні ручного підфарбовування поворот виробу виконує маляр.

Твердіння лако-фарбового покриття виконується в блоці сушильно-охолоджувальному конвективному. Теплоносій – електроенергія. Блок виконаний з підбором повітря, вентиляційного обладнання розміщується під блоком. Охолодження – в зоні охолодження блоку.

#### **4.4 Будова та принцип дії складових частин лінії.**

Установка підготовки та обробки поверхні, призначена для повної підготовки поверхні до фарбування, складається з агрегату миючого і агрегату підготовки поверхні, робота яких спільно дозволяє одержати найбільший ефект в обробці поверхні виробу.

Агрегат миючий автоматичний є прохідним неперервної дії і призначений для промивання гарячою водою поверхні виробів перед фарбуванням.

Корпус являє собою однопрохідний тунель, встановлений на опори і ванну. Він облицьований панелями і обладнаний зливом.

В верхній частині корпусу є транспортний короб призначений для захисту від вологи конвеєра.

Конвеєр має вхідний і вихідний тамбури, які попереджують вихід пароповітряної суміші в цех.

Вана являє собою місткість, виконану з сталевих гнутих листів, закріплених ребрами жорсткості. Днище ванни має уклін в сторону люків для чистки. Верх ванни перекритий зйомною кришкою. Вана обладнана переливними лотками і штуцерами зливу, переливу рідин і підводу води. Вана тепло ізольована.

Система вентиляції складається з вентилятора, повітревідводів, повітряних завіс і призначена для попередження виходу пароповітряної суміші в приміщення цеху і продування транспортного короба. Регулювання швидкостей і розходу повітрепотоків виконується шиберами.

Система подачі рідин і пари забезпечує циркуляцію, очищення, розігрів і подачу робочих рідин на розпилюючі пристрої. Система обладнана насосом, теплообмінником, трубопроводами з запірною-регуляційною арматурою і контрольно-вимірювальними пристроями.

Пристрій і принцип роботи агрегату підготовки поверхні АСО 0,7x1,0 див. паспорт АБ 11.021.00.00.00 ПС, як на покупний виріб.

Установка нанесення лакофарбових покриттів призначена для автоматизованого фарбування виробів розпилюванням в електричному полі.

Установка складається з наступних основних частин:

- камери напилення;
- живильник;
- модуля приводу розпилювачів;
- системи рекуперації;
- джерела високої напруги;
- пістолету обдувального;
- щита автоматичного управління і контролю, силового щита.

Камера виконана в вигляді прохідного однохідного тунелю з збірних панелей. Дно камери має уклони в сторону проїомів для приєднання фільтрів-рекуператорів.

Для попередження вибивання лакофарбового пилу через транспортні отвори, камера має вхідний і вихідний тамбури.

На бокових стінках камери виконані щілини для проходу розпилювачів і отвір для ручного підфарбовування виробів.

Розпилювач фарб автоматичний призначений для зарядки частинок покриття і їх переміщення до виробу, що фарбується. Розпилювач встановлений на важелі і за допомогою пневмодвигуна здійснює коливальні переміщення.

Модуль приводів розпилювачів призначений для прихідного і відхідного переміщення розпилювачів по дугоподібній траєкторії в вертикальній площині.

Модуль складається з пневмодвигуна поршневого поворотного, на валу якого змонтований важіль з розпилювачами.

Джерелом високої напруги служить установка випрямляюча УВ-160-2,5.

Фільтр рекуператор призначений для очистки повітря від фарби.

Вентиляційні центри призначені для відсмоктування повітря з камери нанесення через фільтри-рекуператори і викиду очищеного повітря в атмосферу.

Живильник призначений для подачі лакофарбових матеріалів до розпилувачів і складається з місткості, циклону, ежекторів, які подають матеріал до розпилувачів.

Пістолет обдувальний призначений для очищення внутрішньої поверхні камери нанесення і фільтра стиснутим повітрям від осілого в ній матеріалу.

Щит управління призначений для розміщення приборів контролю і регулювання.

Електричний щит призначений для розміщення електроапаратури пуску і електричного захисту електроприводів механізмів камери.

Блок сушильно-охолоджувальний автоматизований призначений для нагрівання виробів перед фарбуванням, сушіння покриття після фарбування виробів і охолодження виробів при виході виробів з блоку. Передача тепла виробу проходить при безпосередньому зіткненні його з циркулюючим повітрям. Рециркуляційна система складається з вентиляційних установок, електричних калориферів і розподільчих коробів з регулюючими щілинами.

Повітря, що відсмоктується рециркуляційними вентиляторами з нижньої частини сушильної установки, подається до електричних калориферів, де підігрівається до заданої температури і через щілини розподільчих коробів поступає до виробу, нагріваючи його або оплавляючи порошкові покриття.

Охолодження виробу після формування лако-фарбового покриття проходить обдуванням повітря через контури в зоні охолодження.

Конструкція установки забезпечує тепловий підпір в сушильній установці, виключає можливість виходу нагрітого повітря і викиду з блоку в атмосферу.

Каркас блоку збірно-розбірного типу, складається з стояків, ригелів і облицювальних теплоізоляційних панелей.

Витяжна система призначена для видалення відпрацьованого повітря з отворів зони сушильної і зони охолодження.

Конвеєр підвісний неперервної дії призначений для переміщення виробів через фарбувально-сушильне обладнання відповідно технологічного процесу.

Ланцюг тяговий розбірний з кроком 100мм.

Крок виробу, мм – 800.

Крок кареток, мм – 400.

Швидкість конвеєра, м/с (м/хв) – 0,015 (0,9).

Електрообладнання, КВП і автоматика.

Електрообладнання, електроприводи, КВП і автоматика забезпечує управління електроприводами установок, що входять в лінію, а також контроль і регулювання необхідних технологічних параметрів цих установок.

При цьому передбачено блокування та інші заходи, що забезпечують безпечну роботу обладнання. Для управління електроприводами лінії застосовані низьковольтні комплектні пристрої НКУ на основі рейкових блоків серії В, розміщених в щитах відкритого виконання з верхнім підведенням кабелів.

Металоконструкції всіх установок лінії повинні бути приєднані до цехового контуру захисного заземлення, для чого на кожній з установок передбачений спеціальний болт, вказаний в збірному кресленні установки.

У відповідності з вимогами технології управління лінією виконується поагрегатно.

Обладнання миючого агрегату, установка регенерації стічних вод, дозувальний насос до агрегату обробки поверхні та вентилятор обдування вмикаються з щита управління і контролю ЩУК лінії:

- обладнання агрегату обробки поверхні – з щита Щ<sub>1</sub> агрегату;

- обладнання блоку сушильно-охолоджувального з щита ЩУК лінії;

- установка фарбування – з пульту управління високовольтного–випрямляючого.

Конвеєр вмикається або з ящика управління, або з місцевого посту, розміщеного на установці фарбування.

Щити і ящик управління розташовані в щитовому приміщенні, пульт високовольтного – випрямного пристрою розташований на установці фарбування.

На щиті ЩУК лінії змонтована апаратура сигналізації, яка дозволяє визначити стан обладнання установок лінії. Контроль роботи обладнання установок здійснюється зеленими лампами. При аварії з обладнанням загоряється відповідна червона лама та дзвенить дзвінок. Звукову сигналізацію вимикають кнопкою, схемою передбачено випробування ламп.

При пожежі і виході з ладу вентиляторів сушильної установки, при пожежі та виході з ладу вентиляторів, аварії з фільтрами, зникненні стиснутого повітря і високої напруги установки фарбування зупиняється конвеєр.

Наступні установки лінії містять комплекти документації: ДП 305.330.00.00.000, в даних вузлах розроблені схеми принципів, підключення, структурні, документація на щити та збірні креслення.

Документація на електрообладнання, КВП та автоматику агрегату обробки поверхні входить комплект ДП 305.330.00.00.000.

Документація на конвеєр, на агрегат миття, установку регенерації стічних вод, додаткове обладнання (дозувальний пристрій та вентилятор обдування) до агрегату обробки поверхні входять в склад документації на лінію.

Опис схем установок входить в паспорти цих установок.

#### 4.5 Розміщення та монтаж лінії

Приміщення для лінії за об'ємно-плановими та конструктивними рішеннями повинне відповідати вимогам будівельних та санітарних норм і правил проектування промислових підприємств.

Внутрішні поверхні стін приміщення до висоти не менше 2м. повинні бути облицьовані матеріалом, що допускає легке очищення від забруднення.

Температуру повітря в приміщенні для розрахунку опалення слід приймати у відповідності з санітарними нормами за категорією робіт середньої важкості для приміщень з незначними надлишками явного тепла (до 23 Дж/м<sup>3</sup>.с.). Температура, відносна вологість та швидкість руху повітря в робочих зонах приміщення повинні бути в межах, встановлених ГОСТ12.1.005-88. Температура теплоносія для нагрівальних пристроїв центрального опалення не повинна перевищувати 383 К (110<sup>0</sup>С).

Біля опалювальних пристроїв слід встановлювати незгоряючу зйомну огорожу. Опалення рециркуляційними агрегатами не допускається.

При встановленні в приміщенні ліній повітряних завіс при біля вхідних воріт, працюючих під час їх відкривання, допускається забирати повітря з верхньої зони приміщення.

Приміщення лінії повинне бути обладнане механічною припливно-витяжною вентиляцією. Витяжна вентиляція повинна бути місцевою. В доповнення до місцевої витяжної вентиляції необхідно передбачати відсмоктування повітря в об'ємі однократного обміну з верхньої зони приміщення (безпосередньо з-під покрівлі) переважно над джерелом тепла.

Приточне (зовнішнє) повітря слід подавати в приміщення лінії розсіяно або верхню зону. Вентиляційне обладнання повітроводи притічних та витяжних установок повинні бути надійно заземленні.

Лінію необхідно розміщувати з врахуванням зручності обслуговування та безпеки евакуації робочих при аварійних ситуаціях.

Ширина проїздів повинна відповідати габаритам використовуваних транспортних засобів та транспортований виробів і забезпечувати вільні проходи по обох сторонах від них шириною не менше 0,7м.

Ширина проходів (для ремонту та огляду обладнання) повинна бути не менше 0,8м. Приміщення лінії повинне бути обладнане засобами пожежної техніки по ГОСТ12.2.009-83.

Монтаж обладнання лінії виконується на основі затвердженої проектною документації, яка передбачає прив'язку лінії на місці її застосуванні та пристрій всіх комунікацій, а також проекту виробництва робіт (ПВР) та проекту організації будівництва (ПОБ). При цьому ПОБ розробляється генеральним проектувальником, а ПВР – монтажною організацією з врахуванням зручності транспортних та загрузочно, розгрузочних операцій.

На початок монтажу обладнання лінії повинні бути споруджені фундаменти під обладнання, вкладені монорейки та зроблені чорні підлоги. Приміщення і фундаменти повинні бути звільнені від опалубки, будівельних лісів та сміття; отвори та канали огороженні. На конструкції приміщень, фундаменти і закладні елементи фундаментів наносять головні осі, а на репери – висотні відмітки.

Готові фундаменти під обладнання приймаються тільки при відповідності проекту фактичним розмірам, відміток та прив'язок.

Готовність фундаментів повинна бути оформлена актом, підписаним представниками будівельно-монтажної організації та технаглядом замовника, а також авторським наглядом Проектного інституту.

До початку монтажу лінії замовником з залученням авторського нагляду виконується перевірка комплектності поставки устаткування за супровідними документами, його збереження – візуально, за станом упаковки.

При необхідності виконується усунення виявлених дефектів або доукомплектація устаткування. Після передачі устаткування в монтаж



виконується перевірка відповідності устаткування проекту, наявність та повнота технічної документації.

При навантаженні, розвантаженні та переміщенні устаткування в монтажній зоні, а також при підйомі та встановленні в проектне положення під час монтажу повинна бути забезпечена повне зберігання вантажу.

Монтаж виконується строго за планом виконання робіт (ПВР), розробленому замовником та будівельно-монтажною організацією, в якому повинні бути відображені умови виконання робіт, встановлення пожежно-сторожової охорони, заходи по техніці безпеки і т.п.

Монтаж окремих одиниць обладнання лінії виконується у відповідності з інструкціями по монтажу, пуску, регулюванню та обкатуванні виробу на місці їх використання та ПВР. При цьому рекомендується проводити облицювання панелями перекриття фарбувально-сушильних установок по закінченні монтажу конвеєра.

При необхідності до початку монтажу устаткування проводиться збирання окремих вузлів в збільшенні збірні одиниці.

Для забезпечення високої якості монтажних робіт всі відступи від документації повинні попередньо погоджуватись в журналі авторського нагляду або окремими документами, що пред'являються в подальшому при здачі – прийманні устаткування. Погодженні зміни повинні бути внесені в документацію.

Підготовка до роботи устаткування лінії, порядок роботи, перевірка технічного стану та обслуговування, характерні несправності та методи їх ліквідації викладені в паспортах устаткування, що входить в склад лінії.

Устаткування лінії необхідно утримувати в чистоті. Строки очищення устаткування повинні відповідати вимогам, викладеним в паспортах на устаткування лінії. На лінії не допускається наявність бруду, пилу та сторонніх предметів.

Роботи всередині устаткування необхідно проводити при ввімкненій вентиляції бригадою не менше двох чоловік.

Ремонт, регулювання та змащення різних вузлів устаткування необхідно виконувати тільки після вимкнення електроживлення та зупинки механізмів. Після проведення ремонтних робіт повинні бути проведенні випробування лінії або її складових частин.

#### **4.6 Розробка автоматичної системи керування лінії підготовки поверхонь до нанесення покриття**

В базовому проекті автоматизованої лінії передбачена система керування циклового електромеханічного типу з виконавчими механізмами та приводами пневматичного та електричного типу.

Реалізація циклу роботи автоматичної лінії вручну здійснюючи комутацію пневматичних та електромеханічних приводів лінії у відповідності до заданої програми роботи. В автоматичному режимі виконувались технологічні переходи очищення та обезжирювання, сушки та прокалювання виробів. Автоматизація зводилась до виконання таймерних функцій, тобто витримування заготовок в пункті технологічного переходу, при виконанні обробки, заданого інтервалу часу. Таймерні функції виконували електромеханічні реле часу. Синхронізація лінії здійснювалась по максимальному часу виконання технологічного переходу.

Недоліками попередньої системи керування є:

- Низка надійність роботи, викликана механічним зношуванням частин системи керування та обмеженою кількістю гарантованих циклів спрацювань.
- Відсутність докладного контролю за станом системи, за окремими технологічними переходами.
- Відсутність в системі пристроїв обліку.
- Низка гнучкість системи керування по продуктивності та номенклатурі.
- Відсутність належної системи індикації стану лінії

Недоліки пояснюються тим, що в механічних частинах та електромеханічних блоках системи керування після певного терміну роботи виникає механічне зношення. Крім цього жорстка механізація технологічного процесу не дозволяє змінювати структуру циклу керування, здійснювати часові та позиційні модернізації, які можуть бути необхідними при переході на іншу номенклатуру продукції, матеріали та об'єм упаковки.

Схема автоматичної системи керування базового проекту автоматизованої лінії АЛПП-10А зображена на рис.4.7

При розробці нової системи керування слід притримуватись наступних принципів, які дозволять скоротити терміни впровадження розробки та вартість модернізації. Основну систему керування залишати у відповідності до базового проекту, виконуючі пристрої та приводи, силові агрегати конструктивно не змінювати.

Суть модернізації системи полягає в наступних конструктивних пропозиціях:

Провести заміну системи організації робочого циклу лінії з механічного типу на електронну процесорну систему програмного типу. В даній системі програмно реалізувати функції організації робочого циклу, програмної комутації виконуючих пристроїв та приводів з часовою витримкою згідно заданої циклограми.

Передбачити в системі функції програмного включення та виключення основного обладнання у відповідності до вимог технічного паспорта та інструкції по експлуатації автоматизованої лінії.

Провести можливу заміну комутуючих пристроїв електромеханічного типу на електронні компоненти, а саме тиристорні, симисторні, оптронні комутатори.

Реалізувати в системі автоматичного керування додаткові функції, які відсутні в базовому проекті, а саме:

Контроль стану системи в базових точках робочого циклу (апаратні переходи, стан виконуючих пристроїв та приводів).

Програмну функцію тестування окремих вузлів автоматичної лінії з видачею кінцевого повідомлення про готовність або про тип несправності на систему загальної індикації.

Контроль за системою підігріву (контроль температурних режимів пунктів обезжирювання та промивки), системою живлення подачі розчинів і води (контроль тиску в системі подачі розчинів і води)

Систему аварійних переривань та аварійного вимкнення лінії по певним заданим умовам (неспрацювання виконуючих пристроїв та приводів, вихід температури за межі заданого інтервалу, неполадки в системі подачі розчинів і води лінії).

Систему загальної та місцевої індикації стану системи, обліку продукції, режимів роботи автоматизованої лінії.

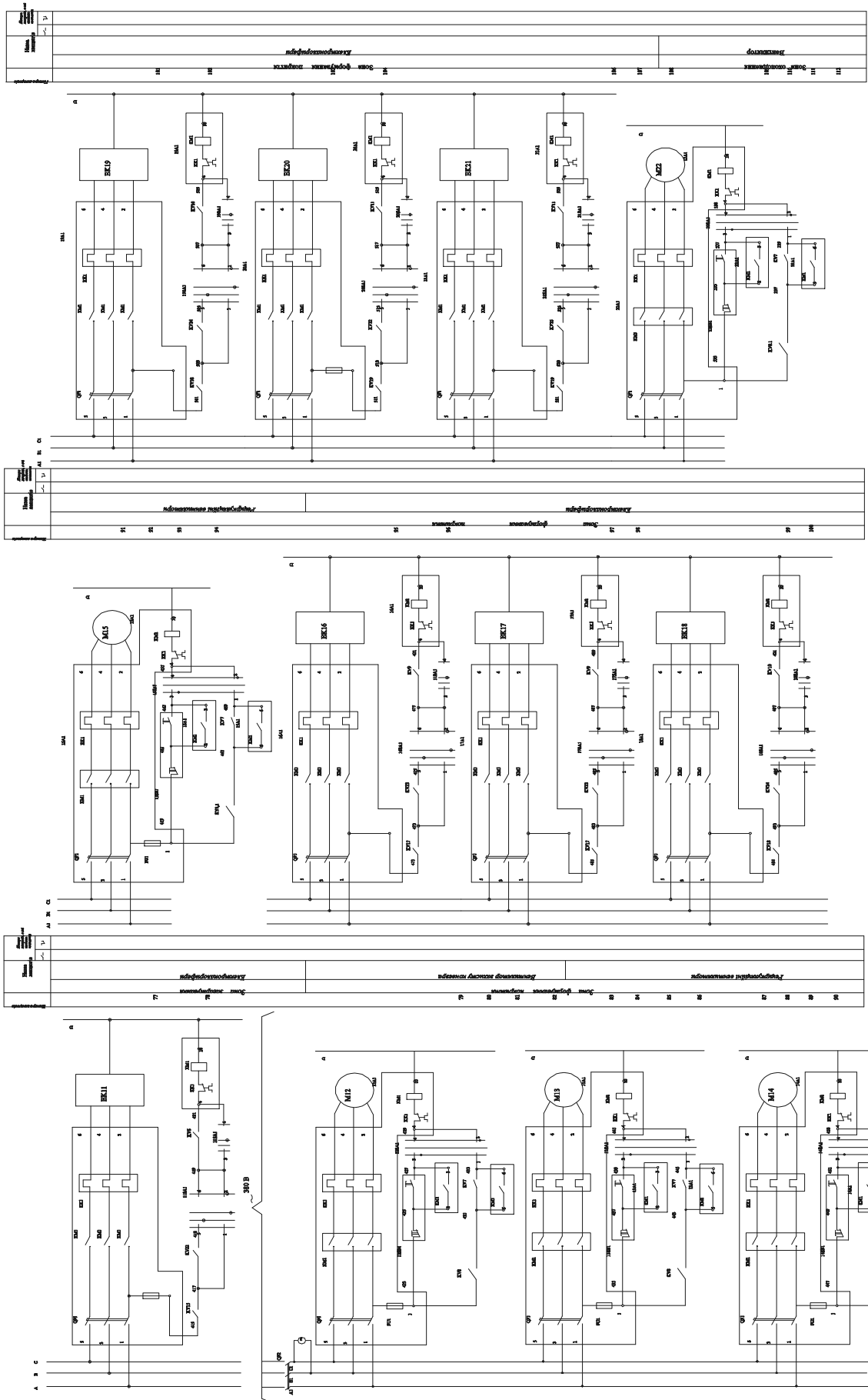


Рисунок 4.7 – Система приводів лінії підготовки поверхонь АЛПП-10А

## **4.7 Розробка та компоновка функціональної схеми автоматичної системи керування лінії**

На даному етапі проведення конструкторської розробки слід визначити загальну компоновку системи керування лінією підготовки поверхонь деталей до нанесення покриття, скласти загальну функціональну схему системи керування з визначенням її основних функціональних складових, – вузлів, блоків. Для компоновки системи визначаємо основні функційні блоки системи з визначенням їх основного функціонального призначення, попередніх техніко-експлуатаційних характеристик. Крім цього визначаються основні функціональні зв'язки між блоками, які об'єднують окремі складові в єдину систему. Для зв'язків призначаються їх кількість, тип, напрям. Розділ функціонального проектування завжди є передуючим до конструкторсько-технічних робіт. Важливість цього розділу полягає у тому, що на даному етапі розробляється саме основна концепція і ідея проєктованого виробу чи системи, крім цього зауважимо, що від якості проведення попередніх проєктувальних робіт, використання у них новітніх технічних, технологічних досягнень та ін. Буде залежати результат виконання конструкторсько-проєктних робіт в цілому.

В попередньому розділі визначено основні напрямки виконання конструкторсько-технічних робіт по створенню системи автоматизованого керування та контролю для лінії підготовки поверхонь деталей до нанесення покриття.

Лінія працює в автоматичному режимі використовуючи циклову електромеханічну систему керування. Основою організації технологічного циклу є кулачковий механізм, який здійснюючи обертовий рух комутиє електромеханічні пристрої (магістральні та маршрутні перемикачі), які в свою чергу вмикають через систему реле основні виконуючі механізми та приводи лінії.

Технологічний цикл лінії підготовки поверхонь деталей до нанесення

покриття умовно розділяють на такі частини:

1. Завантаження заготовок і деталей на транспортні решітки. Здійснюється вручну. Недоцільно використовувати автоматизоване завантаження, так як для забезпечення номенклатурності оброблюваних виробів використання засобів автоматизації ускладнило і суттєво збільшило вартість модернізації.
2. Операція обезжирення і очистки і обезжирювання, здійснюється в однопрохідному тунелі лінії. Здійснювати в автоматизованому режимі, при контролі вхідних концентрацій розчинів, та їх вихідного рівня РН. Керування переходом здійснювати таймерно, з можливим контролем рівня РН вихідного зливу розчинів, по якому визначати кількісний і якісний стан проведення переходу.
3. Операція промивання від залишкової наявності розчинів очистки. Керування переходом здійснювати таймерно, з можливим контролем рівня РН вихідного зливу води, по якому визначати кількісний і якісний стан проведення переходу.
4. Сушка виробів і їх попереднє прокалювання. Керування переходом здійснювати таймерно при контролі температури в сушильній камері.
5. Всі механізми автоматизованої лінії працюють циклічно і періодично, виконання окремих технологічних переходів здійснюється у паралельному режимі з синхронізацією у часі.

Циклограму роботи лінії використаємо в мікропроцесорній системі керування для формування керуючих слів, які подаються на комутуючі пристрої з блоку управління та контролю. Вона визначатиме програмно-апаратний склад системи в каналі керування.

Для створення системи автоматичного керування та контролю в цілому слід початково виділити такі пункти: тип системи, її основні складові функціональні вузли.

Систему доцільно розробляти процесорного типу. Перевагою таких систем є можливість оперативного переналагодження системи на інші цикли

виконуваних команд, що забезпечить гнучкість системи. Крім того за допомогою програмно-апаратного комплексу процесорної системи керування можна реалізувати гаму додаткових функцій: контроль стану системи її тестування, індикацію, облік продукції і т.п.

Систему слід розділити на такі основні функціональні блоки:

- 1) Блок процесорного комплекту.
- 2) Модуль спряження.
- 3) Локальні модулі контролю і керування параметрів по технологічним переходам (контроль температури нагріву матеріалів при сушінні, контроль за станом живлення системи подачі розчинів автоматичної лінії, контроль рівня рН для операцій обезжирювання та промивання).
- 4) Блок виконуючих пристроїв та приводів лінії.

Визначимо основне функціональне призначення функціональних вузлів.

#### **4.8 Блок процесорного комплекту.**

Призначений для прийому та обробки вхідних сигналів про стан системи та видачі керуючих сигналів, які видаються з визначеними часовими інтервалами заданими підпрограмами затримки. Крім цього в процесорному блоці повинні передбачити систему загальної індикації, яка призначена для виконання наступних процедур: індикації обліку продукції, стану системи, індикації параметрів оперативного вводу інформації та завдання режимів.

Система повинна забезпечувати функціонування у режимі переривань, які застосовуватимуться у ситуаціях аварійного типу: відхилення температури нагрівників вузлів формування тари та зварювання упаковки від заданого значення, відхилення тиску в мережі живлення пневмосистеми стиснутим повітрям, збій порядку виконання технологічного циклу через невиконання окремих операцій або технологічних переходів.

Для проектування блоку слід попередньо вибрати базовий мікропроцесорний комплект, який застосовуватимемо для його реалізації.



Також необхідно визначити загальну конфігурацію, - типи та об'єми пам'яті, апаратний склад реалізації систем вводу-виводу, індикації, клавіатури, каналу переривань та можливі варіанти реалізації системної шини, шин адреси-даних, тощо.

В якості центрального процесорна блоку слід вибирати мікропроцесор або однокристальну мікроЕОМ сучасного типу з розширеними програмними та апаратними можливостями. Під таку категорію підпадає сімейство однокристальних мікроЕОМ серії MSC-51 фірми MicroChip, або їх аналогів. Вітчизняним аналогом даного мікропроцесора є ІМС КР1816 ВЕ51, або її аналоги серії К1816. Даний мікропроцесор 8-розрядного типу, з вбудованою пам'яттю програм і команд, портами вводу і виводу є зручним для побудови локальних нескладних систем керування одно- та багаторангової структури.

В мікропроцесорному блоці слід використати і зовнішні запам'ятовуючі пристрої, оперативну та постійну пам'ять комплекту, яку використовують для розширення програмних потужностей комплекту. В якості ОЗП використовуємо статичну пам'ять - ОЗП серії КР537, яка не потребує додаткових пристроїв для регенерації її вмісту. Аналогічно використаємо для ПЗП цю ж саму серію. Об'єм пам'яті, який необхідний для виконання основних функцій мікропроцесорного комплекту визначимо наближено, він складатиме 64К ОЗП, 32К ПЗП. Для забезпечення визначеного об'єму ОЗП і ПЗП відповідно використаємо ІМС К537РУ10 (4шт. · 16К=64К), КР537РФ2 (2шт. · 16К=32К). Дані типи ОЗП та ПЗП є стабільними в роботі, і забезпечують достатню швидкодію обміну даними. Кількість шин адреси 11 для обох типів пам'яті.

Щоб реалізувати розширену функцію обміну даними з зовнішніми пристроями слід організувати систему вводу-виводу з використанням окремих пристроїв, так як використання вбудованих портів процесора може не забезпечити званої кількості необхідних каналів. Для цього зручно використовувати паралельні порти вводу-виводу даних серії К580ВВ55, які мають додаткові функції програмування їх режимів роботи.

Кількість портів вводу-виводу вибираємо 2шт., з метою розпаралелення каналів вводу інформації про стан об'єкту керування, та каналів виводу керуючих сигналів. Така конфігурація забезпечить надійнішу роботу системи в цілому та зручніше програмування комплекту.

Для організації в комплекті функцій вводу інформації оператором та видачі візуальної індикації використаємо спеціалізований контролер клавіатури та індикації КП580BB79, що значно спростить апаратну реалізацію, розширить функціональні можливості. Даний контролер дозволяє реалізувати опитування матриці клавіатури розмірами  $8 \times 16 = 128$ . Або при розподіленні каналу сканування S0-4 (демультиплексований становитиме  $2^4 = 16$ ) можливою є одночасна організація клавіатурного інтерфейсу розмірами  $4 \times 4$  та 12 позиційного семисегментного дисплея індикації. Необхідна кількість позицій індикатора в нашій системі є 4, вона забезпечить достатньо інформативну індикацію для оператора лінії. Розподіл вбудованих портів та магістралей адреси-даних мікропроцесора. Використовуючи особливості побудови процесора, які приведені нижче по тексту, призначимо такий розподіл портів:

- P0.0-P0.7 – шина даних 8 розрядів, демультиплексована в часі з молодшим розрядом шини адреси A0-A7
- P2.0-P2.7 – шина адреси 8 розрядів, старший розряд шини адреси A8-A15
- P1.0-P1.7 – шина даних, ввід вивід від зовнішніх пристроїв, для організації каналу переривань та постійного обміну 8 розрядів.
- P3.0-P3.7 – системна шина керуючих сигналів WR, RD, TXD, WXD, INT1, INT2, T0, T1.

Такий розподіл портів дозволить покращити процеси обміну даних всередині комплекту, передачу і прийом даних до зовнішніх пристроїв.

Для організації системної шини крім сигналів системного порту P3, використовуємо організацію вибірки CS. Для цього незадіяні в адресації пам'яті шини адреси, старші розряди A11-A15 демультиплексуємо

дешифраторами в сигнали вибірки. Загальна кількість можливих сигналів вибірки становитиме  $2^5=32$ , для нас необхідно лише 9 сигналів вибірки CS0-9, по кількості корпусів ІМС пам'яті, пристроїв вводу виводу, контролерів системи. Тому ми використовуємо лише 4 старших розряди адреси A12-A15.

Інші сигнали шини адреси-даних використаємо в якості задаючих режими роботи портів вводу виводу, та контролера клавіатури-дисплея.

Загальна функціональна схема реалізації процесорного модуля на базі однокристальної мікроЕОМ КР1816 ВЕ51 зображена на рис. 4.8.



## 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### САПР І РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

#### 5.1 Загальні відомості про систему команд КР1816ВЕ51 (МК51)

Система команд МК51 містить 111 базових команд, які зручно поділити по функціональній ознаці на п'ять груп: команди передачі даних, арифметичних операцій, логічних операцій, передачі керування та операцій з бітами.

Система команд МК51 більш потужна та ширша системи команд МК48, так як крім всіх команд МК48 до її складу входять команди множення, ділення, віднімання, операції над бітами, операції зі стеком та розширений набір команд передачі керування. Більшість команд (94) мають формат один або два байти і виконуються за один або за два машинних цикли. При тактовій частоті 2 МГц тривалість машинного циклу складає 1 мкс. На рис 5.1 показані 13 типів команд МК51. Перший байт команди будь-яких типу і формату завжди містить код операції (КОП). Другий і третій байти містять або адреси операндів, або безпосередні операнди.

Типи операндів. Склад операндів МК51 ширший, ніж МК48, і включає в себе операнди чотирьох типів: біти, 4-бітні цифри, цифри, байти і 16-бітні слова.

На відміну від МК48, який має лише три бітових флаги, МК51 має 128 програмно-керованих флагів користувача. Існує також можливість адресації окремих бітів блоку регістрів спеціальних функцій та портів. Для адресації бітів використовується пряма 8-бітна адреса (bit). Непряма адресації бітів неможлива.

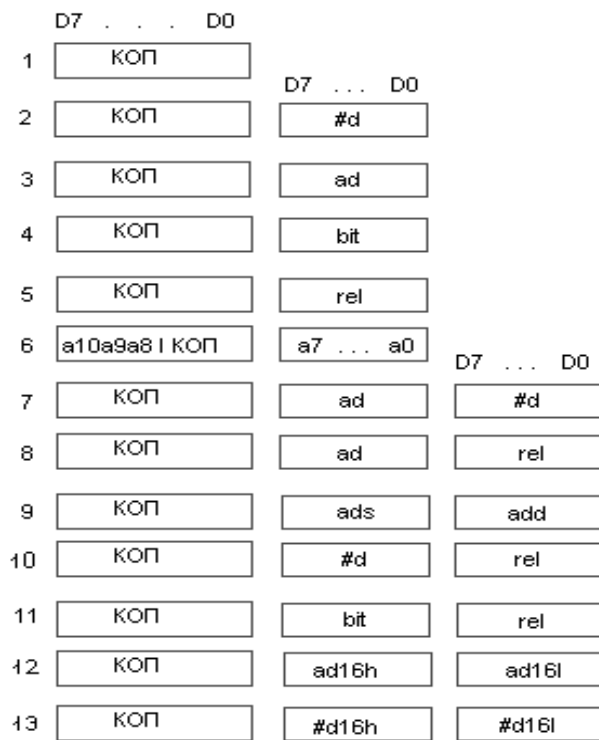


Рисунок 5.1 –Типи команд МК51

Карти адрес окремих бітів представлені на рис. 5.2 і 5.3 Чотирьохбітні операнди використовуються лише при операціях обміну (команди SWAP і XCHD). Восьмибітним операндом може бути комірка пам'яті програм або даних (резидентної або зовнішньої), константа (безпосередній операнд), регістри спеціальних функцій (РСФ), а також порти вводу/виводу. Порти і РСФ адресуються лише прямим способом. Байти пам'яті можуть адресуватися також і непрямим чином через адресні регістри (R0, R1, DPTR і PC). Двохбайтні операнди – це константи і прямі адреси, для представлення яких використовуються другий і третій байти команди.

Способи адресації даних. В МК51 використовуються такі ж способи адресації даних, як і в МК48: пряма, безпосередня, непряма і неявна. Слід відмітити, що при непрямому способі адресації РПД на відміну від МК48 використовуються всі вісім бітів адресних регістрів R0 і R1.

Система команд МК51 порівняно з МК48 дозволяє більше комбінацій способів адресації операндів в командах, що робить її більш гнучкою та універсальною.

Флаги результату. Слово стану програми (PSW) включає в себе чотири флаги: С - перенесення, АС – допоміжне перенесення, О – переповнення і Р - паритет.

Флаг паритету (відсутній в МК48) напряму залежить від поточного значення акумулятора. Якщо одиничних бітів акумулятора непарне, то флаг Р встановлюється, а якщо парне – скидається. Спроби змінити флаг Р, присвоївши йому нове значення, будуть безуспішними, якщо вміст акумулятора при цьому залишиться незмінним.

Флаг АС встановлюється у тому випадку, якщо при виконанні операції додавання/віднімання між тетрадами байта виникло перенесення/позичання.

Флаг С встановлюється, якщо в старшому біті результату виникло перенесення або позичання. При виконанні множення і ділення флаг С скидається. Флаг ОV (відсутній в МК48) встановлюється, якщо результат операції додавання/віднімання не вміщається в семи бітах і старший (восьмий) біт результату не може інтерпретуватися як знаковий. При виконанні операції ділення флаг ОV скидається, а у випадку ділення на нуль встановлюється. При множенні флаг ОV встановлюється, якщо результат більший 255.

В табл 5.1 перелічені команди, при виконанні яких модифікуються флаги результату. В таблиці відсутній флаг паритету, так як його значення змінюється всіма командами, які змінюють вміст акумулятора. Крім команд, наведених в таблиці, флаги модифікуються командами, в яких місцем призначення результату визначені PSW або його окремі біти, а також командами операцій над бітами.

Символічна адресація. При використанні асемблера МК51 (ASM51) для отримання об'єктних кодів програм допускається застосування в програмах символічних імен реєстрів спеціальних функцій (РСФ), портів та їх окремих бітів.

Для адресації окремих бітів РСФ і портів (така можливість є не у всіх РСФ) можна використовувати символічні імена наступної структури:

< ім'я РСФ або порту > . < номер біта >

Наприклад, символічне ім'я п'ятого біта акумулятора буде наступним: АСС.5. Символічні імена РСФ, портів та їх бітів є зарезервованими словами для АСС.5, і їх не треба визначати за допомогою директив асемблера.

Таблиця 5.1 – Команди, що модифікують флаги результату

Команди	Флаги	Команди	Флаги
ADD	C, OV, AC	CLR C	C = 0
ADDC	C, OV, AC	CPL C	C = $\bar{C}$
SUBB	C, OV, AC	ANL C, b	C
MUL	C = 0, OV	ANL C, /b	C
DIV	C = 0, OV	ORL C, b	C
DA	C	ORL C, /b	C
RRC	C	MOV C, b	C
RLC	C	CJNE	C
SETB C	C = 1		

Символічна адресація. При використанні асемблера МК51 (АСС.5) для отримання об'єктних кодів програм допускається застосування в програмах символічних імен регістрів спеціальних функцій (РСФ), портів та їх окремих бітів.

Для адресації окремих бітів РСФ і портів (така можливість є не у всіх РСФ) можна використовувати символічні імена наступної структури:

< ім'я РСФ або порту > . < номер біта >

Наприклад, символічне ім'я п'ятого біта акумулятора буде наступним: АСС.5. Символічні імена РСФ, портів та їх бітів є зарезервованими словами для АСС.5, і їх не треба визначати за допомогою директив асемблера.



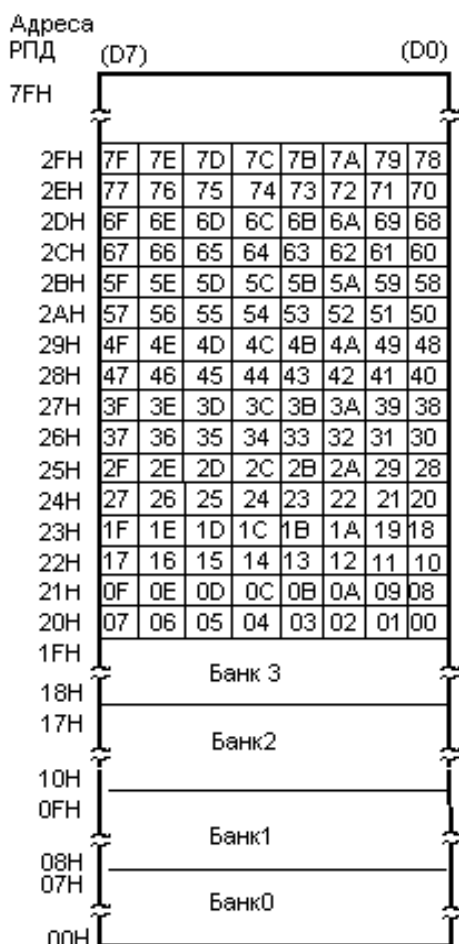


Рисунок 5.2 – Карта адресованих бітів

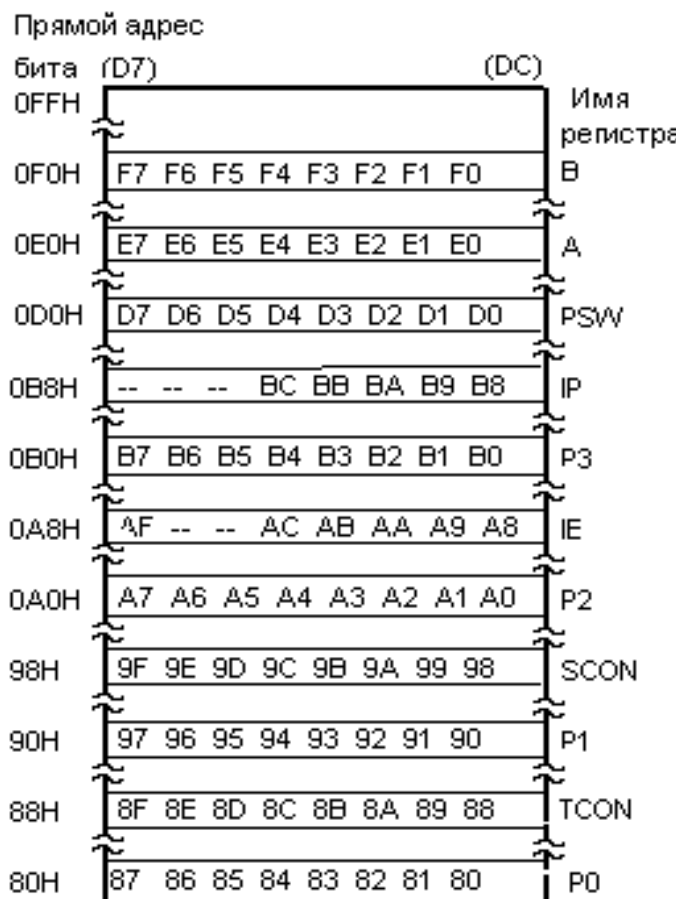


Рисунок 5.3 – Карта адресованих бітів в блоці регістрів спеціальних функцій

## 5.2 Група команд пересилання даних

Більшу частину команд даної групи складають команди передачі та обміну байтів. Команда пересилання бітів представлені в групі команд бітових операцій. Всі команди даної групи не модифікують флаги результату, за винятком команд завантаження PSW і акумулятора (флаг паритету).

Структура інформаційних зв'язків. В залежності від способу адресації і місця розміщення операнда можна виділити дев'ять типів операндів, між якими можливий інформаційний обмін. Граф можливих операцій передачі даних зображений на рис. 5.4. Акумулятор (А) зображений на цьому графі окремою вершиною, так як багато команд використовують неявну адресацію.

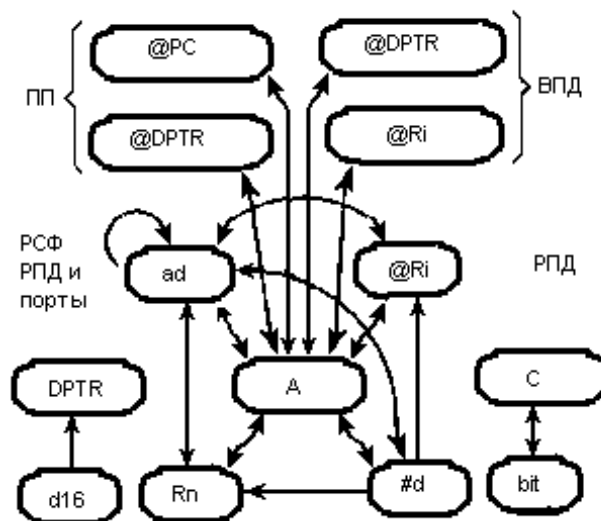


Рисунок 5.4 – Граф шляхів передачі даних в МК51

На відміну від МК48 передачі даних в МК51 можуть виконуватись без участі акумулятора. Акумулятор. На відміну від МК48 звернення до акумулятора може бути виконане в МК51 з використанням неявної і прямої адресації. В залежності від способу адресації акумулятора застосовується одне із символічних імен: А або АСС (пряма адреса). При прямій адресації звернення до акумулятора виконується як до одного із РСФ, і його адреса вказується в другому байті команди.

Використання неявної адресації акумулятора краще, однак не завжди можливе, наприклад, при зверненні до окремих бітів акумулятора.

Звернення до зовнішньої пам'яті даних. Режим непрямої адресації ЗПД, який є в МК48, реалізований також і в МК51. При використанні команд MOVX @Ri забезпечується доступ до 256 байтів зовнішньої пам'яті даних. Існує також режим звернення до розширеної ЗПД, коли для доступу використовується 16-бітна адреса, що зберігається в регістрі-вказівнику (DPTR). Команди MOVX @DPTR забезпечує доступ до 65536 байтів ЗПД.

### 5.3 Група команд арифметичних операцій

Дану групу складають 24 команди що виконують операції додавання, десяткової корекції, інкременту/декременту байтів. Додатково порівняно із МК48 введені команди віднімання, множення і ділення байтів.

Команди ADD і ADDC аналогічні командам додавання МК48, але дозволяють додавання акумулятора з більшим числом операндів. Аналогічно командам ADDC існують чотири команди SUBB, що дозволяють більш просто, ніж в МК48, виконувати віднімання байтів і багатобайтних двійкових чисел. В МК51 реалізується розширений (порівняно з МК48) список команд інкременту/декременту байтів, введена команда інкремента 16-бітного регістра-вказівника даних.

#### **5.4 Група команд логічних операцій**

Дану групу утворюють 25 команд, що реалізують ті ж логічні операції над байтами, що і в МК48. Однак в МК51 значно розширене число типів операндів, що беруть участь в операціях.

На відміну від МК48 існує можливість виконувати операцію “Виключаюче АБО” з вмістом портів. Команда XRL може бути ефективно використана для інверсії окремих бітів портів.

#### **5.5 Група команд операцій з бітами**

Відмінною властивістю даної групи команд є те, що вони оперують з однобічними верандами. В якості таких операндів можуть виступати окремі біти деяких регістрів спеціальних функцій (РСФ) і портів, а також 128 програмних флагів користувача.

Існують команди скиду (CLR), встановлення (SETB) та інверсії (CPL) бітів, а також кон'юнкції і диз'юнкції біта та флага перенесення. Для адресації бітів використовується пряма восьмирозрядна адреса (bit). Непряма адресація бітів неможлива.

#### **5.6 Група команд передачі керування**

До даної групи команд належать команди, що забезпечують умовне та безумовне галуження, виклик підпрограм та повернення з них, а також команда пустої операції NOP. В більшості команд використовується пряма

адресація, тобто адреса переходу повністю (або її частина) міститься в самій команді передачі керування. Можна виділити три різновидності команд галуження по розрядності адреси переходу, що вказується.

Довгий перехід. Перехід по всьому адресному простору ПП. В команді міститься повна 16-бітна адреса переходу (ad 16). Трьохбайтні команди довгого переходу містять в мнемокоді літеру L (Long). Всього існують дві такі команди: LJMP – довгий перехід і LCALL – довгий виклик підпрограми. На практиці рідко виникає необхідність переходу в межах всього адресного простору і частіше використовуються вкорочені команди переходу, що займають менше місця в пам'яті.

Абсолютний перехід. Перехід в межах однієї сторінки пам'яті програм розміром 2048 байт. Такі команди містять лише 11 молодших бітів адреси переходу (ad 11). Команди абсолютного переходу мають формат 2 байти. Початкова буква мнемокоду – A (Absolute). При виконанні команди в обчисленій адресі наступної по порядку команди  $((PC)=(PC)+2)$  11 молодших бітів замінюються на ad11 з тіла команди абсолютного переходу.

Відносний перехід. Короткий відносний перехід дозволяє передати керування в межах -128 - +127 байт відносно адреси наступної команди (команди, наступної по порядку за командою відносного переходу). Існує одна команда безумовного короткого переходу SJMP (Short). Всі команди умовного переходу використовують даний метод адресації. Відносна адреса переходу (rel) міститься в другому байті команди.

Непрямий перехід. Команда JMP @A + DPTR дозволяє передавати керування по непрямій адресі. Ця команда зручна тим, що надає можливість організації переходу по адресі, обчисленій самою програмою і невідомій при написанні вихідного тексту програми.

Умовні переходи. Розвинута система умовних переходів надає можливість здійснювати галуження по наступних умовах: акумулятор містить нуль (JZ); вміст акумулятора не рівний нулю (JNZ); перенесення

рівне одиниці(JC); перенесення рівне нулю(JNC); адресований біт рівний одиниці (JB); адресований біт рівний нулю (JNB).

Для організації програмних циклів зручно користуватися командою DJNZ, яка працює аналогічно відповідній команді МК48. Однак в якості лічильника циклів в МК51 може використовуватися не лише регістр, але і прямоадресований байт (наприклад, комірка РПД).

Команда CJNE ефективно використовується в процедурах очікування якої-небудь події. Наприклад, команда

```
WAIT: CJNE A,P0,WAIT
```

буде виконуватись до тих пір, поки на лініях порта 0 не встановиться інформація, що співпадає із вмістом акумулятора.

Всі команди даної групи, за винятком CJNE і JBC, не впливають на флаги. Команда CJNE встановлює флаг С, якщо перший операнд виявляється менше другого. Команда JBC скидає флаг С у випадку переходу.

Підпрограми. Для звернення до підпрограм необхідно використати команди виклику підпрограм (LCALL, ACALL). Ці команди на відміну від команд переходу (LJMP, AJMP) зберігають в стекові адресу повернення в основну програму. Для повернення з підпрограми необхідно виконати команду RET. Команда RETI відрізняється від команди RET тим, що дозволяє переривання обслуженого рівня.

## 6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1 Загальні положення по визначенню економічної ефективності.

Економічний ефект від впровадження нового пристрою визначається з умов використання цього пристрою за розрахунковий період [2]:

$$E_{PI} = P_{PI} - Z_{PI}, \quad (6.1)$$

де  $P_{PI}$  - вартісна оцінка результатів використання нового пристрою за розрахунковий період;  $Z_{PI}$  - вартісна оцінка затрат на виробництво і використання нового пристрою.

Розрахунковий період за який визначається економічний ефект, складається з трьох силових елементів:

$$T_P = T_{TP} + T_B + T_E, \quad (6.2)$$

де  $T_{TP}$ -тривалість робіт по технологічній підготовці виробництва;

$T_B$ -тривалість виготовлення нового пристрою;

$T_E$ -тривалість часу використання нового пристрою.

Тривалість робіт по ТПВ визначається на основі сіткового графіку за величиною критичного шляху і становить:  $T_{TP}=4617,6$  люд./год.

Тривалість часу використання нового пристрою визначається строком його служби.  $T_P=6$  років.

### 6.2 Розрахунок витрат на виготовлення та використання модернізованої системи управління.

*6.2.1. Розрахунок витрат на виготовлення модернізованої системи управління .*

*Витрати на виробництво модернізованої системи управління*

$$Z_{BH} = \underset{t=t_H}{\overset{t_K}{\mathbf{a}}} (Z_{ПВt} + K_t - L_t) \cdot K_{ПРt} \quad (6.3)$$

де  $Z_{ПВt}$ -поточні витрати на виробництво нового приладу в t-ому році без врахування амортизаційних відрахувань;

$K_t$ -разові (капітальні затрати на виробництво нового приладу в  $t$ -ому році;

$L_t$ -залишкова вартість основних фондів, що вибувають в  $t$ -ому році;

$t_K$ -кінцевий рік розрахунку;

$t_H$ -перший рік розрахункового періоду. Оскільки розрахунок ведеться на один пристрій, то доля разових (капітальних) затрат в сумарній їх величині буде незначною.

Отже, затрати на виробництво нового приладу за розрахунковий період слід визначати за такою формулою:

$$Z_{BH} = \sum_{t=t_H}^{t_K} Z_{ПВt} \cdot K_{ПРt}, \quad (6.4)$$

де  $Z_{ПВt}$ -поточні витрати на виробництво нового приладу в  $t$ -ому році, включаючи і амортизаційні відрахування;

$K_{ПРt}$ -коефіцієнт приведення .

Розрахунок поточних витрат на виготовлення пристрою проводиться по варіантах в розрізі таких калькуляційних статей

- сировина і матеріали (за мінусом повернутих відходів);
- куповані напівфабрикати і комплектуючі вироби;
- паливо і енергія на технологічні цілі;
- основна і додаткова заробітна плата виробничих робітників
- нарахування на зарплату;
- витрати на підготовку і освоєння виробництва;
- витрати на утримання і експлуатацію обладнання;
- цехові (загальновиробничі) витрати;
- заводські (загальногосподарські) витрати;
- інші виробничі витрати;
- позавиробничі витрати.

#### *6.2.1.1. Розрахунок вартості купованих напівфабрикатів і деталей.*

Розрахунок проводиться за ф-лою:

$$K_{нд} = \sum_{i=1}^n H_i \cdot C_{ні}, \quad (6.5)$$

де  $H_i$ -кількість  $i$ -их купованих напівфабрикантиві деталей, які використовуються для виготовлення приладу;

$C_{ні}$  - оптова ціна одиниці  $i$ -их купованих напівфабриканти і деталей.

Розрахована вартість купованих напівфабриканти і деталей збільшується на величину транспортно-заготівельних витрат в розмірі до 6-10% від преіскурантної вартості.

Результати розрахунку витрат на куповані напівфабриканти і деталі зводяться в таблицю 6.1

Таблиця.6.1– Вартість купованих деталей.

Найменування комплектуючих виробів	К-сть на 1 виріб, штук	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.	Транспортно-заготівельні затрати, грн.	Загальні затрати на куповані напівфабриканти і деталі, грн.
1. Блок контролю	1	570	570	30	600
2. Блок управління	1	600	600	14	614
3. Блок узгодження 4405.558.021	1	70	70	20	90
4. Перетворювач електро-механічний 4405.558.041	8	50	400	7	407
5. Пристрій живлення БПН-24	1	30	30	1	31
РАЗОМ	'	'	'	'	1742



6.2.1.2. Затрати на основну і додаткову зарплату виробничих робітників.

Основна зарплата обчислюється за формулою:

$$Z_o = \sum_{i=1}^n T_i \cdot TC_i \cdot K_d, \quad (6.6)$$

де  $T_i$ -трудомісткість і-их видів робіт по виготовленню приладу;

$TC_i$ -величина тарифної ставки, яка відповідає середньому тарифному коефіцієнтові і-х видів робіт;

$K_d$ -коефіцієнт доплат, що входять до основної заробітної плати;

n- к-сть видів робіт.

Результати розрахунку трудомісткості робіт по виготовленню приладу зводяться в таблицю 6.2.

Величина тарифної ставки, яка відповідає середньому тарифному розрядові і-их видів робіт визначається так:

$$TC_1 = TC_i \cdot T_{KC}, \quad (6.7)$$

де  $TC_1$ -величина тарифної ставки 1-го розряду;

$T_{KC}$ -середній тарифний коефіцієнт.

Таблиця 6.2 –Розрахунок трудомісткості

Перелік деталей, вузлів, що виготовляються	Трудомісткість робіт, нормо-годин		
	Механічні	Монтажні	Налагодж.
Монтаж блоку контролю	1,5	2	2
Монтаж блоку управління	2	2,5	2
Монтаж перетворювачів Електро-механічних 4405.558.041	1	1,5	0,5
Монтаж блоку живлення БПН-24	1	1	2
РАЗОМ	5,5	7	6,5

За ([2], ст.35)  $TC_{11} = 34,46$  грн;  $TC_{12} = 34,46$  грн;  $TC_{13} = 37,32$  грн, а  $T_{KC1} = 1,54$ ;  $T_{KC2} = 1,54$ ;  $T_{KC3} = 1,56$ .

Отже,

$ТС_1=34,46 \cdot 1,54=53,07$  грн.;

$ТС_2=34,46 \cdot 1,54=53,07$  грн.;

$ТС_3=37,32 \cdot 1,54=57,47$  грн.

Коефіцієнт доплат, що входять до заробітної плати, в укрупнених розрахунках приймають рівним 1,35-1,40.

Додаткова зарплата виробничих робітників приймається на рівні 10-11% від основної зарплати. Результати розрахунку зарплати виробничих робітників зводяться в таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 –Розрахунок зарплати.

Види робіт і розряди	Трудомісткість робіт, норма годин	Тарифна ставка, для серед. тарифн. розряду, грн	Вел-на тарифної зарплати, грн	Коефі-цієнт доп-лат	Вели-чина осно-вної зарп-лати	Коефі-цієнт додат-кової зарплати	Вели-чина додат-кової зарплати, грн	Сума осно-вної і додат-кової зарплати
Механічні: 3-6 розряди	4,5	53,07	238,8	'	'	'	'	'
Монтажні: 3-6 розряди	6	53,07	318,4	'	'	'	'	'
Налагоджувальні: 3-6 розряди	8,5	57,47	488,5	'	'	'	'	'
Разом	19	'	1045,7	1,4	1463,9	0,1	146,4	1610,3

### 6.2.1.3. Нарахування на зарплату.

Нарахування на зарплату включають:

- 18% - податок на доходи фізичних осіб;
- 1,5 % - військовий збір;
- 22% - єдиний соціальний внесок.

Отже, нарахування на зарплату становлять:

$$H_3 = 1610,3' (0,18 + 0,22 + 0,015) = 668,15 \text{ грн}$$

6.2.1.6. *Затрати на утримання та експлуатацію обладнання.*

Сума затрат на утримання та експлуатацію обладнання розраховується в процентах від основної зарплати виробничих робітників і становить 210%. Аналогічно цехові затрати-160%, заводські затрати-210%

Отже, величина затрат становить:

-на утримання та експлуатацію обладнання:

$$Z_0 = 1463,9' 2 = 2927,8 \text{ грн}$$

-цехові:

$$Z_{Ц} = 1463,9' 1,6 = 2342,2 \text{ грн}$$

-заводські

$$Z_3 = 1463,9' 2,1 = 3074,2 \text{ грн}$$

Експлуатаційні витрати технологічного складаються зі слідуючих компонентів:

а) експлуатаційні витрати в робочому процесі, де застосовується мікропроцесорна система ;

б) витрати на експлуатацію модернізованої мікропроцесорна система;.

Величина поточних експлуатаційних затрат за весь термін служби обладнання складається з таких статей:

$$Z_3 = \sum_{i=1}^t Z_{3III} + \sum_{i=1}^t Z_{EI} + \sum_{i=1}^t Z_{PI} + \sum_{i=1}^t Z_{III} + \sum_{i=1}^t Z_{VIII}, \quad (6.11)$$

де  $Z_{3III}$ -затрати на основну і додаткову заробітну плату;

$Z_{EI}$ -затрати по всіх видах енергії;

$Z_{PI}$ -затрати на ремонт мікропроцесорної системи і ТО;

$Z_{III}$ -затрати на періодичні перевірки і накладки приладу в  $i$ -ому році служби;

$Z_{VIII}$ - умовно-постійні затрати в  $i$ -ому році служби мікропроцесорної системи .

### 6.2.1.5. Затрати на основну і додаткову заробітну плату

а) для базового варіанту:

$$З_{зп}^{\sigma} = \frac{t_1}{60} \times TC_i \times (1 + K_{до}) (1 + K_{дд}) (1 + K_{вз}) P_2, \quad (6.12)$$

де  $t_1$ -час однієї вимірювальної (трудової) дії замінюваного приладу;

$TC_i$  - годинні тарифні ставки операторів (робітників) і-ого розряду, зайнятих в технологічних процесах, де використовується замінюваний прилад;

$K_{до}$  - коефіцієнт доплат;

$K_{дд}$  - коефіцієнт додаткової заробітної плати;

$K_{вз}$  - коефіцієнт відрахувань на заробітну плату.

За ([2], додаток 14)  $K_{до}=0,4$ ;  $K_{дд}=0,11$ ;  $K_{вз}=0,52$ ;  $TC_i=41,32$ ;  $t_1=40$ хв.;  $P_2=12$ .

Отже, 
$$З_{зп}^{\sigma} = \frac{40}{60} \times 41,32 (1 + 0,4) (1 + 0,11) (1 + 0,52) 12 = 780,8 \text{ грн.}$$

б) для проектного варіанту :

$$З_{зп}^n = \frac{t_2}{60} TC_i (1 + K_{до}) (1 + K_{дд}) (1 + K_{вз}) P_2, \quad (6.13)$$

де  $TC_i=26,16$  ([2], додаток 14).

Отже, 
$$З_{зп}^n = \frac{40}{60} \times 26,16 (1 + 0,4) (1 + 0,11) (1 + 0,52) 12 = 494,3 \text{ грн.}$$

### 6.2.1.6 Затрати на енергію.

а) для базового варіанту:

$$З_{Еі}^{\sigma} = M_1 \frac{t_1}{60} P_2 \times a, \quad (6.14)$$

де  $M_1$  – потужність споживана в техпроцесі, де використовується замінюваний пристрій;

$a$  – тариф за 1кВт/год, грн.

$a = 1,63067$  . (Постанова НКРЕ України № 538 від 01.09.2019).

Отже, 
$$З_{Еі}^{\sigma} = 22 \frac{40}{60} \times 1,63067 = 3551,68 \text{ грн.}$$

б) для проектного варіанту:

$$Z_{Ei}^n = M_2 \frac{t_2}{60} \times \Pi_2 \times a, \quad (6.15)$$

де  $M_2=22,1$  кВт,

$$\text{Отже, } Z_{Ei}^n = 22,1 \frac{40}{60} \times 2 \times 63067 = 3567,82 \text{ грн}$$

#### 6.2.1.7. Затрати на ремонт приладу і ТО

Затрати на ремонт приладу і ТО складаються з:

$$Z_{Pi} = Z_{Pii} + Z_{Poi}, \quad (6.16)$$

де  $Z_{Pii}$ -затрати на ремонт системи автоматичного керування;

$Z_{Poi}$ -затрати на ремонт технологічного обладнання, коли використання пристрою вплинуло на техпроцес.

Оскільки застосування модернізованої системи автоматичного керування не впливає на техпроцес то  $Z_{Poi}=0$ .

##### 6.2.1.7.1. Затрати на ремонт системи

а) для базового варіанту:

$$Z_{Pii}^{\delta} = Z_{Poi} \frac{\Pi_2}{\Pi_1} \times K_{ПН} \times K_{ЕФ}, \quad (6.17)$$

де  $Z_{Poi}$ -затрати на ремонт замінюваного пристрою в і-ому році його експлуатації;

розраховані на основі даних про технічний ресурс його елементів;

$K_{ПН}$ -коефіцієнт, що характеризує зростання продуктивності робочого процесу, в якому використані нові прилади підвищеної надійності;

$K_{ЕФ}$ -коефіцієнт, що характеризує долю зменшення затрат на ремонт нового пристрою при підвищенні його надійності на один пункт.

Використовуючи технічну характеристику мікропроцесорної системи ;

одержуємо дані для визначення затрат по ремонту:  $K_{ПН}=2$ ;  $K_{ЕФ}=1,5$ ;  
 $Z_{P61}=110,5$  грн.;  $Z_{P62}=237,5$  грн.;  $Z_{P63}=352,8$  грн.;  $Z_{P64}=458,9$  грн.;  $Z_{P65}=530,3$  грн.;  $Z_{P66}=610$  грн.

Отже затрати на ремонт пристрою по роках становлять:

$$Z_{Pii}^{\delta} = 110,5 \times 1,5 \times 2 = 331,5 \text{ грн.}$$

$$Z_{Pii}^{\delta} = 237,5 \times 1,5 \times 2 = 712,5 \text{ грн.}$$

$$Z_{P\Pi}^6 = 352,8 \times 1,5 \times 2 \times 1 = 1058,4 \text{ грн.}$$

$$Z_{P\Pi}^6 = 458,9 \times 1,5 \times 2 \times 1 = 1376,7 \text{ грн.}$$

$$Z_{P\Pi}^6 = 530,3 \times 1,5 \times 2 \times 1 = 1590,9 \text{ грн.}$$

$$Z_{P\Pi}^6 = 610 \times 1,5 \times 2 \times 1 = 1830 \text{ грн.}$$

б) для проектного варіанту:

В проектному варіанті коректування розрахунку затрат на ремонт пристрою і-ому році не проводиться ([2],ст21).

#### 6.2.1.7.2 Затрати на ремонт технологічного обладнання.

а) для базового варіанту:

$$Z_{P\Pi} = B_{Mi} + Z_{Pi} \left(1 + \frac{K_{HK}}{100}\right), \quad (6.8)$$

де  $B_{Mi}$ -вартість елементів, що замінюються в і-ому році;

$Z_{Pi}$ -величина зарплати, що виплочується за ремонт в і-ому році;

$K_{HK}$ -величина накладних витрат в процентах від зарплати підприємства, що ремонтує напівавтомат.

#### 6.2.1.7.3. Вартість елементів, що замінюються.

Вартість елементів,що замінюються в і-ому році, дорівнює:

$$B_{Mi} = \sum_{j=1}^k E_{ji} \times C_j, \quad (6.19)$$

де  $E_{ji}$ -кількість j-их елементів, що замінюються в і-ому році;  $C_j$ -ціна j-го елементу;  $k$ -число найменувань j-их елементів, що підлягають заміні в і-ому році.

#### 6.2.1.7.6. Кількість елементів, що замінюються.

Кількість елементів, які будуть замінені в перший рік експлуатації

мікропроцесорної системи становитиме:

$$E_{j1} = \frac{T_p}{T_{pj1}} \times a_j, \quad (6.20)$$

де  $T_p$ -число годин роботи приладу на протязі року;

$T_{pj1}$ -величина технічного ресурсу j-их елементів, яка не перевищує річне число годин роботи приладу на протязі року;

а<sub>ж</sub>-к-сть їх елементів, яку включає конструкція даного приладу.

Підставивши значення отримаємо:

$$E_{j1} = \frac{1900}{1860} \times 2 = 2,04$$

Кількість елементів, заміненних в другому році експлуатації:

$$E_{j2} = \frac{2T_2}{T_{Pj2}} \times aj + E_{j1} \tag{6.21}$$

Підставивши значення отримаємо:  $E_{j2} = \frac{2 \times 1900}{2800} \times 1 + 2,04 = 3,39$

Кількість елементів заміненних в третьому році експлуатації:

$$E_{j3} = \frac{3T_P}{T_{Pj3}} + aj + E_{j1}, \tag{6.22}$$

Підставивши значення отримаємо:  $E_{j3} = \frac{3 \times 1900}{4222} \times 1 + 2,04 = 3,42$

Кількість елементів, заміненних в четвертому році експлуатації:

$$E_{j4} = \frac{4 \times 1900}{5241} \times 1 + 2,04 = 3,54$$

Кількість елементів, заміненних в п'ятому році експлуатації:

$$E_{j5} = \frac{5 \times 1900}{7142,8} \times 2 + 2,04 = 4,7$$

Кількість елементів, заміненних в шостому році експлуатації:

$$E_{j6} = \frac{6 \times 1900}{8837,2} \times 2 + 2,04 = 5,3$$

За формулою (6.19) визначаємо вартість замінюваних пристроїв по роках:

$$V_{M1} = 35,58 \text{ грн.};$$

$$V_{M2} = 73,6 \text{ грн.};$$

$$V_{M3} = 112,51 \text{ грн.};$$

$$V_{M4} = 160,9 \text{ грн.};$$

$$V_{M5} = 151,23 \text{ грн.};$$

$$V_{M6} = 203,2 \text{ грн.};$$

#### 6.2.1.8. Витрати на періодичні перевірки

а) базовий варіант 
$$Z_{\Pi}^{\delta} = N_{\Pi\Pi} \times Z_{\Pi\Pi} \times \frac{\Pi_2}{\Pi_1}, \tag{6.25}$$

де  $N_{\Pi\Pi}$ -к-сть перевірок приладу на протязі одного року;

$Z_{III}$ -величина затрат на одну перевірку пристрою.

б) проектний варіант:  $Z_{Pi}^{\Pi} = N_{III} \cdot Z_{III}$ , (6.26)

Оскільки при модернізації мікропроцесорної системи продуктивність не змінюється, то  $Z_{Pi}^{\delta} = Z_{Pi}^{\Pi}$ . Розрахунок експлуатаційних затрат по роках служби приладу зводиться в таблицю 6.6.

Таблиця 6.4 –Розрахунок експлуатаційних затрат

N п.п.	Перелік статей	Роки служби системи автоматичного керування					
		1-ий		2-ий		3-ий	
		Базов.	Новий	Базов.	Новий	Базов.	Новий
1	Основна і додаткова зарплата	780,8	494,3	780,8	494,3	780,8	494,3
2	Нарахування на зарплату	406,1	257,1	406,1	257,1	406,1	257,1
3	Енергія	1242,6	1248,2	1242,6	1248,2	1242,6	1248,2
4	Ремонт пристрою і технологічного обладнання	331,5	67,1	712,5	112,7	1058,4	167,8
5	Разом	2761	2066,7	3142	2112,3	3487,9	2167,4

Продовження таблиці 6.4

N п.п.	Перелік статей	Роки служби системи автоматичного керування					
		4-ий		5-ий		6-ий	
		Базов.	Новий	Базов.	Новий	Базов.	Новий
1	Основна і додаткова зарплата	780,8	494,3	780,8	494,3	780,8	494,3
2	Нарахування на	406,1	257,1	406,1	257,1	406,1	257,1



	зарплату						
3	Енергія	1242,6	1248,2	1242,6	1248,2	1242,6	1248,2
4	Ремонт пристрою і техно-логічного обладнання	1376,7	215,6	1590,9	213,9	1830	271,9
5	Разом	3806,2	2215,2	4020,4	2213,5	4259,5	2271,5

### 6.3 Розрахунок економічного ефекту від виготовлення та експлуатації приладу за розрахунковий період

Економічний ефект від виготовлення і експлуатації приладу за розрахунковий період складається з двох частин:

а) економічний ефект від виготовлення приладу:

$$E_B = (Ц_{П} - З_{ПВР}) \times (Ц_{Б} - З_{БВП}), \quad (6.27)$$

де  $Z_{ПВР}$ -затрати на виготовлення нового приладу, приведені до розрахункового року;

$Z_{БВП}$ -затрати на виготовлення замінюваного приладу, приведені до розрахункового року.

б) економічний ефект від експлуатації приладу:

$$E_e = Z_{eПР}^6 \times \frac{TC_2}{TC_1} - Z_{eПР}^H, \quad (6.28)$$

де  $Z_{eПР}^6$ -затрати поточні і разові по експлуатації замінюваного приладу за весь розрахунковий період, приведені до розрахункового року;

$Z_{eПР}^H$ -затрати поточні і разові по експлуатації нового приладу за весь розрахунковий період, приведені до розрахункового року;

$TC_1, TC_2$ -строк служби відповідно замінюваного і нового приладу.

Тоді, економічний ефект від виробництва і експлуатації приладу за розрахунковий період становитиме:

$$E_{Be} = E_B + E_e \quad (6.29)$$

Розрахунок затрат за весь розрахунковий період, приведених до розрахункового року, доцільно вести табличним способом (див.табл.6.6)

Таблиця 6.6-Розрахунок приведених затрат приведена нижче по тексту.

При підстановці відповідних даних в формулу (6.27) отримуємо:

$$E_B = (13 - 11,30 \times (28,8 - 25)) = 6,4 \text{ тис. грн.}$$

а в формулу (6.28):

$$E_{e1} = 16,8 \times 1 - 10,29 = 6,5 \text{ тис. грн.}$$

$$E_{e2} = 27,5 \times 1 - 12,4 = 15,1 \text{ тис. грн.}$$

$$E_e = E_{e1} + E_{e2} = 6,5 + 15,1 = 21,6 \text{ тис. грн.}$$

Отже, економічний ефект від виробництва і експлуатації приладу за розрахунковий період становитиме:

$$E_{BE} = 6,4 + 21,6 = 28 \text{ тис. грн.}$$

### **Висновок**

Отриманий економічний ефект пояснюється значним зменшенням витрат на ремонт обладнання, а також на заробітну плату обслуговуючому персоналу, оскільки один оператор може обслуговувати багато пунктів системи за рахунок покращення експлуатаційних параметрів модернізованої системи автоматичного керування технологічним обладнанням.

### **6.4 Розрахунок ефективності капітальних вкладень.**

Для розрахунку ефективності капітальних вкладень у виробництво розрахуємо такі параметри як, термін окупності та коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Вони розраховуються виходячи з вищерозрахованих техніко-економічних показників по базовому та модернізованому варіанту виробництва.

Для розрахунку терміну окупності капітальних вкладень у порівнянні з базовим варіантом скористаємось формулою –

$$T_{ок} = \frac{Z_{пр.кв}}{E_p}, \text{ де –}$$

$T_{ок}$  - терміну окупності капітальних вкладень у порівнянні з базовим варіантом.

$Z_{пр.кв}$  - приведені затрати на капітальні вкладення.

$E_p$  - Річний економічний ефект від впровадження у виробництво модернізованого варіанту, який розрачуємо як –

$$E_p = \frac{E_{pn}}{T_p}, \text{ де}$$

$E_{pn}$  - економічний ефект за розрахунковий період експлуатації обладнання модернізованого варіанту обладнання.

$T_p$  - розрахунковий період експлуатації обладнання модернізованого варіанту обладнання.

Відповідно 
$$E_p = \frac{E_{pn}}{T_p} = \frac{28000}{6} = 4666,6 \text{ тис.грн}$$

Відповідно термін окупності становитиме 
$$T_{ок} = \frac{Z_{пр.кв}}{E_p} = \frac{11300}{4666,6} = 2,5 \text{ року.}$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень розрачуємо, як відношення приведених капітальних затрат базового варіанту до приведених капітальних затрат впровадження у виробництво модернізованого варіанту.

$$E_{эф} = \frac{1}{T_{ок}} = \frac{1}{2,5} = 0,4$$

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

### **7.1 ОХОРОНА ПРАЦІ**

#### **7.1 Правила безпеки при експлуатації обладнання лінії підготовки поверхонь**

Обладнання може обслуговувати особа, яка має кваліфікацію оператора і ознайомлення з інструкцією по експлуатації.

Обладнання не потребує постійного нагляду обслуговуючого персоналу .

Не можна приводити в рух поламане обладнання.

Усунення неполадок дозволяється тільки персоналом служби головного механіка.

Не дозволяється робота обладнання в випадку відсутності захисних огорожень. При обслуговуванні обладнання слід дотримувати обережність і правила які відносяться до цих засобів а також одягнути захисну одягу і насамперед :

- захисні окуляри;
- гумовий фартух на робочу одягу;
- гумові чоботи;
- захисні рукавиці;
- захисний капюшон;
- штани повинні прикривати чоботи.

При виявленні неполадки роботи обладнання слід заявити про ремонтній службі з метою усунення.

Обладнання перед передачею в експлуатацію слід:

- заявити в Державну інспекцію технічного нагляду;
- перевірити стан ізоляції електропроводки і заземлення обладнання.

Експлуатація установки не допускається:

- після закінчення терміну чергового огляду, якщо немає дозволу на експлуатацію;
- при відсутності в паспорті установки дозволу на експлуатацію;
- при виявленні неповної кількості кріпильних деталей.

Про заборону експлуатації установки повинен бути зроблений запис у паспорті установки з наведенням причини та повідомлено власника підприємства .

Для реєстрації та дозволу на пуск установки в експлуатацію особою, яка здійснює нагляд за установками, повинні бути подані :

- паспорт установки (за відсутності паспорта заводу–виготовляча власником установки повинно бути складено паспорт встановленої форми);
- акт, який засвідчує, що монтаж (встановлення) виконаний у відповідності з проектом і всі елементи установки встановлено правильно;
- схема включення.

Після реєстрації паспорт установки зі всіма вказаними вище документами повертається власнику установки.

## **7.2 Заходи забезпечення електробезпечності електроустановки**

Передбачаються наступні заходи щодо забезпечення електробезпечності електроустановки приводу двигуна:

- режим контролю мережі живлення;
- захист від випадкового проникнення до струмоведучих частин електроустановки;
- контроль і профілактика ушкоджень ізоляції;
- заземлення;
- захисне відключення;
- застосування захисних засобів;
- організаційні і технічні заходи.

Мережа між двигуном і тиристорним перетворювачем є двухпровідною з ізолюваними дротами. Це необхідно по технічних розуміннях і незалежно від небезпеки враження електричним струмом застосовується саме ця схема включення.

Живлення тиристорного перетворювача серії КТЭУ здійснюється від розподільної шини 380 В через розділовий трансформатор, розподільна шина розташована уздовж стіни на висоті 3 м на ізоляторах. Ошиновка підключена до масляного вимикача, з іншої сторони до якого прикріплені проводи, що харчують тиристорний перетворювач. Кабель покладений у підземний бетонований кабельний канал, накритий зверху рифленими аркушами заліза. Краї каналів закріплені металевими заземленими кутниками.

Тиристорний перетворювач поміщений у металеву шафу, у якому також розміщений розділовий трансформатор. Двері шафи й огороження оснащені блокуванням, що забезпечує відключення масляного вимикача при відкриванні дверей чи огороження шафи. Для зняття блокування крім закриття дверей необхідно натиснути кнопку “Пуск”.

Підведення живлення до електродвигуна здійснюється за допомогою кабелю, покладеного в підземний кабельний канал.

Кабелі для живлення тиристорного перетворювача і двигуна - броньовані для захисту від можливих механічних ушкоджень.

Контроль ізоляції мережі 380 В здійснюється періодично при відключеній установці. При цьому вимірюється опір ізоляції окремих ділянок мережі, трансформаторів, електричних апаратів, двигуна. Вимірюється опір кожної фази відносно землі захисним апаратом.

Нормальним опором ізоляції кабелю нижче 1000 В вважається опір не менше 0.5 МоМ, виміри проводяться мегомметром при напрузі 1000 В.

Контроль ізоляції мережі між двигуном і тиристорним перетворювачем, а також мережі напругою 380 В здійснюється постійно, тому що ушкодження і пробій ізоляції приводить до виникнення підвищеної небезпеки враження людини електричним струмом. Контроль здійснюється

приладом ПКІ, схема якого приведена на рис.7.1. Відлік опору ізоляції роблять по шкалі приладу. При зниженні опору ізоляції до гранично припустимого рівня 0.25 мОм прилад подає звуковий і світловий сигнали.

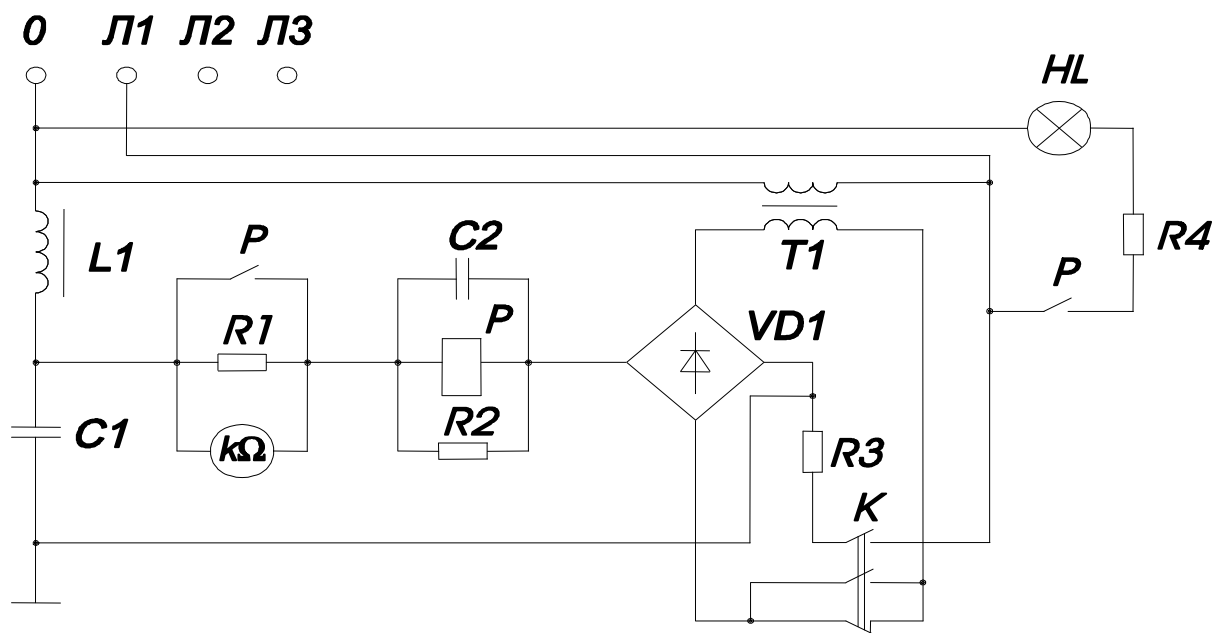


Рисунок 7.1 – Контроль ізоляції мережі між двигуном і тиристорним перетворювачем

Опір ізоляції двигуна і тиристорного перетворювача складають 0.5 мОм у нормальному стані, трансформатора - 1.5 Мом, і вимірюється мегомметром на 500 В і 1000 В.

Захисне відключення забезпечує відключення установки при виникненні аварійних режимів.

Контроль напруги на корпусі трансформатора, перетворювача, двигуна здійснюється за допомогою схеми, що реагує на напругу корпусу щодо землі (див. рис.7.2). У схемах цього типу датчиком служить реле напруги РЗ, включене між корпусом і допоміжним заземлювачем. Схема здійснює захист від глухих замикань на землю і придатна в мережах з ізолюваної і заземлений нейтраллю. Достоїнством схеми є її простота. Недоліки – необхідність застосовувати допоміжний заземлювач, не селективність при загальному заземленні і відсутність самоконтролю.

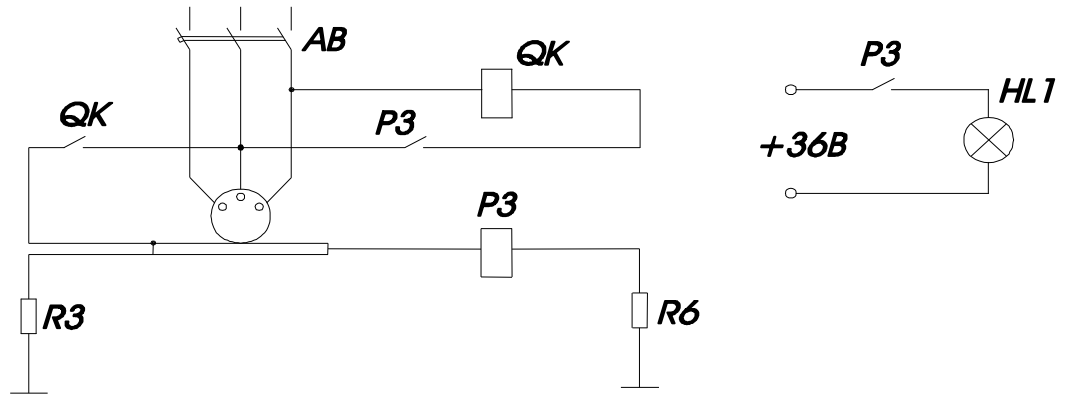


Рисунок 7.2 – Контроль напруги на корпусі двигуна



## **7.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **7.2.1 Розробка заходів які зменшують небезпеку виникнення вибухів і пожеж на дільниці в цеху**

Технологічне обладнання за нормальних режимів роботи повинно бути пожежобезпечним, а на випадок небезпечних несправностей та аварій необхідно передбачити захисні заходи, що обмежують масштаб та наслідки пожежі.

Обладнання, призначене для використання пожежонебезпечних та вибухонебезпечних речовин і матеріалів має відповідати конструкторській документації.

Технологічні процеси необхідно проводити згідно до регламентів та іншої затвердженої у встановленому порядку нормативами технічної та експлуатаційної документації.

На всі застосовувані в технологічних процесах речовини й матеріали повинні бути дані про показники її пожежної небезпеки за ГОСТ 12.1.044-89 «Вимоги до пожежної безпеки речовин та матеріалів» .

Спільне застосування, зберігання й транспортування речовин та матеріалів, котрі в результаті взаємодії одне з одним викликають займання, вибух або утворюють горючі і токсичні гази (суміші) не дозволяються.

У вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщеннях (дільницях, майстернях, цехах) та на устаткуванні, що становить небезпеку вибуху або займання, необхідно вивішувати знаки, які забороняють користування відкритим вогнем а також знаки, що попереджають про обережність за наявності займистих та вибухових речовин за ГОСТ 12.4.026-76 «Попереджувальні знаки та їх використання в промисловості».

Виробництва, де перебувають в обігу пожежовибухонебезпечні речовини і матеріали, повинні бути оснащені автоматичними засобами контролю параметрів значення яких визначають пожежовибухонебезпечність

процесу, сигналізацію граничних значень і системами блокувань, які перешкоджають виникненню аварійних ситуацій.

Для внутрішнього освітлення технологічних апаратів і споруд під час їхнього огляду і ремонту в діючому цеху повинні застосовуватися переносні світильники в вибухобезпечному виконанні напругою не більше 12В, захищені меткалічною сіткою.

В вибухонебезпечних цехах застосовування переносних електроприладів і агрегатів, які не відповідають вимогам даними до електроустаткування в вибухобезпечному виконанні, придатному до даного середовища, забороняється.

В виробничих приміщеннях потрібно передбачати робоче і аварійне освітлення.

Профілактичний огляд, планово попереджувальні та капітальний ремонт технологічного обладнання повинні здійснюватися в терміни, встановлені відповідними графіками, з урахуванням виконання заходів щодо забезпечення пожежовибухобезпеки, передбачених проектом, технологічним регламентом, технічними умовами.

Технологічне устаткування, апарати і трубопроводи, в яких утворюються речовини, пожежовибухонебезпечні пари газу та пил, повинні бути герметичними.

У вибухопожежонебезпечних приміщеннях (цехах, дільницях, тощо) слід застосовувати інструмент, виготовлений з безіскрових матеріалів або у відповідному вибухопожежобезпечному виконанні.

Покриття підлог у приміщеннях категорій за вибухопожежонебезпечністю А і Б повинно виконуватися з негорючих та таких, що під час ударів не дають іскор, матеріалів. Конструкція вікон та дверей у таких приміщеннях повинна виключати можливість іскроутворення.

## **7.2.2 Оцінка хімічної обстановки на підприємствах, що використовують СДОР в технологічних цілях**

При руйнуванні чи аварії на Підприємстві, на території якого зосереджена ємність з сильнодіючою отруйною речовиною (СДОР) – аміаком, утворюються зони хімічного зараження, в середині яких можуть утворитися осередки хімічного ураження. Ці осередки хімічного ураження можна назвати вторинними, які утворюються в результаті застосування ворогом ядерної зброї.

Вторинним осередком хімічного ураження називають територію в межах якої, в результаті дії СДОР відбулися масові ураження людей, тварин та рослин.

Внаслідок морального і фізичного зношення обладнання та зниження виконавчої дисципліни на хімічно небезпечних об'єктах (ХНО) йде зростання кількості надзвичайних ситуацій, потерпілого та загиблого персоналу на цих об'єктах і населення, що проживає в зонах можливого зараження. Тому дуже важливим є проведення оцінки можливої хімічної обстановки, тобто довгострокового прогнозування обстановки у випадку виникнення аварії з викидом (випливом) СДОР з тим, щоб завчасно підготувати необхідні заходи захисту як персоналу хімічно небезпечного об'єкту, так і населення, що проживає у зонах можливого хімічного зараження. Керівний склад хімічно небезпечних об'єктів та об'єктів господарської діяльності (ОГД) повинен досконало володіти методикою оцінки хімічної обстановки.

## **7.2.3 Поняття про хімічну обстановку на об'єкті та її оцінку**

Аварія з викидом (випливом) СДОР – це подія техногенного характеру, що настала внаслідок виробничих, конструктивних, технологічних чи експлуатаційних причин або від випадкових зовнішніх впливів, що призвела до пошкодження технічного обладнання, пристроїв, споруд, транспортних

засобів з виливом (викидом) СДОР в атмосферу і реально загрожує життю, здоров'ю людей.

Сильнодіючі отруйні речовини (СДОР) – хімічні речовини: тверді, рідкі, газоподібні або у пароподібному стані (аерозолі), суміші із них, які використовуються у виробничій діяльності підприємств або сільському господарстві, і під час виливу (викиду) яких виникає зараження повітря з уражаючими концентраціями, небезпечними для людей, тварин, рослин або навколишнього середовища.

Хімічно небезпечний об'єкт (ХНО) – промисловий об'єкт (підприємство або його структурні підрозділи), на якому знаходяться в обігу (виготовляються, переробляються, завантажуються або розвантажуються, використовуються у виробництві, розміщуються або складуються постійно або тимчасово, знищуються одна або декілька СДОР.

Хімічно небезпечна адміністративно-територіальна одиниця, до якої відносяться області, райони, а також будь-які населені пункти областей, які потрапляють в зону можливого хімічного зараження (ЗМХЗ) при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах.

Осередок хімічного ураження (ОХУ) – це територія, в межах якої внаслідок впливу СДОР виникають масові ураження людей сільськогосподарських тварин і рослин.

Зона хімічного зараження (ЗХЗ) – це територія, яка включає ділянку, де розлито СДОР і території, над якими поширюється первинна або вторинна хмара СДОР чи ОР в небезпечних для життя і здоров'я людей концентраціях.

Зона, можливого хімічного зараження (ЗМХЗ) - це територія, в межах якої під впливом зміни напрямку вітру може виникнути переміщення хмари СДОР.

Первинна хмара СДОР – це пароподібна частина СДОР, яка знаходиться в будь-якій ємності над поверхнею зрідженої СДОР і яка виходить в атмосферу безпосередньо при руйнуванні ємності без випаровування з підстилаючої поверхні.

Вторинна хмара СДОР – це хмара СДОР, яка виникає внаслідок випаровування СДОР з підстилаючої поверхні (для легко летких речовин час розвитку та утворення вторинної хмари після закінчення дії первинної хмари відсутній, для інших речовин він залежить від властивостей СДОР та температури повітря).

Хімічна обстановка – сукупність наслідків хімічного зараження, яка складається на території адміністративного району, населеного пункту чи ХНО (ОГД) внаслідок викиду (випливу) СДОР або застосування хімічної зброї, істотно впливає на життєдіяльність населення, роботу об'єктів господарської діяльності (ОГД), об'єктів економіки (ОЕ), боєздатність формувань ЦО і вимагає проведення необхідних заходів захисту.

ЗХЗ характеризується розмірами (глибиною і шириною) і площею, які залежать від кількості СДОР (ОР), їх виду, метеорологічних умов, рельєфу місцевості, наявності на ній рослинності, типу і щільності забудови.

При функціонуванні в межах адміністративно-територіальної одиниці двох і більше хімічно небезпечних об'єктів і накладанні зон можливого хімічного зараження одна на одну, визначення чисельності населення, що може потрапити в зону зараження, здійснюється із розрахунку одноразового зараження території максимальною зоною можливого хімічного зараження СДОР.

У випадку наявності на ХНО кількох СДОР прогнозування масштабів зараження і оцінка ступеня хімічної небезпеки об'єкту проводиться по тій речовині, аварія з викидом (випливом) якої може бути найбільш небезпечною для населення, що проживає в зоні можливого хімічного зараження.

#### **7.2.4 Методи оцінки хімічної обстановки на промисловому об'єкті**

Оцінка хімічної обстановки проводиться методом прогнозування і за даними розвідки.

1. Метод прогнозування використовується при проведенні завчасного довгострокового прогнозування можливої хімічної обстановки на ХНО під

час розробки плану ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) підготовці сил та засобів об'єкту до ліквідації можливих в майбутньому аварій.

2. Метод розвідки застосовується у випадку виникнення на ХНО реальної аварії з метою швидкого отримання необхідних вихідних даних для проведення аварійного прогнозування хімічної обстановки і визначення можливих наслідків аварії та порядку дій в зоні зараження.

Хімічну розвідку на ХНО (ОГД, ОЕ) проводять пости радіаційного та хімічного спостереження (РХС), ланки (групи) радіаційної та хімічної розвідки (РХР). Аварійне прогнозування хімічної обстановки здійснюють черговий диспетчер або диспетчерська служба ХНО, крім цього вони проводять оповіщення персоналу об'єкту, населення, що проживає у зоні хімічного зараження та доповідають у штаб ЦО міста (району).

### **7.2.5 Особливості оцінки хімічної обстановки на хімічно небезпечному об'єкті**

При оцінці хімічної обстановки методом прогнозування за кількість викинутої (розлитої) СДОР приймається :

- у воєнний час та для сейсмонебезпечних районів: одночасний розлив (викид) всього запасу СДОР, який є на ХНО;
- в мирний час: із максимальної по об'єму одиничної ємності технологічної, складської, транспортної тощо ).

Метеорологічні умови, сприятливі для розповсюдження зараженого повітря - такі: швидкість вітру у приземному шарі - 1 м/с, ступінь вертикальної стійкості повітря - інверсія.

Оцінка хімічної обстановки за даними розвідки проводиться на основі конкретної обстановки, коли враховується фактична кількість вилитої СДОР і реальні метеоумови.

У питанні стійкості ЗХЗ важливе значення має те, що відбувається у шарі повітря на висоті від поверхні землі і до 30 метрів вгору. Відповідно розрізняють три ступені вертикальної стійкості повітря:

- інверсія – при ній нижні шари повітря холодніші за верхні, що перешкоджає переміщенню його по висоті і створює найбільш сприятливі умови для збереження високих концентрацій отруйних речовин. Виникає у вечірній (за 1 год. до заходу сонця) і нічний час (руйнується протягом години після сходу сонця) і швидкості вітру 4 м/с.
- конвекція – нижні шари повітря нагріті більше, ніж верхні, що сприяє швидкому розсіюванню зараженої хімічною речовиною хмари і зменшенню її уражаючої дії. Виникає вдень, при ясній погоді, малих (до 4 м/с) швидкостях вітру, приблизно через 2 години після сходу сонця і руйнується приблизно за 2-2,5 години до заходу сонця.
- ізотермія – температура повітря в межах 20-30 м від земної поверхні приблизно однакова, тобто має місце стабільна рівновага повітря, що так само, як і при інверсії, сприяє тривалому застою парів отруйних речовин і сильнодіючих отруйних речовин на місцевості, в лісі, населених пунктах, на полях з високостебельними сільськогосподарськими культурами. Виникає у хмарну погоду, при опадах або при швидкості *вітру* більше 4 м/с, а також як перехідний період від інверсії до конвекції та навпаки.

Ступінь вертикальної стійкості приземного шару повітря може бути визначена за даними прогнозу погоди та за допомогою графіків (рис.7.3).

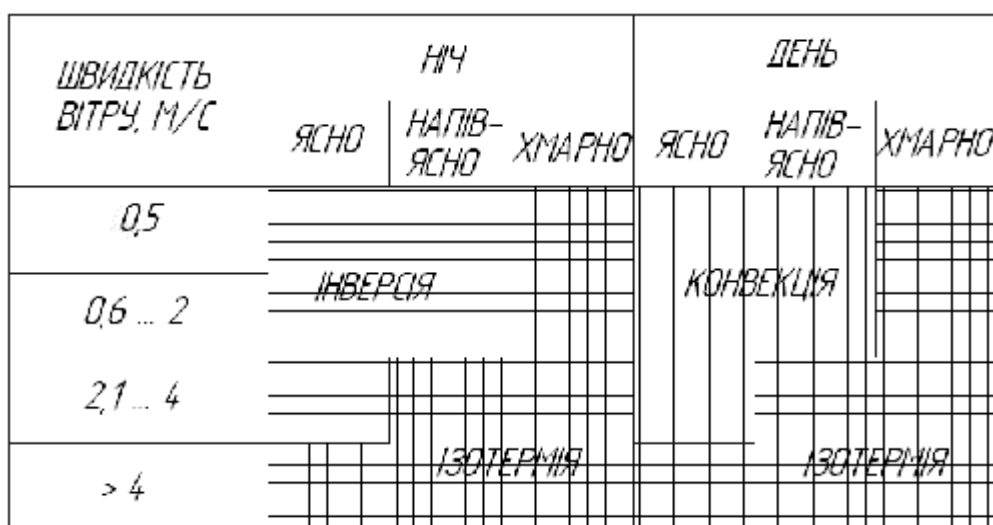


Рисунок 7.3 – Графік для визначення ступеня вертикальної стійкості повітря за даними прогнозу погоди.

Крім того, більш точно її можна визначити за швидкістю вітру на висоті 1 м  $V_1$  і температурному градієнті  $Dt$  ( $Dt = t_{50} - t_{200}$ , де  $t_{50}$  - температура повітря на висоті 50 см,  $t_{200}$  - температура повітря на висоті 200 см від поверхні землі) за допомогою графіка (рис. 7.4).

При  $\frac{Dt}{V_1^2} \leq -0,1$  буде інверсія, при  $-0,1 < \frac{Dt}{V_1^2} < +0,1$  - ізотерія, а при  $\frac{Dt}{V_1^2} \geq +0,1$  - конвекція.

Оцінка хімічної обстановки на ХНО (ОГД) передбачає :

- визначення розмірів і площі ЗХЗ ;
- визначення часу підходу хмари зараженого повітря СДОР до об'єкту;
- визначення тривалості уражаючої дії СДОР ;
- визначення можливих втрат населення в ОХУ.

$\Delta t, ^\circ\text{C}$ $V, \text{ м/с}$	+16	+15	+14	+13	+12	+11	+10	+0,9	+0,8	+0,7	+0,6	+0,5	+0,4	+0,3	+0,2	+0,1	0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6					
0,5																																						
1																																						
1,5				Конвекція																									Інверсія									
2																																						
2,5																																						
3																																						
3,5																																						
4																																						
> 4																																						

Рисунок 7.4 – Графік для визначення ступеня вертикальної стійкості повітря за температурним градієнтом.

Для оцінки хімічної обстановки необхідно мати такі вихідні дані :

- вид і кількість СДОР, яка може бути викинута в атмосферу , і характер її розливу на підстилаючу поверхню (вільно, у піддон, на обваловану



- поверхню);
- місце викиду СДОР ;
  - час викиду СДОР ;
  - ступінь захищеності людей (наявність захисних споруд);
  - топографічні умови місцевості і характер забудови на шляху розповсюдження хмари зараженого повітря (закрита чи відкрита місцевість);
  - метеорологічні умови (швидкість і напрямок вітру в приземному шарі повітря, температура повітря і ґрунту, ступінь вертикальної стійкості повітря).

## 8 ЕКОЛОГІЯ

### 8.1 Актуальність охорони навколишнього середовища

Згідно до законів України “Закону про охорону навколишнього середовища” та “Закону про екологічну експертизу” кожен проект, що розробляється, потрібно проаналізувати з точки зору його негативного впливу на довкілля та здоров’я людини і відшукати шляхи зменшення цього впливу.

Для надання металевим виробам захисних, захисно-декоративних функціональних властивостей, що забезпечують надійну довговічну роботу їх у різних експлуатаційних умовах, а також для відновлення деталей, обраних при порівняно малих зношуваннях, більшу роль грають хімічні й електрохімічні процеси нанесення покриттів.

Електрохімічні (гальванічні) покриття широко застосовуються при відновленні деталей, обраних при порівняно малих зношуваннях.

Електрохімічним способом одержують покриття цинком, кадмієм, міддю, хромом, нікелем. У машино-і приладобудуванні використовують електролітичне осадження міді, цинку, кадмію, срібла й золота у ваннах.

Різноманітність гальванічних і хімічних процесів, застосування при цьому хімічних речовин, температурних режимів спричиняє різновиди якісних й кількісних сполук забруднюючих речовин, що виділяються, їхніх агрегатних станів.

Технологічні процеси нанесення електрохімічним способом містять у собі ряд послідовних операцій: травлення, шліфування, хімічне знежирення, нанесення покриттів.

Всі ці операції у виробництві металопокриттів супроводжуються виділенням у повітря приміщень, в атмосферу різних забруднюючих речовин. Особливою токсичністю відрізняються розчини ціаністих солей, сірчаної, хромової й азотної кислот і ін.

## **8.2 Основні джерела забруднень гальванічного виробництва та обладнання для їх усунення**

З великого об'єму промислових викидів, що попадають у навколишнє середовище, на машинобудування доводиться лише незначна його частина - 1-2%. Однак на машинобудівних підприємствах є основні, і які забезпечують технологічні процеси виробництва з досить високим рівнем забруднення навколишнього середовища. До них відносять: внутрішньозаводське енергетичне виробництво й інші процеси, пов'язані зі спалюванням палива; ливарне виробництво; металообробка конструкцій і окремих деталей; зварювальне виробництво; гальванічне виробництво; лакофарбове виробництво.

За рівнем забруднення навколишнього середовища райони гальванічних і фарбувальних цехів як машинобудівних у цілому, хімічна промисловість; ливарне виробництво порівнянне з металургією; території заводських котелень - з районами ТЕС, –ставляться до числа основних забруднювачів. Таким чином, машинобудівний комплекс у цілому є потенційними забруднювачами навколишнього середовища: повітряного простору; поверхневих джерел води; ґрунту.

При всьому різноманітті підгалузей машинобудування й у тому числі військово-орієнтованих, оборонних підприємств по специфіці забруднення навколишнього середовища їх можна розділити на дві групи: ресурсо- і наукомісткі. Особливості наукомістких підгалузей машинобудування: їх невелика матеріало- і енергоємність, мале водоспоживання й значно менший викид забруднюючих речовин у навколишнє середовище в порівнянні з ресурсномісткими. Ці підгалузі й виробництва характеризуються невеликим викидом в атмосферу таких традиційних масових забруднюючих речовин, як діоксиди сірки, азоту й ін., але в той же час викидаються інші забруднюючі речовини, не настільки властиві для ресурсномістких галузей машинобудування. Останнім часом ресурсномісткі підгалузі переважають над наукомісткими. На частку підприємств, що мають гальванічне

виробництво доводиться 15-20% загальних забруднень атмосфери промисловістю, що становить більше 10,3 млн. т шкідливих речовин у рік,

Екологічна безпека атмосфери, мінімізація викидів забруднюючих речовин може бути забезпечена застосуванням методів знешкодження забруднювачів або використанням безвідхідних технологій, а також розробка очисних споруд.

#### *Стаціонарна ванна*

Для підготовки виробів до покриття застосовують в основному стаціонарні ванни.

Всі деталі, що піддаються хімічній або електролітичній обробці, підрозділяються на три групи складності:

1. Пластини й циліндричні деталі (без різьблення)
2. Кріпильні деталі, рельєфні, штаповані деталі без порожнин, у яких може затримуватися розчин (електроліт)
3. Деталі із глухими отворами, у яких затримується розчин (електроліт), наприклад, склянка із внутрішнім різьбленням, а також деталі, що мають ділянки, що промиваються важко

Знежирюють вироб у зварених прямокутних ваннах, виготовлених з листової сталі. Ванни для знежирення в більшості випадків забезпечені підігрівом і мають спеціальні вентиляційні пристрої. У ваннах передбачені спеціальні пристрої «кишені» для видалення з поверхні розчину піни й масла.

Для травлення міді і її сплавів застосовують керамічні ванни, обладнані вентиляційними пристроями.

Ванни для нанесення гальванічних покриттів роблять в основному зі сталі і при потребі викладають усередині різними ізоляційними матеріалами. Для кислих електролітів внутрішню обкладку виконують з вініпласту. Їх використовують для кислого цинкування, лудіння,

#### *Бортові відсоси*

Бортові відсоси застосовуються в тих випадках, коли великі габарити устаткування або технологія обробки громіздких деталей не дозволяють

ставити витяжні шафи або інші повні укриття. Бортові відсоси отримали широке поширення в гальванічних цехах, при знежиренні й травленні металу, при антикорозійних і декоративних покриттях, до яких відносять процеси цинкування, хромування, нікелювання й ін.

Бортові відсоси влаштовуються у виробничих ваннах. Виробничі ванни являють собою відкриті резервуари, найчастіше чотирикутної форми, наповнені рідиною з різними розчинами, нерідко досить отруйними.

Найбільш доцільним рішенням питання з вентиляційної точки зору варто вважати повне укриття ванни або виведення її в кожух у вигляді витяжної шафи з відсосом з неї такої кількості повітря, що перешкодило б проникненню шкідливих речовин у приміщення. Однак по технологічних міркуваннях це можливо вкрай рідко, тому у вентиляційній практиці застосовують пристрої відсосів по бортах ванни у вигляді суцільної щілини, яку називають бортовим відсосом.

*Види відсосів у залежності від типів ванн.*

При ширині ванни до 0,7 м застосовують однобортові відсоси, що виконують з однієї з поздовжніх її сторін. При ширині ванни більше 0,7 м (до 1 м) застосовують двохбортові відсоси. Крім ширини в цьому випадку важливі розмір і конфігурація виробу: якщо виріб виступає над поверхнею рідини у ванні, то в цьому випадку незалежно від ширини ванни влаштовується двохбортовий відсос.

Бортові відсоси називаються простими, якщо площа щілини вертикальна, або перекинутими, коли площа щілини горизонтальна, тобто звернена убік дзеркала ванни. Щоб уникнути зменшення ширини ванни при застосуванні перекинутих відсосів можна додати їй форму. Щоб забезпечити рівномірність усмоктування повітря через щілину, суцільним бортовим відсосам надають клиноподібну форму. Довжина секцій стандартна від 500 до 1000 мм. Ширина щілини приймається в межах 40-100 мм. Тому що кислоти й луги здійснюють кородуючу дію на метал, бортові відсоси варто виготовляти з матеріалів, стійких проти корозії, наприклад з вініпласту.

Якщо ж для виготовлення відсосів використовується сталь, то її варто брати товщиною не менш 3 мм і по обидва боки покривати антикорозійним лаком. Такі ж вимоги необхідно пред'являти й до матеріалів повітропроводів, що відсмоктують повітря від ванн.

Прості відсоси варто застосовувати при високому рівні розчину у ванні, коли відстань від щілини відсоса становить не більше 80–150 мм. Чим токсичніші шкідливі виділення з ванни, тим нижче до поверхні розчину потрібно їх розмістити, щоб не допустити влучення їх у зону подиху робітника біля ванн. Перекинуті бортові відсоси вимагають значно меншої витрати повітря, особливо при більш низькому рівні рідини (150 - 300 мм і більше).

### *Вентилятори*

Вентиляторами називаються машини, що служать для переміщення повітря. У цих машинах збудником руху повітря є обертове робоче колесо, що укладене в кожух, котрий визначає напрямок руху повітря. Обертання колеса здійснюється від електричного двигуна. За принципом дії вентилятори діляться на осьові й відцентрові.

Залежно від тиску, що розвивається, вентилятори можуть бути низького, середнього й високого тиску. Вентилятори низького тиску створюють тиск до 100 кГ/м<sup>2</sup>, середнього від 100 до 300 кГ/м<sup>2</sup>, високого від 300 до 1200 кГ/м<sup>2</sup>. Вентилятори низького й середнього тиску застосовуються в системах загальобмінної вентиляції, кондиціювання повітря, у мережах пневматичного транспорту матеріалів і відходів виробництва й в інших вентиляційних установках. Що стосується вентиляторів високого тиску, то вони мають головним чином технологічне призначення, наприклад використовуються для дуття у вагранках.

Переміщуване повітря може містити найрізноманітніші домішки (пил, гази, пари кислот, лугів) і вибухонебезпечні суміші. Тому залежно від умов експлуатації до вентиляторів пред'являються різні вимоги як у відношенні

застосовуваних для їхнього виготовлення матеріалів, так і в частині конструктивного виконання.

У відповідності зі СНіП 2.04.05 - 91 вентилятори виготовляються:

а) звичайного виконання — для переміщення чистого або малозапиленого повітря з температурою до 150°C; всі частини таких вентиляторів виготовляються зі звичайних сортів сталі;

б) антикорозійного виконання – для переміщення повітря, що містить домішки речовин, які руйнують діють на звичайний метал; у цьому випадку для виготовлення вентиляторів повинні застосовуватися стійкі проти дії агресивних домішок матеріали - залізохромиста й хромонікелева сталь, вініпласт і т.д.;

в) вибухобезпечного виконання – для переміщення горючих і вибухонебезпечних сумішей; основна вимога, поставлена до таких вентиляторів, полягає в тім, щоб під час їхньої роботи була повністю виключена небезпека іскріння при випадковому ударі або терті частин, що рухаються, об нерухливі частини, наприклад робочого колеса об кожух; тому колеса, кожухи й вхідні патрубки таких вентиляторів виготовляються з більш м'якого, чим сталь, металу – алюмінію або дюралюмінію; частина вала, омивана рухомим потоком вибухонебезпечної суміші, повинна прикриватися алюмінієвими ковпаками й втулкою, а в місці проходу вала через кожух ставиться чепцеве ущільнення;

г) пилові вентилятори — для переміщення повітря зі змістом пилу понад 150 мг/м<sup>3</sup>; до цих вентиляторів пред'являється вимога зносостійкості, що досягається застосуванням матеріалів підвищеної міцності, стовщенням частин, що піддаються стиранню механічними домішками, наварки на них твердих сплавів і т.д.

### **8.3. Заходи по усуненню шкідливих впливів гальванічного виробництва**

Найбільш ефективний засіб боротьби зі шкідливими речовинами у вентиляованих приміщеннях - це видалення їх у місцях виділення за допомогою витяжних систем. Однак це не завжди можливо, наприклад, коли місця перебування людей або джерела шкідливих виділень розташовані по всій площі приміщень. У таких випадках влаштовують загальобмінну вентиляцію, коли розведення шкідливих речовин до ПДК здійснюється за рахунок припливу свіжого повітря. Відповідно до цього системи загальобмінної вентиляції повинні містити в собі пристрій для забору повітря, його обробки, транспортування, а також для видалення відпрацьованого. Для підготовки виробів до покриття застосовують в основному стаціонарні ванни .

Виробничі ванни являють собою відкриті резервуари, найчастіше чотирикутної форми, наповнені рідиною з різними розчинами, нерідко досить отруйними.

Ванни для нанесення гальванічних покриттів роблять в основному з нержавіючої сталі і при потребі викладають усередині різними ізоляційними матеріалами.

Розчини, що утримуються у ваннах, випаровуючись, розносяться по приміщенню й тим самим забруднюють у ньому повітря. Шкідливі речовини з виробничих ванн можуть виділятися у вигляді пар, газів і «порожніх крапель», що представляють собою частки газу, укладені в рідку оболонку. Ці краплі, піднімаючись нагору, виносяться з ванни й, лопаючись, змішуються з повітрям приміщення. У вентиляційній практиці отримало велике поширення застосування пристрою відсоса по бортах ванни у вигляді суцільної щілини, яку називають бортовим відсосом. Для енергійного усмоктування в щілину бортового відсоса шкідливих парів застосовують піддув від мережі стисненого повітря. Застосування піддування дає можливість знизити вплив сторонніх струменів повітря в приміщенні на стійкість перетікання газоподібних шкідливих речовин до приймача й



знизити витрати повітря. Далі забруднене повітря попадає у фільтр. Фільтр очищає повітря від аерозольних часток кислот. Фільтр обладнується піддоном для збору конденсату, де накопичується конденсат після очищення повітря. По трубопроводу він переходить у ємність для збору конденсату. Від фільтра очищене від парів сірчаної кислоти повітря за допомогою вентилятора попадає у повітропровід (корозійностійкий з нержавіючої сталі). Через отвір у перекритті в системі загальобмінної вентиляції повітря викидається в атмосферу. Для запобігання влучення атмосферних опадів у вентиляцію на даху влаштовується вентиляційний парасоль.

Призначені для санітарного очищення аспіраційного повітря від рідких і розчинних у воді твердих аерозольних часток на гальванічних і травильних виробництвах при таких операціях, як хромування, сірчаноокисне нікелювання, електрохімічне знежирення й інших. Аерозольні частки вловлюються волокнистим фільтруючим елементом, що промивається 1 раз в 15 доби в корпусі фільтра або в промивній ванні.

Ступінь очищення повітря 90 - 95%; Аеродинамічний опір 500 - 700 Па

Основні переваги: простота обслуговування (легкість заміни фільтруючого елемента), невеликі габарити, можливість очищати повітря від аерозольних часток кислот або лугів.

В електричному полі корони зарядка завислих часток відбувається внаслідок адсорбції іонів поверхнею часток у зовнішній зоні коронного розряду. Величина потоку іонів до поверхні частки визначає процес зарядки.

Рухливість, або швидкість, іона пропорційна напруженості електричного поля (В/м) і абсолютній температурі газу. У звичайних умовах негативні іони більш рухливі, чим позитивні. У процесі іонізації газових молекул електричним розрядом відбувається зарядка часток. Електричний заряд утворить навколо себе електричне поле.

Зважена в газах частка при надходженні в електрофільтр здобуває електричний заряд, що швидко досягає значення, близького до максимального. На зважену заряджену частку в електрофільтрі діють сили: а)

захоплення газовим потоком, що рухається; б) ваги; в) механічного впливу потоку іонів на молекули газу в електричному полі, що викликає рух газу в напрямку до осаджуючого електроду, – електричний вітер; г) взаємодії поля й заряду частки - кулонівська сила. Для підбору електрофільтрів необхідно знати місце роботи фільтра, витрати газу, температуру, розрідження, ступінь очищення.

## ВИСНОВОК

В даній кваліфікаційній роботі було проведено аналіз нових технології очищення деталей та виробів для їх підготовки до нанесення покриттів. Викладено базові поняття технологічних основ для нових напрямків ультразвукового очищення прецизійних деталей. Проаналізовано взаємозв'язок акустико-технологічних характеристик процесів, розглянуті конструктивні й технологічні особливості ультразвукових коливальних систем.

Перевагами ультразвукової очистки поверхонь та підготовки їх до нанесення покриттів є: висока якість та швидкість очистки, наявність механізації ручних операцій, відсутність у технологічному процесі токсичних і вибухонебезпечних розчинників з високою вартістю. Для даних технологічних процесів ці розчинники замінюються на лужні розчини, які значно прийнятніше. Можливість обробки поверхонь виробів та деталей ускладненої геометричної форми та конфігурації. Дає змогу видаляти поверхневі забруднення виробів, котрі не можна видалити іншими існуючими методами.

Комбінована, ультразвукова підготовка поверхонь до нанесення покриттів – це процес, котрий поєднує місцеву приповерхневу кавітацію, на межах розділу розчинів і поверхонь деталей, при впливі на очищувану поверхню великих кавітаційних прискорень миючої рідини, за рахунок чого ефективно руйнуються поверхневі забруднення. Якщо забруднену поверхню деталі розмістити містити в миючій рідині й комбіновано обробити ультразвуковими акустичними хвилями, то за рахунок ударної кавітаційних хвилі поверхня деталі очищається від забруднень.

На базі проведеного аналізу існуючих технологічних процесів підготовки та очищення поверхонь виробів до нанесення покриттів, після вивчення відповідних технічних та технологічних умов та наявності

обладнання, в роботі проведено розробку автоматизованої лінії, для реалізації даного технологічного процесу.

Спроектвана автоматизована лінія підготовки та очищення поверхонь до нанесення покриттів забезпечить наступні технологічні операції.

Очищення поверхонь виробів та деталей. В операцію очищення включені такі операції, - видалення механічних забруднень, обезжирювання та видалення забруднень хімічного типу (окиси, іржа, приповерхневі сполуки матеріалу і.т.ін.). Операція очищення проводиться хімічними так і електрохімічними методами.

Пасивування поверхонь. Операція пасивування повинна забезпечити надійність отриманої чистої поверхні, запобігати міжопераційному окисленню перед нанесенням основного покриття деталей. Для забезпечення операції пасивування її суміщають з операцією нанесення додаткового захисного покриття (фосфатування, хроматування і.т.ін.). Дана операція крім забезпечення додаткової стійкості поверхонь до окислення і забруднення забезпечує ще показники підвищеної адгезії основного покриття, що значно продовжує тривалість його служби, дозволяє експлуатувати вироби в агресивних середовищах та важких кліматичних умовах.

Промивка поверхонь (основна та міжопераційна). Для забезпечення чистоти поверхні від речовин попередніх технологічних переходів. Важливим є, щоб речовини з попередніх операцій не вступали в хімічні реакції з речовинами наступних, бо це може привести до утворення важковидальюваних забруднень, які можуть, крім цього, пошкодити поверхню.

Сушка поверхонь деталей. Видалення залишкової вологи та активних розчинів з поверхні деталей. Операція переслідує такі цілі, – забезпечення мінімального часу контакту поверхні з вологою, яка сприяє кородуванню та окисленню матеріалу. Видалення вологи обов'язкове перед нанесенням основного захисного чи декоративного покриття. Крім цього здійснюється

прокалювання, яке дозволяє забезпечити термостабілізацію поверхні, її термопасивацію зі спалюванням можливих залишкових забруднень.

Регенерація розчинів. Регенерація активних розчинів їх очистка забезпечить економію витрат речовин, що в результаті збільшить рентабельність її використання. Чистота розчинів впливає на якість проходження хімічних реакцій, скорочує їх тривалість.

Міжопераційне транспортування. Для забезпечення транспортування деталей в автоматизованому режимі роботи між позиціями технологічних переходів.

В проекті автоматизованої дільниці передбачено загальну систему керування, яка здійснює загальний контроль і управління лінією по основним параметрам контролю. До таких параметрів можна віднести:

1. Температурні режими в ваннах очистки та пасивації, в пункті миття, сушки деталей. Як видно з попередніх розділів, що температурні режими суттєво впливають на якість виконання технологічних переходів, на швидкість їх виконання і т.ін.
2. Параметри концентрацій розчинів очистки, обезжирювання та промивки в ваннах лінії. Нормалізація розчинів.
3. Таймерні функції витримки технологічних переходів, синхронізація лінії в цілому та по міжопераційному транспортуванню. Забезпечення циклового, періодичного режиму роботи.
4. Видача опорних значень для локальних систем контролю та керування, для зміни режимів роботи, забезпечення гнучкого оперативного управління лінією.

Систему керування побудована централізованою з ієрархічною будовою, поділом на центральну систему та локальні системи, які забезпечуватимуть контроль і управління локально по пунктах технологічних переходів, а саме контроль концентрацій, температур, управління приводами і т.д.

Така побудова системи керування забезпечить стійкість її роботи, гнучкість управління і оперативного переналагодження по пунктам окремих технологічних переходів. Надійність роботи лінії в цілому значно зросте.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Абрамов О. В. Кристаллизация металлов в ультразвуковом поле. М.: Металлургия, 1972. 255 с.
2. Агранат Б. А. Ультразвуковая технология. М.: Машиностроение, 1974, 503 с.
3. Беренсон С. П. Химическая технология очистки деталей двигателей внутреннего сгорания. М.: Транспорт, 1967. 267 с.
4. Богачев И. Н. Кавитационное разрушение и кавитационно-стойкие сплавы. М.: Металлургия, 1972. 190 с.
5. Бронин Ф. А., Чернов А. П. Ультразвуковая очистка деталей во фреоновых композициях. М.: Машиностроение, 1978. 47 с.
6. Бреславец В. В., Хуторенко В. Д. Ультразвуковая очистка радиоаппаратуры. М.: Советское радио, 1974. 80 с.
7. Гершгал Д. А., Фридман В. М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. М.: Энергия, 1976. 318 с.
8. Дальский А. М. Техническое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. М.: Машиностроение, 1975. 224 с.
9. Донской А. В., Келлер О. К., Кратыш Г. С. Ультразвуковые электротехнические установки. Л.: Энергия, 1968. 276 с.
10. Иванова Т. Н., Макаров Л. О., Приходько В. М. Акустические и кавитационные свойства жидкости при высокоамплитудной ультразвуковой очистке. – В. кн.: IX Всесоюзная акустическая конференция. М.: Акустический институт, 1977, с. 65.
11. Казанцев В. Ф. Расчет ультразвуковых преобразователей для технологических установок. М.: Машиностроение, 1980. 40 с.
12. Казанцев В. Ф., Мицкевич А. М., Сергеева К. Я. Амплитуднозависимые потери в моно-и поликристаллической меди. - В кн.: Новые физические методы интенсификации технологических процессов. М.: Металлургия, 1977, с. 5.

13. Келлер О. К. Ультразвуковые генераторы на транзисторах и тиристорах. М.:Машиностроение, 1978. 45 с.
14. Келлер О. К., Кратыш Г. С, Лубеницкий Г. Д. Ультразвуковая очистка. Л.:Машиностроение, 1975.171 с.
15. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи. Пер. с англ./ Под ред. И. Л. Голя-миной. М.: Мир, 1972. 424 с.
16. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэмлит Ф. Кавитация. Пер. с англ./ Под ред. В. И. Полежаева. М.: Мир, 1974. 687 с.
17. Кулемин А. В. Исследование тепловых процессов в ультразвуковых волноводах, работающих на больших интенсивностях звука. - В кн.: Новые разработки в ультразвуковой технике. Л.: ЛДНТП, 1972, с. 3.
18. Лисовская Э. П., Попилов Л. Я. Физико-химические методы очистки поверхностей деталей и узлов в судостроении. Л.: Судостроение, 1973,199 с.
19. Макаров Л. О., Розенберг Л. Д. О механизме ультразвуковой очистки. - Акустический журнал, 1957, № 4, 374 с.
20. Маталин А. А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. Киев.: Технша, 1971. 240 с.
21. Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л. Д. Розенберга. М.: Наука, 1969.267 с.
22. Панов А. П., Пискунов Ю. Ф., Высокоамплитудная ультразвуковая очистка. М.:Машиностроение, 1980. 52 с.
23. Панов А. П., Приходько В. М., О кавитационной разрушении в поле стержневого излучателя. - В кн.: Применение ультразвука в металлургии. Научные труды МИСиС. М.: Металлургия, 1977, № 90, 31-35 с.
24. Петрунин И. Б., Лоцманов С. Н., Николаев Г. А., Пайка металлов. М.: Металлургия, 1973. 318 с.
25. Пискунов Ю. Ф. Ультразвуковая очистка прецизионных деталей. - В кн.: Применение ультразвука в промышленности. М.: Машиностроение, 1975, с. 181-209.



26. Розенберг Л. Д., Сиротюк М. Г. Об излучении ультразвука в жидкость при наличии кавитации. - Акустический журнал, 1960. Т. 6, вып. 4, с. 478-480.
27. Спринг С. Очистка поверхности металлов. Пер. с англ./ Под ред. О. И. Бабикова. М.: Мир, 1966. 349 с.
28. Теумин И. И. Ультразвуковые колебательные системы. М.-Л.: Машгиз, 1959. 331с.
29. Тельнов Н. Ф. Технология очистки и мойки сельскохозяйственных машин. М.:Колос, 1973. 293 с.
30. Физика и техника мощного ультразвука. Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л. Д. Розенберга. М.: Наука, 1968. 266 с.
31. Физика и техника мощного ультразвука. Физические основы ультразвуковой технологии / Под ред. Л. Д. Розенберга. М.: Наука, 1970. 688 с.
32. Физика и техника мощного ультразвука. Источники мощного ультразвука/Под ред. Л. Д. Розенберга. М.: Наука, 1967. 377 с.
33. Физическая акустика. Методы и приборы ультразвуковых исследований. Пер.с англ./ Под ред. Л. Д. Розенберга. Т. I. М.: Мир, 1967. 362 с.
34. Шутилов В. А. Основы физики ультразвука. Л.: ЛГУ, 1980. 279 с.
35. Brunton J. H. The deformation of solids by cavitation and drop implugement. - В кн.: Неустановившиеся течения воды с большими скоростями / Под ред. Л. И. Седова. М.: Наука, 1973, с. 139-151.
36. Rieger H. Comparative study of destruction by drop impact and cavitation. - В кн.:Неустановившиеся течения воды с большими скоростями/ Под ред. Л. И. Седова.М.: Наука, 1973, с. 385-395.
37. Cavitation and Inhomogeneities in Underwater Acoustics. Editor W. Lauterborn. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1980, p. 320.
38. Cavitation and Coherent Optics. By W. Lauterborn. Cavitation and Inhomogeneities in Underwater Acoustics, 1980, p. 3-12.

39. Application of High Speed Holographical Methods in Cavitation Research. By K. J. Ebeling. - Cavitation and Inhomogeneities in Underwater Acoustics, 1980, p. 35-41.
40. Neppiras E. A. Acoustic cavitation thresholds and cyclic processes. Ultrasonics. September, 1980.
41. Nolting B. E. Neppiras E. A. Cavitation Produced by Ultrasonics. - Proc. Phys. Soc. 1950, 9, p. 674-679.
42. Бергман Л., Ультразвук, пер. с нем., М., 1956;
43. Красильников В. А., Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах, 3 изд., М., 1960;
44. Физическая акустика, под ред. У. Мэзона, пер. с англ., т. 1—7, М., 1966—74;
45. Физика и техника мощного ультразвука, под ред. Л. Д. Розенберга, т. 1—3, 1967—69;
46. Михайлов И. Г., Соловьев В. А., Сырников Ю. П., Основы молекулярной акустики, М., 1964;
47. Викторов И. А., Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике, М., 1966;
48. Методы неразрушающих испытаний, под ред. Р. Шарпа, пер. с англ., М., 1972;
49. Ультразвуковое резание, М., 1962;
50. Ультразвуковая технология, под ред. Б. А. Аграната, М., 1974;
51. Эльпинер И. Е. Биофизика ультразвука, М., 1973;
52. Байер В., Дернер Э., Ультразвук в биологии и медицине, пер. с нем., Л., 1958;
53. Interaction of ultrasound and biological tissues. Proceedings of a workshop..., ed. by J. M. Reid and M. R. Sikov, Wash., 1972.
54. Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956;

55. Рой Н. А., Возникновение и протекание ультразвуковой кавитации, «Акустический журнал», 1957, т. 3, в. 1, с. 3;
56. Сиротюк М. Г., Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации, в кн.: Физика и техника мощного ультразвука, т. 2, М., 1968;
57. Ультразвук в гидрометаллургии, М., 1969.
58. Корнфельд М., Упругость и прочность жидкостей, М. — Л., 1951;
59. Биркгоф Г., Сарантонелло Э., Струи, следы и каверны, пер. с англ., М., 1964;
60. Перник А. Д., Проблемы кавитации, 2 изд., Л., 1966;
61. Ошеровский С. Х., Кавитация в генераторах, «Энергетика и электрификация», 1970, № 1.
62. Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957;
63. Михайлов И. Г., Соловьев В. А. и Сырников Ю. П., Основы молекулярной акустики, М., 1964;
64. Физическая акустика, под ред. У. Мэзона, пер. с англ., т. 2, ч. А, т. 3, ч. Б, М., 1968—1969: т. 7, М., 1974;
65. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б., Ультразвуковые методы в физике твердого тела, пер. с англ., М., 1972.
66. Физическая акустика, под ред. У. Мэзона, пер. с англ., т. 1, ч. А, М., 1966;
67. Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962;
68. Ультразвуковые преобразователи, пер. с англ., под ред. Е. Кикучи, М., 1972.